МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА И КОММУНИКАЦИЙ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

БЕЛОРУССКАЯ ЖЕЛЕЗНАЯ ДОРОГА

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»

ПРОБЛЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ НА ТРАНСПОРТЕ

МАТЕРИАЛЫ
XV МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ,
ПОСВЯЩЕННОЙ ПЯТИЛЕТКЕ КАЧЕСТВА
(Гомель, 19–20 ноября 2026 г.)

Ч а с т ь 2

Под общей редакцией *Н. Н. КАЗАКОВА*

Гомель 2026

УДК 656.08
ББК 39.18
П78

Редакционная коллегия:

Н. Н. Казаков (отв. редактор), **Ю. Г. Самодум** (зам. отв. редактора),
А. А. Ерофеев (зам. отв. редактора), **Т. М. Маруняк** (отв. секретарь),
К. А. Бочков, Т. А. Власюк, И. А. Еловой, П. В. Ковтун, Е. Ф. Кудина, Д. В. Леоненко, Д. В. Ляпоров, В. Я. Негрей, А. В. Пигунов, А. Г. Ташкинов, С. Л. Шатров

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор **А. Ф. Бородин**
(Институт экономики и развития транспорта, г. Москва);
доктор технических наук, профессор **Ю. М. Плескачевский**
(член-корреспондент НАН Беларуси);
доктор технических наук, профессор **Н. К. Турсунов**
(Ташкентский государственный транспортный университет)

П78 **Проблемы** безопасности на транспорте : материалы XV Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. пятилетке качества (Гомель, 19–20 ноября 2026 г.) : в 2 ч. Ч. 2 / М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Бел. ж. д., Белорус. гос. ун-т трансп. ; под общ. ред. Н. Н. Казакова. – Гомель : БелГУТ, 2026. – 475 с.

ISBN 978-985-891-287-1 (ч. 2)

Рассматриваются теоретические и организационно-технические основы обеспечения безопасности транспортных систем; пути повышения безопасности и надежности подвижного состава и систем электроснабжения; функциональная и информационная безопасность систем автоматики, телемеханики и связи; энергоэффективность и экологическая безопасность транспорта; вопросы безопасности транспортной инфраструктуры; надежности и безопасности зданий и сооружений; безопасности пассажирских перевозок; естественные науки в обеспечении безопасности транспортных систем; экономическая безопасность транспортных систем; транспортная безопасность при угрозе и возникновении чрезвычайных ситуаций; тенденции развития образования в системе обеспечения кадровой безопасности транспортного комплекса.

Для ученых, преподавателей учебных заведений транспортного профиля, научных и инженерно-технических работников научно-исследовательских и проектных организаций, предприятий и учреждений транспорта и строительства.

УДК 656.08
ББК 39.18

ISBN 978-985-891-287-1 (ч. 2)
ISBN 978-985-891-285-7

© Оформление. БелГУТ, 2026

УВАЖАЕМЫЕ УЧАСТНИКИ КОНФЕРЕНЦИИ!

От имени организационного комитета XV Международной научно-практической конференции «Проблемы безопасности на транспорте» приветствую вас, желаю успешной работы, плодотворного обсуждения путей решения вопросов обеспечения безопасности на транспорте.

Конференция посвящена пятилетке качества. Повышение качества производимой продукции предполагает внедрение современных технологий производства, форм контроля качества и организации труда, рационализаторских инициатив, а также высокую мотивацию сотрудников.

Одним из ключевых направлений по повышению эффективности производства и качества жизни является поддержание высокого уровня безопасности.

Активный диалог между наукой и производством по проблемам безопасности позволяет сформулировать новые подходы и найти эффективные решения актуальных задач безопасности транспортного комплекса.

Проведение научно-исследовательских работ по транспортной тематике всегда являлось одним из приоритетных направлений деятельности ученых и специалистов Белорусского государственного университета транспорта. В тесном сотрудничестве со специалистами-производственниками решаются вопросы экономической, энергетической, экологической безопасности транспортных систем, надежности и безопасности подвижного состава, транспортной инфраструктуры.

Выражаю уверенность, что обмен мнениями по этим и другим вопросам, активное сотрудничество специалистов в различных направлениях деятельности позволят найти взвешенное, комплексное решение многих важнейших задач в области безопасности на транспорте.

Хочется отметить поддержку и весомую помощь, которую оказывают Министерство транспорта и коммуникаций Республики Беларусь, Белорусская железная дорога в проведении ставшей уже традиционной конференции.

В очной и дистанционной формах работы 11 секций принимает участие более 350 докладчиков. Большой интерес к конференции проявили ученые и специалисты из Беларуси, России, Узбекистана, Казахстана, Китая, Греции. Проведение конференции мы рассматриваем как возможность ознакомить участников с творческими достижениями специалистов и ученых учреждений высшего образования и научно-исследовательских институтов, установить новые контакты и оказать помощь транспортным и другим организациям в решении различных научно-технических задач.

Благодарю вас за участие в работе конференции и желаю всем успехов в решении научных и производственных задач, благополучия, крепкого здоровья, безопасного настоящего и будущего!

НИКОЛАЙ КАЗАКОВ,
ректор Белорусского государственного университета транспорта,
председатель организационного комитета конференции

7 БЕЗОПАСНОСТЬ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК

УДК 656.212.5:656.086

ПРОБЛЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ ПРЕБЫВАНИЯ ПАССАЖИРОВ НА СТАНЦИИ ВИТЕБСК И ИХ КОМПЛЕКСНОЕ РЕШЕНИЕ НА ОСНОВЕ ИНФРАСТРУКТУРНЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ УЗЛА

О. И. БИК-МУХАМЕТОВА
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Обеспечение безопасности пребывания граждан на железнодорожных объектах и повышение доступности пассажирской инфраструктуры на железнодорожном транспорте Республики Беларусь относятся к числу приоритетных задач эксплуатационной деятельности. Анализ причин непроизводственного травматизма на сети дорог свидетельствует о высокой тяжести последствий происшествий с участием пешеходов: более 63 % случаев заканчиваются летальным исходом, при этом наезды подвижного состава составляют 87 %, а поражения электрическим током – 4 %. Статистика опровергает представление об относительной защищенности пассажирских обустройств: 43 % всех несчастных случаев фиксируются непосредственно в границах железнодорожных станций и 12 % – на остановочных пунктах, причем около 40 % инцидентов приходится на вечерний период с 18:00 до 00:00, совпадающий с интенсивным региональным движением и снижением естественной освещенности [1].

В зонах совмещения посадки-высадки пассажиров и проследования грузовых поездов на человека воздействует целый комплекс опасных факторов. Так, безостановочный пропуск грузовых поездов оказывает аэродинамическое воздействие, способное затянуть стоящего у края пассажирской платформы человека под подвижной состав [2], а срыв деталей тормозной рычажной передачи или смещение лесоматериалов несет прямую угрозу травмирования. Особую категорию рисков формирует электрификация переменным током напряжением 27,5 кВ, при которой пробой воздушного промежутка и образование электрической дуги происходят на расстоянии менее двух метров от контактного провода [3]. При этом наличие открытых лестничных пешеходных мостов над электрифицированными путями создает барьеры для физически ослабленных лиц и может способствовать стихийному переходу путей в одном уровне, а также повышает риски электротравматизма. В этих условиях ключевым направлением профилактики травматизма становится переход от пассивных запретов к кардинальным планировочным решениям по физическому дистанцированию людских потоков от зон движения поездов.

Для железнодорожной станции Витебск данная проблема является значимой в силу сложившейся технологии пропуска грузовых поездов в Орловский и Ленинградский парки. Из-за скользящей специализации приемоотправочных путей в Пассажирском парке грузовые поезда регулярно следуют вдоль пассажирских платформ в опасной близости от ожидающих граждан. Единственной пешеходной связью вокзала с островными пассажирскими платформами служит железобетонный пешеходный мост. Намеченная электрификация направления Жлобин – Орша – Витебск – Езерище делает дальнейшую эксплуатацию существующего мостового перехода небезопасной из-за приближения высоковольтной контактной сети к пешеходным сходням. Кроме того, маневровая работа по вытягиванию и надвигу составов на сортировочную горку Жлобинского парка и подача поездных локомотивов из депо регулярно пересекают маршруты приема и отправления пассажирских поездов в горловинах, создавая потенциальную опасность столкновений и сходов.

В ходе выполнения работ по разработке Генеральной схемы Витебского железнодорожного узла было предложено несколько альтернативных технических решений по трансформации путевой инфраструктуры, направленных на обеспечение не только потребных размеров движения грузовых и пассажирских поездов к 2035 году, но и безопасности пребывания пассажиров на станции. К рассмотрению предлагаются два альтернативных проекта.

Первое проектное направление предполагает глубокую реконструкцию Орловского и Пассажирского парков в границах существующей станции Витебск. В основу архитектуры безопасности закладывается функциональная специализация путевого развития: четвертый и шестой главные пути выделяются исключительно под безостановочный пропуск грузовых поездов, пассажирские платформы размещаются у 1-го пути, между 2 и 3, 7 и 8, 9 и 10-м путями, смещаются в направлении входной горловины и будут полностью изолированы от грузовых маршрутов. Существующий пешеходный мост демонтируется, а взамен сооружается пешеходный тоннель шириной не менее трех метров с выходами на пассажирские платформы и на ул. Локомотивную, оборудованный лифтами и пандусами по современным требованиям к безбарьерной среде [4]. Закрытый пешеходный тоннель обеспечивает полную изоляцию пассажиров от контактной подвески 27,5 кВ, исключает влияние наведенного потенциала, ликвидирует сезонное образование наледи на лестницах и обеспечивает условия для формирования доступной безбарьерной среды для физически ослабленных лиц. Дополнительно снизить количество грузовых поездов, отправляющихся со станции Витебск через Пассажирский парк, позволяет сооружение соединительного пути Полоцкий парк – Гришаны – Чепино, обеспечивающего вывод поездов своего формирования и местных поездов на запад и север в обход пассажирского комплекса. Достоинствами варианта выступают локализация работ в полосе отвода станции, нормативное уширение междупутий до 5,70 м под опоры контактной сети и относительно меньшие капитальные затраты. Недостатки заключаются в необходимости сноса прилегающих производственных зданий, предоставлении длительных технологических «окон» с ограничением движения и сохранении транзита грузов через город.

Второе проектное направление предусматривает вынос сортировочной работы и грузового транзита за пределы селитебной зоны путем строительства новой сортировочной станции Медведка. Инфраструктурный проект помимо строительства самой станции включает сооружение двухпутного юго-западного обхода города Чепино – Гришаны – Медведка с мостовым переходом через реку Западная Двина и развязкой в горловине станции Лучеса. Реализация проекта позволяет закрыть и демонтировать сортировочную горку на станции Витебск, выполнять пропуск грузовых поездов в обход города, а станцию Витебск преобразовать в пассажирскую техническую станцию с элементами грузовой станции. Преимуществами второго варианта являются пространственное разделение пассажиров и грузового движения, полная ликвидация транзита грузов через центр Витебска и высвобождение станционных путей для запуска тактовых пассажирских поездов городских линий с современными обустройствами. Сдерживающим фактором данного направления выступает значительная сметная стоимость возведения мостовых переходов и новых станционных парков за чертой города.

Сравнительный анализ обоих вариантов показывает, что каждый из них предусматривает решение главной целевой задачи – пространственного разделения зон пребывания пассажиров и движения грузовых поездов. Первый вариант достигает этого локальной инженерной изоляцией платформ и тоннельным сообщением, второй – территориальным разведением пассажирских и грузовых потоков. Своевременный выбор и планомерное воплощение любого из представленных проектных сценариев создадут условия для приведения пассажирского комплекса станции Витебск в соответствие с действующими нормами технологического проектирования и позволят существенно снизить риск травмирования граждан в условиях электрификации железнодорожного узла.

Список литературы

1 **Бик-Мухаметова, О. И.** Анализ причин травматизма граждан на железнодорожном транспорте Республики Беларусь / О. И. Бик-Мухаметова, М. Ю. Страдомский, А. Д. Аксенова // Тихомировские чтения: Синергия технологии перевозочного процесса : материалы Междунар. науч.-практ. конф. / М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. ; под общ. ред. А. А. Ерофеева. – Гомель : БелГУТ, 2021. – С. 64–69.

2 CFD simulation of train aerodynamics: Train-induced wind conditions at an underground railroad passenger platform / A. Khayrullina, B. Blocken, W. Janssen, J. Straathof // Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. – 2015. – Vol. 139. – P. 100–110.

3 ТКП 427-2022 (33200). Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок : утв. и введ. в действие постановлением М-ва энергетики Респ. Беларусь от 20 дек. 2022 г. № 59 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: https://pravo.by/document/-?guid=12551&p0=W22338412p (дата обращения: 15.09.2026).

4 СН 3.02.12-2020. Среда обитания для физически ослабленных лиц : утв. и введ. в действие постановлением М-ва архит. и строит. Респ. Беларусь от 13 нояб. 2020 г. № 81 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=W22136370p (дата обращения: 15.09.2026).

УДК 656.2.072.6

МОДЕЛЬ ПРОЦЕССОВ ОБСЛУЖИВАНИЯ ПАССАЖИРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА КАК МНОГОЗВЕННАЯ ЦЕПЬ ТРАНСФЕРА

С. П. ВАКУЛЕНКО
Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва

Все области компактного проживания населения (города, поселки, деревни) считаются зонами потенциального тяготения к остановочным пунктам различных видов транспорта. Однако пассажирами становятся только те, для которых оказываются удобными данные остановочные пункты, помогающие достигнуть места назначения совершаемой поездки. Попытки изучить спрос на транспортные услуги в конкретном регионе и усовершенствовать систему организации пассажирских перевозок оказываются малоэффективными, а затраты на проведение анкетных опросов и обработку полученных статистических сведений – неизмеримо высокими по сравнению с весьма скромными конечными результатами.

Основными причинами таких последствий являются широкий размах амплитуды колебаний максимальных пассажиропотоков, значительные и подчас мгновенные изменения этого потока, связанные с усилением или ослаблением конкретных причин, определяющих мотивацию поездок определенных групп населения, изменение целей передвижения, часто не имеющих цикличности или даже слабо выраженной закономерности своего повторения через некоторые промежутки времени. Указанные причины приводят к высокой асимметрии величин реальных пассажиропотоков и модельных процессов. При этом с увеличением размеров городских агломераций (переход от малых городов к изучению пассажиропотоков крупнейших) стохастическая составляющая графика изменения размеров пассажиропотоков во времени значительно усиливается. Основные характеристики потока становятся все более зависимы от других факторов, кореллируют с внешними условиями, определяющими равновесную природу сосуществования человека и окружающей среды. В результате оказывается, что динамика изменения размеров пассажиропотоков зависит от объективных закономерностей, установившихся вне сознания лиц, его изучающих. Социально-природная среда определяет бихевиоризм транспортных пассажирских потоков, которые функционируют по определенным правилам сложных, самодостаточных, полипараметрических систем.

Поэтому любые рекомендации, связанные с изменением форм, способов и методов обслуживания пассажиров, регламентирующие введение зимнего и летнего графиков движения пассажирских и пригородных поездов, увеличение их составности в предвыходные, выходные и праздничные дни, координацию расписаний подвода транспортных средств городских видов и пассажирских поездов, носят относительный характер.

Тем не менее нельзя ни в коей мере отрицать возможность эффективного регулирования транспортных потоков, необходимость изучения закономерностей их изменения, внедрения современных методов оперативного управления пассажирским транспортом.

Однако следует учитывать, что за последнее десятилетие кардинально изменилась структура пассажиропотока, претерпели существенное изменение цели поездок и мотивация миграционной способности населения вышла далеко за пределы стандартного передвижения на работу, с работы, к местам отдыха и пр. Транспорт превращается в сферу постоянных потребностей человека, становится своеобразным условием активной жизнедеятельности общества, формирует стиль поведения и, в конце концов, определяет качество жизни в целом.

В настоящее время транспорт следует рассматривать как неизменный атрибут любых проявлений человеческой активности, считать его одним из базовых основ развития нашей цивилизации. С таких позиций транспорт в крупных, крупнейших городах и мегаполисах превращается в фактор риска при планировании любых работ. Вероятность срыва намеченного графика должна быть в первую очередь связана с надежностью работы транспорта, оценкой непроизводительных временных затрат по ожиданию транспортных средств, ожиданию в транспортных средствах (заторы и «пробки» на дорогах), ожиданию завершения поездки при активном транспортном средстве. Удаленность пункта посадки пассажира от места его постоянного проживания должно сводиться к минимуму, так как этот параметр характеризует в значительной степени качество предоставляемых транспортных услуг.

Проблема удовлетворения населения в перевозках становится более четкой и ясной в своей постановке, если представить себе некую модельную ситуацию, в соответствии с которой любой индивид, совершающий не менее X поездок в год любого характера, проживающий в пункте с населением не менее $У$ жителей, должен иметь возможность совершать поездки, обеспеченные остановочными или посадочными пунктами различных видов транспорта на удалении не более t_1 минут при движении пассажира пешком от места постоянного проживания, при условии ожидания транспортного средства не более t_2 минут, ожидания в пути следования не более t_3 минут и движения в транспортном средстве не менее t_4 минут. Приведенная связная цепочка параметров

$$X \leftrightarrow У \leftrightarrow t_1 \leftrightarrow t_2 \leftrightarrow t_3 \leftrightarrow t_4$$

(шестизвенная цепь трансфера) характеризует систему качественного обеспечения населения перевозками при определенном соотношении количественных значений указанных характеристик. Замыкание экометрических (X, $У$) и темпометрических (t_1, …, t_4) параметров в единую среду функционирования трансферной системы позволяет привязать основные условия работы транспорта к потребностям пассажира («транспорт для пассажира, а не пассажир для транспорта»). Экотемпометрия рассматриваемой системы самым благоприятным образом влияет на качество транспортных услуг. В идеальной системе выполняются следующие условия:

$$X \to \infty,\ У \to \infty,\ t_1, \ldots, t_3 \to 0,\ t_4 \to \frac{S}{V_{\max}}.$$

Важно отметить, что реализация экотемпометрической модели транспортного обслуживания требует не только изменений технического и технологического характера (увеличение плотности транспортной сети, количества и пропускной способности остановочных пунктов), но и проведения целого комплекса инновационных мер (существенного увеличения скоростей движения, решения проблемы уличных заторов в часы пик, перехода к активному использованию третьего измерения для транспортных коридоров, существенного уменьшения «товарных» перевозок и рабочих поездок за счет оптимизации связей «ресурс – потребность»).

Таким образом, список проблем, вовлеченных в решение стратегической задачи формирования условий эффективного обслуживания пассажиропотоков, оказывается достаточно велик и включает вопросы различной степени связи с рассматриваемыми задачами. Проведенный анализ показывает, что можно выделить три основных пакета задач.

1 Формат прямой связи, охватывающий изучение различных факторов и условий, которые непосредственно определяют и влияют на параметры пассажирских транспортных потоков. Полный перечень данного уровня задач привести сложно, так как в силу широты системного охвата поставленной проблемы нельзя точно провести границу между влиянием различных факторов и точно определить подмножество условий прямой связи. Тем не менее, такой круг задач очертить можно. В их состав входят проблемы поиска рациональной плотности транспортной сети по каждому из используемых в данном городе виду транспорта, развязки транспортных магистралей, взаимодействия пунктов пересадки, оптимизации размещения пунктов пересадки с решением задачи их совмещения и разделения в пределах зоны одного именования, резервов пропускной способности маршрутов следования пассажиропотоков и устройств их обслуживания.

2 Формат косвенной связи, включающий задачи потокообразующего уровня, связанные с формированием потенциального пассажиропотока и расширением сегмента обслуживания за счет привлечения дополнительного пассажиропотока благодаря повышению привлекательности и имиджа транспортных предприятий. К данному сегменту можно отнести следующие задачи: расширение ассортимента предоставляемых услуг транспортного, развлекательного, туристического, образовательного, культурного, воспитательного, оздоровительного характера с сооружением соответствующих сервис-центров, непосредственно примыкающих к вокзалам, пассажирским станциям, крупным станциям пересадки взаимодействующих видов транспорта. Этот комплекс оказывается весьма важным, так как позволяет значительно снизить нагрузку легковых автомобилей на улицы при широком использовании и разноплановой привлекательности городских видов транспорта. Проблема перегруженности городских магистралей личным транспортом является одной из самых значимых для крупнейших городов и мегаполисов. Все предлагаемые в настоя-

щее время меры по ограничению сферы его использования, как показывает мировой и отечественный опыт, не дают практических результатов. Конкуренцию личному транспорту может составить только общественный при сохранении всех преимуществ первого.

3 Формат опосредованной связи, включающий задачи демографического плана и градостроительного уровня, формирующие и конструирующие объем и структуру пассажиропотока. В это подмножество задач можно отнести следующие: рациональная планировка городских застроек без перегрузки плотности населения. Излишняя увлеченность строительством небоскребов с реализацией модного принципа выхода в третье измерение приводит к острейшей проблеме обеспеченностью транспортом. В условиях демографической нагрузки на крупные города следует разрабатывать стратегические планы государственного и межгосударственного значения по сдерживанию демографического взрыва, использованию рычагов управления процессом роста городов, пропорциональному развитию новых застроек и сопряженному формированию транспортной инфраструктуры, обеспечивающей качественное обслуживание населения.

Таким образом, представленные уровни связных задач фиксируют комплексную проблему трансфера услуг перевозки пассажиров (рисунок 1).

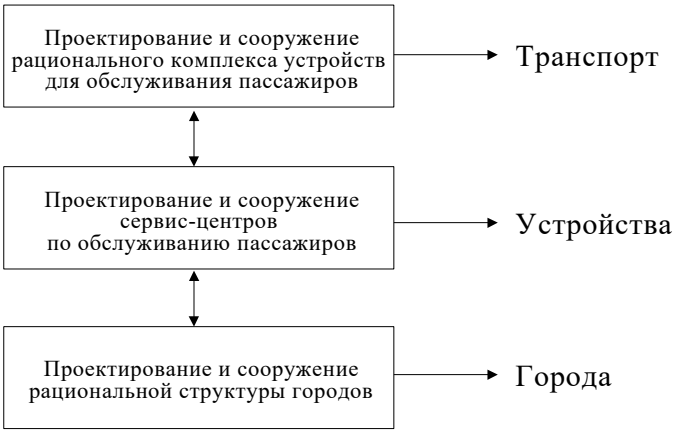


Рисунок 1 – Общая структура связных задач трансфера услуг перевозки пассажиров

Три основных блока задач, приведенных на рисунке 1, решаются в зависимости друг от друга в соответствии с предлагаемой относительной шкалой значимости по отношению к параметризованному пассажиропотоку. Они определяют широту охвата моделью функционирование реальной системы обеспечения пассажиров перевозками. Следует отметить, что позиции связи «Транспорт», «Устройства» и «Города» находятся в неразрывной связи между собой и фиксация их в прямом, косвенном и опосредованном отношении к качеству обслуживания пассажиров нужно понимать не в буквальном смысле. Так, при решении вопросов уровня «Устройства» следует в большей степени учитывать особенности обслуживаемого пассажиропотока, чем на уровне «Города», а уровень «Транспорт» прямо связан с расчетом параметров, определяющих размер и структуру пассажирских потоков, которые, в свою очередь, оказывают прямое влияние на характер и формы его обслуживания. Логика связи всех трех форматов заключается в том, что при решении любого приватного вопроса, являющегося частью проблемы трансфера услуг перевозки пассажиров, следует отмечать, в какой степени полученные результаты оказывают позитивное влияние на разрешение основной, конгрегативной задачи, включающей шестизвенную цепь трансфера. Постановка конгрегативной задачи, объединяющей решение всех связно нисходящих проблем, является главенствующей идеей, позволяющей очертить контуры связи частных задач, поиск решений которых сам по себе является весьма сложным и компромиссным.

Конгрегативность следует рассматривать как свойство разрабатываемой модели, способной уже в своей постановке и методах руководствоваться только теми принципами, которые интегрируют, обобщают и формируют комплексное, мультипликативное решение последовательно рассматриваемых задач, связанных единой целью и входо-выходными данными отдельных модулей. Важно подчеркнуть, что любые решения, на любом уровне реализации шестизвенной цепи трансфера проходят проверку на устойчивость с оценкой влияния обратной цепи связи (результативные характе-

ристики подаются снова на вход модели и оценивается их колебание относительно предыдущих значений). Различают интра- и экстраконгрегативность. Интраконгрегативность учитывает влияние полученных характеристик на внутренние параметры данного модуля. Экстраконгрегативность оценивает влияние результативных параметров на характеристики других модулей. Если проводится оценка влияния параметров данного модуля на связанные с другими модулями, то имеем экстраконгрегативность 1-го порядка, оценка влияния на следующий уровень модулей, связанных с расчетным, определяет экстраконгрегативность 2-го порядка. Проведенные аналитико-экспертные исследования показывают, что, как правило, для рассматриваемых в теории и практике проектирования транспортных объектов и процессов, достаточно изучить влияние параметров не глубже экстраконгрегативности 2-го порядка. Более высокие степени связности оказываются незначительными и практически затухают для 4-го порядка.

Шестизвенная цепь трансфера кроме общей характеристики параметров указывает направление их связи. Тандем $X \leftrightarrow Y$ (количество поездок ↔ количество жителей города) формирует низлежащую связь начального уровня ($S_0^{\text{н}}$). Условие

$$\left\{ X \underset{\leftrightarrow}{\overset{S_0^{\text{н}}}{}} Y \right\}$$

определяет общую схему связи параметров, фиксирует связный переход по шестизвенной цепи. Следует отметить, что данная схема не выражает формы связи указанных характеристик. Зависимость между X и Y существует, но это не значит, что нужно искать связь только двух величин по некоторому классу пропорциональных аналитических или эмпирических зависимостей. $S_0^{\text{н}}$ определяет исходную позицию исследований, устанавливает приоритет выбора статистической совокупности, рекомендует новую, нормализованную модельную конструкцию поля изучения проблемы трансфера пассажиров. Разбиение шестизвенной цепи на тандемные диполи является одной из множества возможных схем проведения исследований сложных социотехнических систем. Предлагаемый метод тандемного разбиения общей цепи многосвязных характеристик обладает значительными преимуществами по сравнению с нисходящими методами исследований, в основе которых лежит попытка начального охвата проблемы в целом с последующей детализацией по отдельным этапам, уровням, слоям, характеристикам. Метод тандемного разбиения предполагает скрупулезное изучение выделенных параметров, связанных между собой определенным образом (может быть даже неизвестным на момент начала проведения исследований). Важно отметить, что подобный подход исключает стремление определить вид связи в некотором алгебраическом выражении. Связь изучаемых параметров тандема может быть стохастической или эвристической, выражаемой в виде некоторого постулата-правила, опытно подтверждаемого в проведенных экспериментах. Зависимость параметров $X \leftrightarrow Y$ следует рассматривать именно с такой точки зрения. Точнее сказать, это даже не зависимость, а связываемая текущим исследованием цепочка характеристик, определяющая реальные процессы, протекающие в изучаемой социотехнической системе.

Факторизация параметров X и Y связывается с изучением условий, способствующих установлению и усилению связей между данными характеристиками. Так, в процессе развития городов, сооружения новых микрорайонов и увеличения плотности транспортной сети неизменно возрастают миграционные тенденции населения. При этом оказываются весьма сложными переплетения причин и следствий такого факта: благодаря развитым транспортным связям региона стимулируются поездки различных групп населения данного региона (прямой тренд связи), или проживание в городских условиях способствует увеличению поездок населения и, как следствие, требует дальнейшего развития пропускных способностей прилегающих транспортных магистралей (обратный тренд связи). Опыт показывает, что обратный тренд связи сложнее реализуем в силу складывающихся обстоятельств и без надлежащего планирования транспортного обеспечения новых застроек усиление магистральной сети после ввода в жилой фонд соответствующих районов оказывается весьма проблематичным.

УДК 656.21.001.2:004.8

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОЕКТНЫХ ШАБЛОНОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЗОННЫХ И ПАССАЖИРСКИХ СТАНЦИЙ

С. П. ВАКУЛЕНКО
Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва

В условиях влияния различных внешних факторов, необходимости привязки к конкретной топографо-экономической ситуации района расположения проектируемой станции оказывается очень сложно выбрать наиболее целесообразные проектные решения. Проектный шаблон рассматривается как фиксированный набор схемных изображений устройств путевого развития и технического оснащения пассажирских станций, обеспечивающих формирование технологически эффективных транспортных систем.

В настоящее время существует ряд связных технико-технологических формо-структур, отождествляемых с понятием проектного шаблона искусственного интеллекта, который начинает работать сообразно с принципами деятельности проектировщика. Объектное мышление проектировщика оперирует не только элементарными схемными изображениями, в числе которых стрелочные переводы, участки путей, пассажирские платформы, ограждения и другие фиксированные образы конкретных объектов, но и конструктивами более высоких порядков взаимовлияния и взимосвязности, учитывающими инфраструктурно-технологические связи. Так как технология обслуживания пассажиров, пассажирских и пригородных поездов всегда накладывается на определенную конфигурацию станционных устройств, то в представлении проектировщика формируется связное множество станционных элементов, способное выполнять технологические операции.

Технология всегда является неотъемлемой частью технического оснащения. Переход к комплексному компьютерному проектированию (технико-технологическому) обеспечит существенное улучшение качества проектных решений и подготовит базу для эффективного перехода к автоматизированному ИИ-проектированию.

Как отмечалось, грамотные проектные решения во многом обязаны знаниям и опыту проектировщика. Так как опыт проектировщика слабо формализуем и при алгоритмическом описании требует привлечения сложных лингвистических средств, которые начинают активно использоваться при построении систем с искусственным интеллектом, то целесообразно рассматривать альтернативные варианты прогнозирования комплексов транспортных систем, в которых технология и техническое оснащение становятся равноправными факторами.

В проектном шаблоне искусственного интеллекта определенным образом визуализируются технологические особенности станций, и сам проектный шаблон становится самодостаточным, даже в полной изоляции способный выполнить одну или несколько технологических операций. Ограничения самодостаточности связываются с обрывом выполняемых операций в выходных контрольных точках путевого развития. Поэтому в шаблонах различают финитные (ФО) и трансфинитные операции (ТФО). Финитные операции не могут выполняться за пределами контрольных точек по причине отсутствия путевого развития и технического оснащения, которое еще не запроектировано или уже удалено. Трансфинитные операции имеют внутренние точки или протяженные границы, по которым одна операция сменяется другой, причем эти обе операции выполняются на одном проектном шаблоне (рисунок 1).

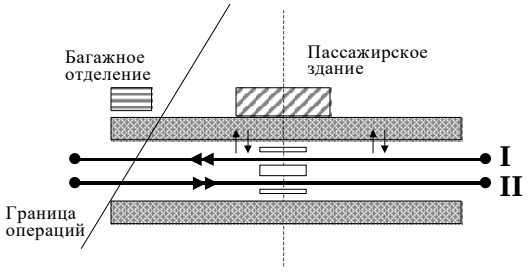


Рисунок 1 – Финитные и трансфинитные операции на станции

Финитными и трансфинитными операциями на выделенном шаблоне являются следующие:

ФО1 – прием пассажирского поезда на II путь;

ФО2 – оправление пассажирского поезда со II пути;

ТФО1 – высадка пассажиров с пассажирского поезда на II пути;

ТФО2 – выгрузка багажа.

Технологические операции имеют атрибуты, указывающие на направленность или место их выполнения. Например, прием пассажирских поездов определяется на схеме как ось пути с указанием на нем направления приема поездов. Посадка-высадка пассажиров фиксируется на схеме с помощью сдвоенных стрелок с пути на платформу и обратно.

С этих позиций проектирование с применением искусственного интеллекта осуществляется по объектно-технологической увязке элементов и процессов. При этом процессы являются не порождением сформированных станционных объектов, а компонентами целостной структуры проектного шаблона. Сопряжение финитных операций по контрольным точкам смежных проектных шаблонов обеспечивает развитие проекта станции в целом, одновременно расширяя границы площади и усиливая ее технологическую нагрузку.

Пассажирские транспортные комплексы являются наиболее приемлемыми для внедрения в проектный процесс объектно-технологических приемов ИИ. Специализированное назначение остановочных пунктов, зонных и пассажирских станций позволяет наиболее эффективно использовать предлагаемые структурные образования проектных шаблонов. Отсутствие грузовых и сортировочных операций существенно сужает область изысканий различных форм устройств широкого назначения. В этом отношении проектные шаблоны ИИ пассажирских комплексов можно отнести к категории узкопрофильных с невысокой степенью полифункциональности.

Акцентирование внимания на пригородный комплекс позволяет вычленять соответствующие градации проектных шаблонов согласно отдельным специализированным районам обслуживания дальних, местных и пригородных пассажиров. Схемные решения районов обслуживания пригородных пассажиров можно формировать на основе топологически эквивалентных шаблонов. Топологическая эквивалентность обеспечивается безразрывной деформацией исходных конструктивов. Например, шаблон, изображенный на рисунке 1, можно использовать при любой длине элементов (главных путей), ширине и длине промежуточных и перронной платформ. Безразрывная деформация может быть линейной и нелинейной. Если вдоль оси ОX или О$У$ деформация исходного шаблона описывается некоторой зависимостью

$$X_m = f(m, L),\ Y_n = f(n, L),$$

где X_m, Y_n – координаты точки шаблона на горизонтали m и вертикали n, L – длина проектного шаблона, при $m+1 = m + \varepsilon_x$, $n + 1 = n + \varepsilon_y$ достигаются требуемые параметры топологического проектного шаблона. Горизонтали и вертикали шаблона фиксируются по уровням возможного положения других объектов (сигналов, опор контактной и осветительной сетей, других инженерных сооружений) и заявленных точек определения координат (рисунок 2).

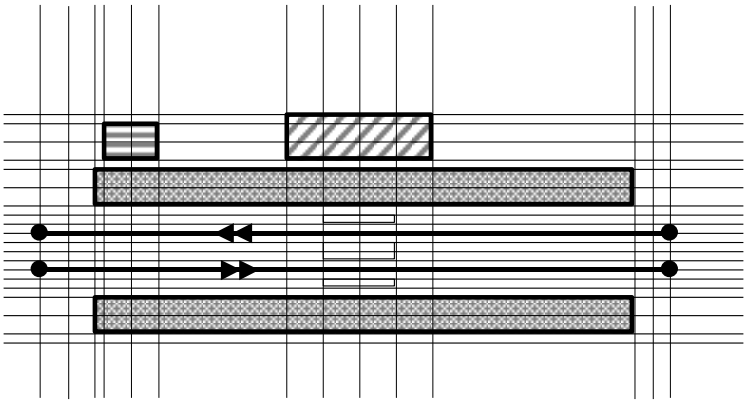


Рисунок 2 – Сетка горизонталей и вертикалей топологического проектного шаблона

Количество горизонталей и вертикалей выбирается исходя из конкретного содержания модуля проектирования и может изменяться при различных проектных требованиях. Плотность сети горизонталей и вертикалей проектного шаблона определяется его структурой. Если шаблон содержит кроме путей и другие устройства (пассажирские платформы, пассажирские здания и др.), то пересечение *m* горизонталей и *n* вертикалей порождает от 250 до 300 координатно-фиксирующих точек, что соответствует первому классу плотности сети шаблона. Второй класс плотности содержит только объекты путевого развития и включает от 100 до 250 координатно-фиксирующих точек. Третий класс плотности не имеет объектов путевого развития и охватывает только здания и сооружения. Количество координатно-фиксирующих точек на таких шаблонах не превышает 100.

Проектные шаблоны второго класса плотности относятся к технологически восприимчивым структурам. Именно на путевом развитии обеспечивается выполнение технологических операций. Шаблоны первого и третьего классов плотности являются связующими и формируют целостную сеть схемного проектного решения.

Любой проектный шаблон второго класса плотности содержит определенные техноэлементы. Техноэлемент – это операция или часть операции, которая может быть исполнена на данном проектном шаблоне второго класса плотности сети. Пусть T_{ij} – техноэлемент, содержащийся в *i*-м проектном шаблоне. Если T_{ij} обеспечивает выполнение одной полной технологической операции, то такой техноэлемент называется полным и обозначается $T_{ij}(0)$.

Частичный техноэлемент $T_{ij}(1)$, обеспечивающий выполнение одной неполной операции, и множественный частичный техноэлемент $T_{ij}(\sim)$, на котором выполняется несколько незавершенных операций, имеют сопрягающие контрольные точки $K_s(i, i + 1)$, которые переносят данную операцию на $(i + 1)$-й проектный шаблон. Процесс формирования связи проектных шаблонов на уровне получения технологически завершенной операции называется технореставрацией.

Таким образом,

$$T_{ij}(0) = \sum_{i=1}^{s-1} T_{ij}(1)[K_s(i, i+1)],$$

$$T_{ij}(0) = \sum_{i=1}^{s_1-1} \sum_{j=1}^{s_2-1} T_{ij}(\sim)[K_{s_1}(i, i+1), K_{s_2}(j, j+1)].$$

Множественно частичные техноэлементы накапливают $S_2 - 1$ операций на $S_1 - 1$ проектных шаблонах. Данные шаблоны могут стать основными конструктивами для формирования базовой среды САПР более высокого уровня, в котором выбор проектных решений обеспечивается аналитической работой модулей искусственного интеллекта, определенным образом воспроизводящих логику мышления проектировщика.

УДК 656.21.072

АНАЛИЗ ИНФРАСТРУКТУРЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА КАК ФАКТОРА МАЯТНИКОВОЙ МОБИЛЬНОСТИ

Т. А. ВЛАСЮК
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

В условиях агломерационного развития маятниковая мобильность становится доминирующей формой пространственного поведения значительной части населения. Железнодорожная инфраструктура в данном контексте выполняет не только обслуживающую, но и структурообразующую функцию. Она формирует устойчивые пространственные связи между элементами агломерации, задает направления и интенсивность повседневных потоков, а также определяет фактические функциональные границы города. Наличие скоростного и регулярного железнодорожного сообщения расширяет зону повседневной доступности города-ядра, позволяя населению городов-спутников сохранять локальную идентичность и относительно автономный характер проживания при одновременной включенности в экономику и рынок труда центрального города.

Влияние параметров железнодорожной инфраструктуры на устойчивость маятниковой мобильности приведено на рисунке 1.



Рисунок 1 – Влияние параметров железнодорожной инфраструктуры на устойчивость маятниковой мобильности

Одним из определяющих параметров влияния инфраструктуры на маятниковую мобильность является пропускная способность железнодорожных линий. Она задает верхний предел возможных пассажиропотоков в пиковые периоды и определяет способность системы адаптироваться к росту населения в пригородной зоне. Недостаточная пропускная способность приводит к перегруженности поездов, снижению надежности расписания и росту времени в пути, что, в свою очередь, стимулирует переход части пассажиров на индивидуальный автомобильный транспорт либо формирует скрытый спрос на переезд ближе к городу-ядру.

Интервальность движения поездов является не менее значимым фактором. Для маятниковых поездок критично не только общее время в пути, но и непосредственно транспортный процесс. Частые и равномерные интервалы создают эффект «псевдометро», когда железная дорога воспринимается как продолжение городской транспортной сети, а не как отдельный вид междугороднего сообщения. Напротив, редкое и неравномерное движение усиливает барьерный эффект железной дороги и снижает ее привлекательность для ежедневных поездок. Комфорт поездок включает в себя совокупность физических, временных и психологических характеристик: уровень заполненности вагонов, наличие сидячих мест, климатические условия, вибрация, шум, а также удобство посадки и высадки. Для маятниковой мобильности комфорт приобретает особое значение, поскольку поездка повторяется ежедневно и становится частью рутины. Даже незначительное снижение качества обслуживания при регулярном использовании может приводить к накопленному эффекту неудовлетворенности и изменению транспортного поведения.



Рисунок 2 – Расширение зон пространственного влияния железнодорожной станции:
1 – пешая доступность; *2* – доступность;
3 – агломерационная зона регулярных поездок

Важным элементом инфраструктурного влияния является пространственное размещение станций и остановочных пунк-тов. Их доступность пешком, на велосипеде или с использованием местного общественного транспорта напрямую влияет на радиус притяжения железной дороги (рисунок 2).

В городах-спутниках станции часто выполняют функцию локальных центров, вокруг которых концентрируется жилая застройка, объекты торговли и сервиса. Таким образом, железнодорожная инфраструктура не только обслуживает маятниковую мобильность, но и формирует предпосылки для ее расширения за счет уплотнения застройки в зоне пешеходной доступности (таблица 1).

Таблица 1 – **Пространственные факторы инфраструктуры и формирование маятниковых потоков**

Пространственный фактор	Характеристика	Эффект для агломерации
Расположение станций	Близость к жилой застройке	Увеличение пешеходной доступности
Плотность остановочных пунктов	Частота размещения станций	Формирование линейной структуры расселения
Транспортная связность	Наличие пересадок	Интеграция города-спутника с городом-ядром
Радиус зоны тяготения станции	10–20 минут пешком	Рост плотности застройки вокруг станции
Узловые станции	Пересечение маршрутов	Формирование локальных центров активности

Особую роль играет интеграция железнодорожной инфраструктуры с другими видами транспорта. Эффективные пересадочные узлы, синхронизация расписаний и единые тарифные решения снижают суммарные временные издержки поездки и повышают конкурентоспособность железной дороги по отношению к автомобилю. В агломерациях, где железнодорожные станции связаны с автобусными маршрутами, трамвайными линиями и велоинфраструктурой, маятниковая мобильность приобретает более устойчивый и экологически сбалансированный характер.

Инфраструктурные ограничения зачастую трансформируются в социально-экономические эффекты. Высокая транспортная доступность города-ядра позволяет жителям городов-спутников сохранять связь с более емким рынком труда, не переезжая в центральный город. Это способствует выравниванию уровня жизни в агломерации, снижению давления на жилищный рынок города-ядра и более равномерному распределению населения. В то же время недостаточное развитие железнодорожной инфраструктуры может усиливать пространственное неравенство, ограничивая возможности занятости и образования для жителей периферийных территорий (таблица 2).

Таблица 2 – **Ограничения железнодорожной инфраструктуры и их последствия для маятниковой мобильности**

Инфраструктурное ограничение	Проявления	Долгосрочный эффект
Недостаточная пропускная способность	Перегрузка поездов	Снижение привлекательности железной дороги
Редкое движение	Рост времени ожидания	Отказ от регулярных поездок
Плохая интеграция с ОТ	Удлинение маршрута	Локализация занятости
Моральный и физический износ инфраструктуры	Снижение надежности	Рост транспортного неравенства
Низкий уровень сервиса	Транспортная и психологическая усталость	Изменение пространственного поведения

С точки зрения устойчивого развития железнодорожная инфраструктура выступает инструментом снижения экологической нагрузки, связанной с маятниковыми перемещениями. Перенос части пассажиропотоков с автомобильного транспорта на железнодорожный позволяет сократить выбросы загрязняющих веществ, снизить уровень шума и уменьшить потребление городского пространства под транспортные нужды. Однако данный эффект реализуется только при условии достаточной емкости и качества железнодорожного сообщения, способного конкурировать с индивидуальным транспортом по времени и удобству.

Схема по оценке влияния инфраструктурных ограничений на маятниковую мобильность населения приведена на рисунке 3.



Рисунок 3 – Влияние инфраструктурных ограничений
на маятниковую мобильность населения

В связи с вышеизложенным необходимо определить интегральный индекс устойчивости маятниковой мобильности:

$$И_{мм} = \sum_{i=1}^{5} w_i x_i, \quad \sum_{i=1}^{5} w_i = 1, \tag{1}$$

где x_1 – нормированный показатель пропускной обеспеченности железнодорожной инфраструктуры; x_2 – нормированный показатель интервальности (частоты) движения поездов; x_3 – нормированный показатель надежности соблюдения расписания; x_4 – нормированный показатель скорости сообщения (временной доступности); x_5 – нормированный показатель комфорта поездки; w_i – весовой коэффициент значимости соответствующего показателя.

Если $И_{мм} \to 1$, то маятниковая мобильность устойчива и воспроизводима, а если $И_{мм} \to 0$ – маятниковая мобильность неустойчива и наблюдается отказ от железнодорожных поездок.

Следует отметить, что инфраструктура оказывает влияние и на формирование устойчивых поведенческих паттернов пассажиров. Если железнодорожное сообщение стабильно, прогнозируемо и комфортно, маятниковая мобильность становится нормой, а решения о выборе места жительства принимаются с учетом возможности ежедневных поездок. В противном случае население склонно минимизировать транспортные перемещения, что может приводить либо к миграции в город-ядро, либо к локализации занятости в пределах города-спутника, зачастую с меньшими возможностями профессиональной реализации (таблица 3).

Таблица 3 – **Влияние инфраструктуры на транспортное поведение населения**

Инфраструктурная характеристика	Реакция пассажиров	Поведенческий эффект
Частое и равномерное движение	Рост доверия к системе	Переход на регулярное использование железной дороги
Переполненные поезда	Утомляемость пассажиров	Отказ от поездок или переход на автомобиль
Удобные пересадочные узлы	Снижение времени в пути	Расширение зоны маятниковой доступности
Комфортные условия поездки	Снижение стрессовой нагрузки	Закрепление маятниковых маршрутов
Низкая надежность расписания	Потеря временной предсказуемости	Изменение места работы или проживания

Недостаточное развитие инфраструктуры в городах-спутниках приводит к перегрузке узлов города-ядра, тогда как сбалансированное развитие способствует равномерному распределению пассажиропотоков (таблица 4).

Таблица 4 – **Влияние параметров инфраструктуры на мобильность населения**

Параметр инфраструктуры	Эффект	
	для города-ядра	для города-спутника
Пропускная способность	Снижение перегрузок	Рост доступности
Интервалы движения	Устойчивость потоков	Повышение привлекательности
Пересадочные узлы	Интеграция транспорта	Связь с ядром
Комфорт инфраструктуры	Конкурентоспособность	Удержание населения

Таким образом, железнодорожная инфраструктура выступает не пассивным обслуживающим элементом, а активным фактором, формирующим масштабы, направления и устойчивость маятниковой мобильности. Ее параметры определяют не только транспортные характеристики поездок, но и более широкие социально-экономические и пространственные процессы в агломерации. В условиях роста городов-спутников и усложнения агломерационных связей роль железнодорожной инфраструктуры как системообразующего элемента маятниковой мобильности будет только усиливаться, требуя комплексного подхода к планированию, модернизации и интеграции с другими элементами транспортной системы.

Список литературы

1 **Власюк, Т. А.** Железнодорожный пассажирский транспорт в территориальной структуре городов-центров и их спутников в Республике Беларусь (ретроспективный анализ и перспектива развития) : монография / Т. А. Власюк ; М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2020. – 230 с.

2 **Власюк, Т. А.** Особенности развития инфраструктуры железнодорожного транспорта в агломерации / Т. А. Власюк. – Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2025. – № 1. – С. 53–59.

УДК 656.21

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ИНФРАСТРУКТУРЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА ДЛЯ ПАССАЖИРСКОГО СООБЩЕНИЯ В КРУПНЫХ ГОРОДАХ БЕЛАРУСИ В XX И XXI ВЕКАХ

Т. А. ВЛАСЮК
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

В начале XX века железнодорожные станции, расположенные в крупных городах Беларуси (например, станции Минск, Витебск, Орша, Лида), представляли собой одноуровневый комплекс: боковые и островные платформы, одноэтажный вокзал, привокзальную площадь с гужевым транспортом [1, 2, 7]. Дальнее и пригородное движение обслуживалось совместно, пересадка на другой транспорт выполнялась «в одном уровне» (рисунок 1).



Рисунок 1 – План-схема железнодорожных станций в крупных городах Беларуси в начале XX в.

В XXI веке железнодорожные станции крупных городов в республике эволюционировали в транспортно-пересадочный узел (ТПУ). Например, на станции Минск-Пассажирский после реконструкции в 2000 г. построен конкорс с выходом в зал ожидания, который расположен над путями и связан сетью подземных переходов с платформами, привокзальной площадью, Центральным автовокзалом и станцией метро (рисунок 2) [3].

Пропускная способность вокзала свыше 7 тыс. пассажиров.



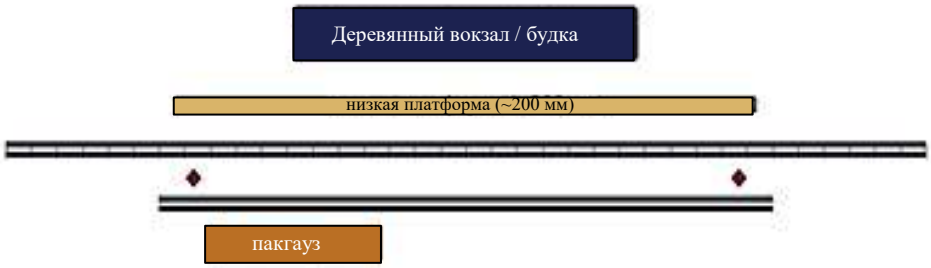
Рисунок 2 – План-схема транспортно-пересадочного узла железнодорожной станции Минск-Пассажирский, XXI в.

Сравнительный анализ железнодорожных станций в крупных городах в XX и XXI вв. приведен в таблице 1.

Таблица 1 – **Сравнительный анализ железнодорожных станций в крупных городах в XX и XXI вв.**

Параметр	Характеристика железнодорожных станций	
	начало XX в.	XXI в. (ТПУ)
Этажность вокзала	Одноэтажный	Многоуровневый (конкорс, галереи)
Платформы	Низкие (200 мм)	Высокие (550 мм)
Разделение потоков	Дальнее и пригородное сообщение	Категории линий разделены
Пересадка	«В одном уровне», гужевой подвоз	Метро, автовокзал, городские линии железной дороги, подземные переходы
Доступная среда	Отсутствует	Пандусы, лифты
Тактовый график движения	–	+
Сервисное обслуживание	Билетная касса, буфет	Цифровые сервисы, залы ожидания, гостиница

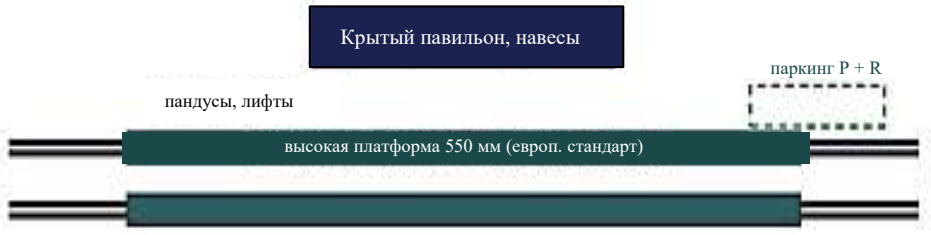
Дальнейшее развитие крупных городов способствовало формированию и развитию агломераций, в которых город-спутник (в начале XX века – это, как правило, местечко у железнодорожной линии) обслуживался промежуточной станцией или остановочным пунктом, где находились низкая пассажирская платформа, деревянный вокзал или будка, грузовой пакгауз, гужевой подвоз и несколько поездов в сутки. Такие пункты (Поречье, Жабинка, Молодечно и др.) обеспечивали связь местечка с городом-центром (рисунок 3) [1, 2].



Гужевой подвоз: несколько поездов в сутки

Рисунок 3 – План-схема железнодорожной станции города-спутника в Беларуси в начале XX в.

В XXI веке остановочные пункты городов-спутников модернизируются под тактовое движение городских линий: высокие платформы 550 мм, крытые павильоны и навесы, пандусы и лифты, интеграция с городским транспортом и перехватывающими парковками. Так, в 2019–2020 гг. капитально отремонтированы остановочные пункты для перевозок поездами городских линий (Птичь, Волчковичи, Станьково и др.) (рисунок 4).



Электропоезда городских линий (тактовое движение):
интеграция с городским транспортом и парковками

Рисунок 4 – План-схема железнодорожной станции города-спутника в Беларуси в начале XXI в.

Выполненный анализ показал, что в начале XX века связь центра со спутниками была радиальной и, можно сказать, «разреженной»: редкие поезда, промежуточные станции, гужевой подвоз. В XXI веке она превратилась в тактовую систему городских линий с многочисленными остановочными пунктами и единым ТПУ в ядре (рисунок 5).

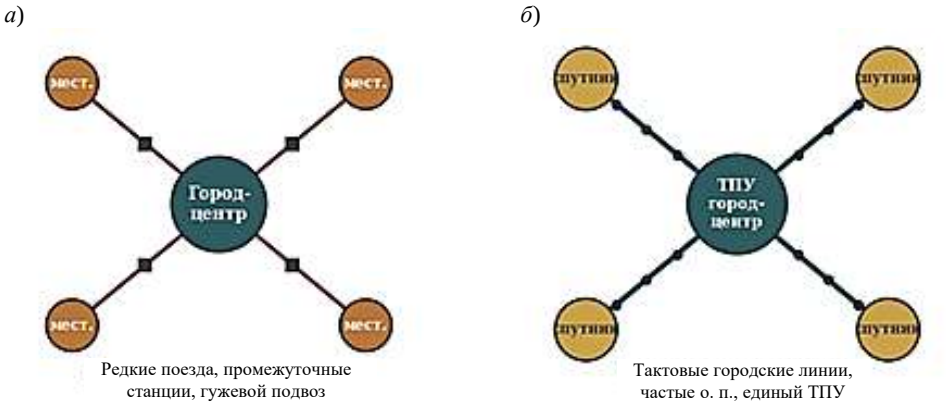


Рисунок 5 – Система «город-центр – железная дорога – город-спутник»: *а* – начало XX в.; *б* – XXI в.

Примером реализации современной модели являются три Минские городские линии протяженностью 116,2 км с 37 станциями, которые связывают Минск с городами-спутниками: Заславлем (станция Беларусь), Руденском и Смолевичами. При этом развитие вышеназванных линий сопровождалось дифференцированным подходом к пассажиропотокам на них. Так, с 2010 года Белорусская железная дорога ввела деление на городские, региональные (эконом- и бизнес-класса), межрегиональные и международные линии против фактически двух категорий (дальнее и пригородное движение) XX века (рисунок 6) [4–6].

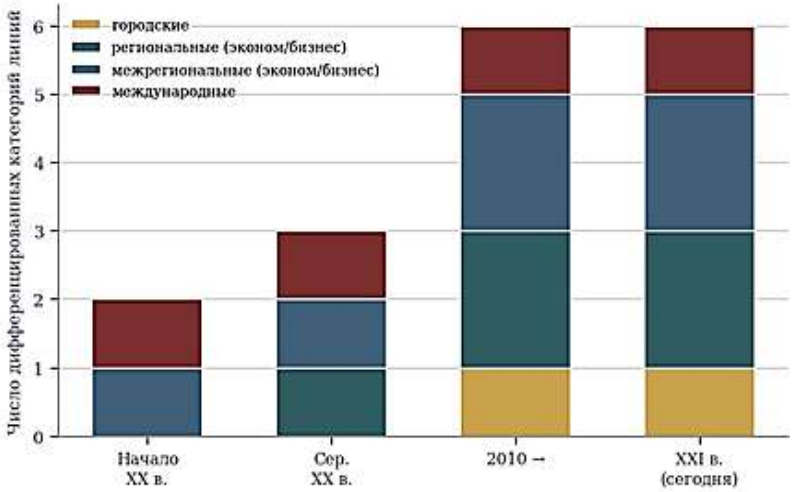


Рисунок 6 – Дифференциация категорий пассажирских линий БЧ во времени

Хронология модернизации станционной инфраструктуры железнодорожных станций для пассажирского сообщения с начала XX века к ТПУ и городским линиям XXI в. приведена на рисунке 7.



Рисунок 7 – Хронология модернизации станционной инфраструктуры Беларуси

На основании выполненного исследования можно сделать следующие выводы:

1) историческая классификация железнодорожных станций (сквозная, тупиковая) сохраняется и в XXI веке, но наполняется новым содержанием, исходя из развития инфраструктуры, формируясь как многоуровневый транспортно-пересадочный узел (например, Минск-Пассажирский с конкорсом и связью с метро и автовокзалом);

2) железнодорожные станции многих городов-спутников прошли путь от остановочного пункта с низкой платформой и гужевым подвозом к промежуточной станции городских линий с высокими платформами 550 мм, доступной средой и интеграцией с городским транспортом;

3) система «город-центр – железная дорога – город-спутник», исторически сложившаяся в XX веке, в XXI веке реализована в виде тактовых городских линий (например, Минские городские линии);

4) дифференциация категорий железнодорожных линий выросла с двух (дальнее и пригородное движение) до четырёх (городские, региональные, межрегиональные, международные), что отражает переход к сервисной модели пассажирских перевозок.

Таким образом, современная инфраструктура железнодорожного транспорта активно развивается через устройство диаметров, глубоких вводов, стыкование с метро и формирование ТПУ, сохраняя историческую преемственность каркаса расселения вдоль железных дорог.

Список литературы

1 **Власюк, Т. А.** Железнодорожный пассажирский транспорт в территориальной структуре городов-центров и их спутников в Республике Беларусь (ретроспективный анализ и перспектива развития) : монография / Т. А. Власюк ; М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2020. – 230 с.

2 **Власюк, Т. А.** Пригородные пассажирские перевозки на железнодорожном транспорте в Республике Беларусь (ретроспектива и развитие) : монография / Т. А. Власюк, А. А. Михальченко ; М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2015. – 201 с.

3 **Власюк, Т. А.** Конкорс как вертикальная система распределения пассажиропотоков на железнодорожных вокзалах Республики Беларусь / Т. А. Власюк // Проблемы безопасности на транспорте : материалы XII Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 160-летию Бел. ж. д. (Гомель, 24–25 нояб. 2022 г.) : в 2 ч. Ч. 2 / под ред. Ю. И. Кулаженко. – Гомель : БелГУТ, 2022. – С. 90–91 с.

4 Городские линии // Пассажирские перевозки. Белорусская железная дорога. – URL: https://pass.rw.by/ru/help/-trains/message-types/city-lines.html (дата обращения: 11.09.2026).

5 Региональные линии Белорусской железной дороги // Википедия : свободная энциклопедия. – URL: https://ru. wikipedia.org/wiki/Региональные_линии_Белорусской_железной_дороги (дата обращения: 11.09.2026).

6 Вокзал станции Минск-Пассажирский // Пассажирские перевозки. Белорусская железная дорога. – URL: https:// pass.rw.by/ru/railway_stations/minsk_passenger/ (дата обращения: 11.09.2026).

7 Станция Орша-Центральная: об отделении // Белорусская железная дорога. – URL: https://minsk.rw.by/ about/ structure/station/orsha/history/ (дата обращения: 11.09.2026)

УДК 656.078.12

ОСОБЕННОСТИ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕМ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ТРАНСПОРТА В ТРАНСПОРТНО-ПЕРЕСАДОЧНОМ УЗЛЕ

Т. А. ВЛАСЮК, И. И. СОСНОВСКИЙ, Н. Д. СТАРОСТЕНКО
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Плановое согласование расписаний различных видов транспорта в городской агломерации может быть нарушено в процессе перевозок. В связи с этим оперативное управление должно ответить на вопрос, который постоянно возникает у водителей автобуса при нахождении в транспортно-пересадочном узле (ТПУ): следует ли ждать поезд? Удержание автобуса сохраняет пересадку для пассажиров поезда, но задерживает пассажиров, уже находящихся в салоне и ожидающих на последующих остановках, а также может сорвать следующую согласованную пересадку. Теоретические основы стратегий удержания разработаны в работах Э. Осуны и Г. Ньюэлла, К. Даганзо.

Рассмотрим варианты оперативного управления при взаимодействии. Пусть прогнозируемое время готовности пассажиров опоздавшего поезда к посадке в автобус $\hat{t}_{\text{пз}} + m$ превышает плановое

время отправления автобуса $t_б$ на величину $\delta = \hat{t}_{пз} + m - t_б > 0$. Автобус удерживается, если выполняются оба условия:

$$\delta \le \delta_{макс},\ n_{пер}\, h_r \ge (n_{сал} + n_{посл})\, \delta, \qquad (1)$$

где $n_{пер}$ – прогнозное число пересаживающихся с поезда пассажиров (они ждали бы следующего рейса в течение интервала h_r); $n_{сал}$ – число пассажиров в салоне; $n_{посл}$ – прогнозное число пассажиров на последующих остановках маршрута; $\delta_{макс}$ – максимальное допустимое удержание, определяемое резервом отстоя на следующем конечном пункте и условием сохранения следующей согласованной пересадки.

Правило (1) сравнивает суммарные потери времени двух групп пассажиров и не требует сложных вычислений, поэтому может выполняться бортовым терминалом или автоматизированной системой диспетчерского управления в реальном времени.

Например, если поезд опаздывает на 4 мин, пересесть на автобус с интервалом 15 мин должны 35 человек, а в салоне находятся 12 человек и на дальнейших остановках ожидают ещё 20, то выигрыш от удержания составляет $35 \cdot 15 = 525$ пас·мин против потерь $(12 + 20) \cdot 4 = 128$ пас·мин, и автобус следует удержать. При интервале фидера 5 мин и 60 пассажирах в салоне и на остановках соотношение меняется ($35 \cdot 5 = 175 < 60 \cdot 4 = 240$), и автобус отправляется по расписанию.

Реализация правила требует информационного обмена между перевозчиками через единый ситуационный центр агломерации (рисунок 1).



Рисунок 1 – Схема информационного обмена между перевозчиками через единый ситуацинный центр агломерации

Данные спутниковой навигации поездов и автобусов поступают в центр, где формируется прогноз прибытия; по правилу (1) вырабатываются команда водителю и одновременно сообщение для пассажиров на табло и в мобильном приложении.

Список литературы

1 **Власюк, Т. А.** Особенности развития инфраструктуры железнодорожного транспорта в агломерации / Т. А. Власюк // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2025. – № 1. – С. 53–59.

2 **Резер, С. М.** Взаимодействие транспортных систем / С. М. Резер. – М. : Наука, 1985. – 246 с.

3 **Резер, С. М.** Управление транспортом за рубежом / С. М. Резер. – М. : Наука, 1994. – 316 с.

4 **Вучик, В. Р.** Транспорт в городах, удобных для жизни : пер. с англ. / В. Р. Вучик. – М. : Территория будущего, 2011. – 576 с.

5 **Власюк, Т. А.** Железнодорожный пассажирский транспорт в территориальной структуре городов-центров и их спутников в Республике Беларусь (ретроспективный анализ и перспектива развития) : монография / Т. А. Власюк ; М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2020. – 230 с.

УДК 656.2.052.432:711.73

ЭФФЕКТИВНОСТЬ СКОРОСТНОГО РЕЛЬСОВОГО ТРАНСПОРТА В АГЛОМЕРАЦИЯХ: ОПЫТ РОССИИ И БЕЛАРУСИ

А. К. ГОЛОВНИЧ, А. А. МИХАЛЬЧЕНКО, А. И. ЗИМОВСКАЯ
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Рост крупных агломераций сопровождается увеличением числа ежедневных поездок между центром, периферией города и пригородами. Автомобильные дороги в таких условиях быстро достигают предела пропускной способности, а строительство метрополитена требует значительных вложений и времени. Поэтому всё больше городов «обращаются» к железнодорожным линиям, проходящим по территории города. При этом целесообразно использование железнодорожной инфраструктуры, как, например, при работе Московского центрального кольца (МЦК), Московских центральных диаметров, проектов городских электричек в региональных центрах России, а также городских линий Белорусской железной дороги в Минском узле. Эффективность подобных систем нельзя свести к рентабельности перевозчика. Их ценность проявляется в экономии времени пассажиров, разгрузке других видов транспорта, повышении доступности территорий и снижении зависимости от автомобиля.

Эффективность современного скоростного рельсового транспорта целесообразно оценивать по нескольким группам показателей, каждая из которых отражает интересы пассажиров, города, перевозчика и владельца инфраструктуры (рисунок 1).



Рисунок 1 – Группы эффектов скоростного рельсового транспорта агломерации

Транспортный эффект выражается в сокращении времени поездки, повышении её надёжности и предсказуемости. Для пассажира решающее значение имеет не максимальная скорость поезда, а полное время «от двери до двери», которое включает подход к станции, ожидание, поездку и пересадки. Поэтому интервал движения и удобство пересадок часто важнее, чем скорость на перегоне.

Сетевой эффект проявляется в перераспределении потоков: новая линия разгружает перегруженные участки метро, вокзалы и автомобильные магистрали, создаёт альтернативные маршруты и повышает устойчивость всей транспортной системы к сбоям.

Социальный эффект связан с доступностью: единый с городским транспортом тариф, бесплатные пересадки и включение пригородов в городскую систему снижают стоимость поездки и расширяют круг мест приложения труда, доступных жителям периферии.

Эксплуатационный эффект характеризует, насколько полно используется инфраструктура и подвижной состав: наполняемость поездов, надёжность парка, стоимость поездо-километра. Именно здесь проявляется специфика использования железных дорог общего пользования, где городские поезда делят пропускную способность с грузовыми и дальними.

Градостроительный эффект отражает влияние линии на развитие прилегающих территорий: формирование транспортно-пересадочных узлов, освоение промышленных зон, рост привлекательности районов для жилья и деловой активности.

Рассмотрим эффективность скоростного рельсового транспорта на примере Московского центрального кольца, которое с сентября 2016 года можно сказать «превращено» из внутригородской грузовой железной дороги в полноценную линию городского транспорта протяжённостью 54 км. Транспортный эффект кольца заключается в экономии пассажирами времени поездки в среднем от 9 до 15 минут, а на отдельных маршрутах до 20 минут. Значит, путь от станции «Бульвар Рокоссовского» до «Владыкино» занимает 13 минут против прежних 37, а от станции «Площадь Гагарина» до «Москва-Сити» – 9 минут против 27. Так, за десять лет пассажир, совершающий поездки в будние дни, в сумме сэкономил около месяца времени (рисунок 2).

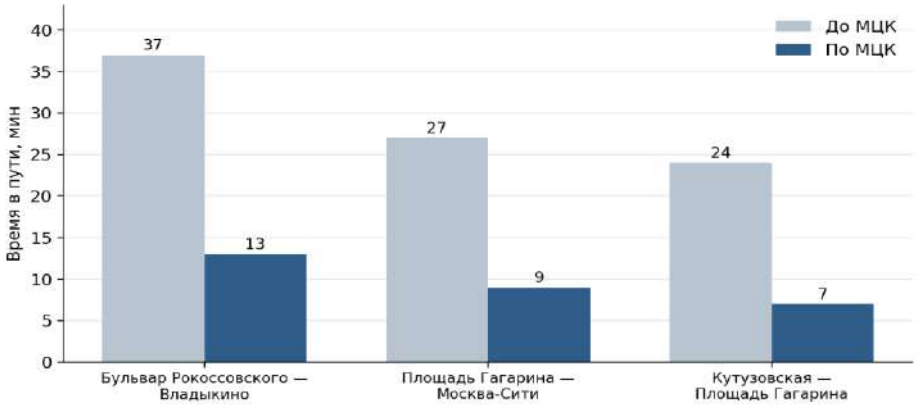


Рисунок 2 – Время в пути на отдельных маршрутах до и после запуска МЦК

Сетевой эффект для Московского центрального кольца приведен на рисунке 3.

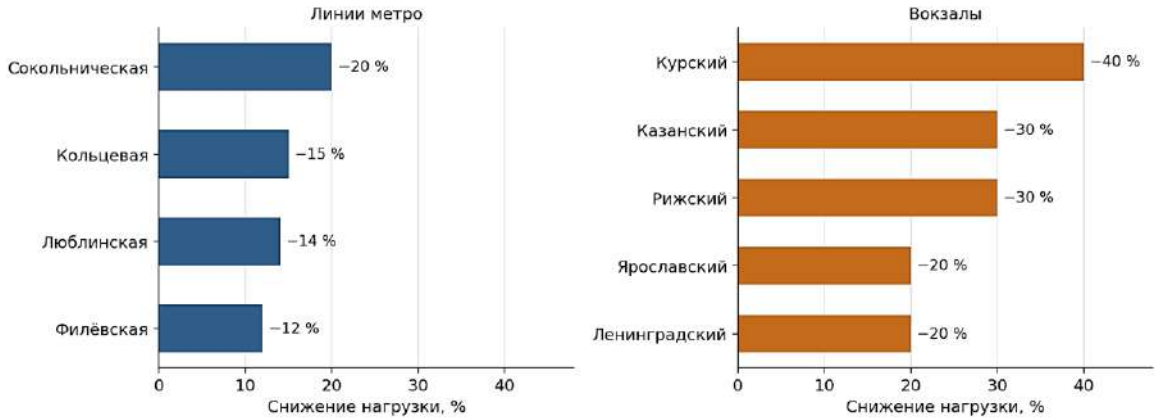


Рисунок 3 – Снижение нагрузки на линии метро и вокзалы после запуска МЦК

На рисунке 4 приведено развитие МЦК по годам, исходя из пассажирооборота, количества пар поездов и интервала движения в часы пик.

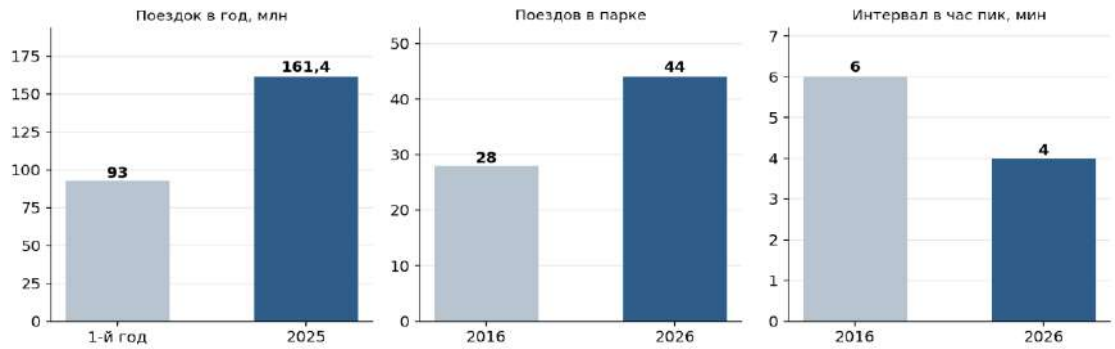


Рисунок 4 – Развитие Московского центрального кольца: пассажиропоток, парк и интервал

МЦК стало и полигоном технологических инноваций. С августа 2024 года на линии работает поезд с системой автоматического ведения под контролем машиниста, к концу 2026 года таких поездов должно стать одиннадцать, а в августе 2026 года начались испытания полностью автономных «Ласточек». Автоматизация ведения поездов рассматривается как способ дальнейшего сокращения интервалов и повышения эксплуатационной эффективности.

Заслуживает внимания работа Московских центральных диаметров, которые решают более сложную задачу – «превращают» радиальные направления пригородных электричек, заканчивавшиеся тупиковыми вокзалами, в сквозные маршруты, проходящие через центр города. Первые два диаметра открылись в ноябре 2019 года, в настоящее время работают четыре, общей протяжённостью более 300 км. По данным агентства «Москва», с момента запуска на диаметрах совершено более 1,7 млрд поездок, а пассажиропоток вырос в 1,8 раза (рисунок 5).

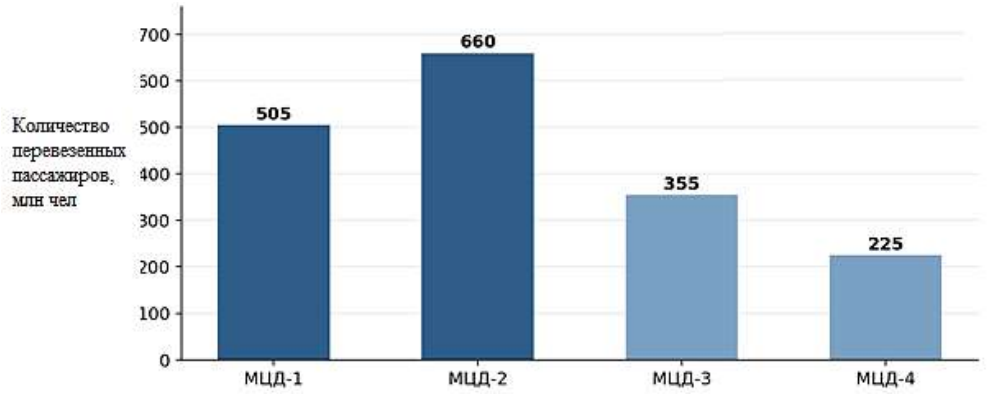


Рисунок 5 – Количество перевезенных пассажиров поездки по Московским центральным диаметрам с момента запуска

Социальный эффект диаметров обеспечивается прежде всего тарифной интеграцией. Поездка в пределах города стоит столько же, сколько в метро, а пересадки на метро и МЦК в течение 90 минут бесплатны.

Следует отметить, что на Белорусской железной дороге с ноября 2012 года поезда местного сообщения были разделены на пять типов: городские, региональные, межрегиональные, международные и коммерческие линии, а региональные и межрегиональные поезда – на классы «бизнес» и «эконом» в зависимости от скорости и числа остановок. Городские линии были предназначены для сообщения внутри Минска, областных центров и между ними и городами-спутниками на направлениях Минск – Заславль, Минск – Руденск, Минск – Смолевичи и Минск – Красное Знамя. В вагонах были установлены валидаторы, позволящие оплачивать проезд городскими транспортными картами, что стало шагом к тарифной интеграции с общественным транспортом Минска. По оценке белорусских СМИ, за 14 лет городские линии перевезли более 30 млн пассажиров, в среднем около 300 тысяч в месяц.

Белорусская железная дорога активно обновляет парк поездов региональных и межрегиональных линий бизнес-класса, которые сегодня обслуживаются поездами фирмы Stadler FLIRT а также дизель-поездами и рельсовыми автобусами PESA. По данным Министерства транспорта и коммуникаций, в графике 2025/2026 года – 376 пар пассажирских поездов, из них 10 пар региональных линий бизнес-класса и 267 пар региональных линий экономкласса.

Вместе с тем белорусский опыт показал уязвимость систем, опирающихся на небольшой специализированный парк. В сентябре 2025 года поезда серии ЭПг на городских линиях были заменены обычными электропоездами из-за плановых ремонтных работ. На время перерыва направления обслуживали электропоезда ЭР9, и время в пути увеличилось примерно на 7 минут.

Сопоставление опыта двух стран позволяет выявить факторы, которые определяют эффективность скоростного рельсового транспорта в агломерации. Первый из них – частота движения. Московское кольцо с интервалом 4 минуты в часы пик и диаметры с плотным графиком воспринимаются пассажирами как метро и потому привлекают поездки внутри города. Там, где интервал измеряется десятками минут или часами, поезд остаётся транспортом для заранее спланированных поездок и «проигрывает» автобусу.

Второй фактор – интеграция с городской транспортной системой. В Москве решающую роль сыграли единый тариф, бесплатные пересадки и строительство станций с прямым выходом к метро. В Минске валидаторы городских транспортных карт в поездах стали важным шагом в том же направлении, однако масштаб интеграции пока несопоставим.

Третий фактор – надёжность и резервирование подвижного состава. Большой парк МЦК и МЦД позволяет выводить поезда в ремонт без ущерба для графика. Небольшой специализированный парк городских линий Минска оказался чувствителен к проблемам обслуживания и поставок запасных частей, что привело к длительной замене поездов и росту времени в пути.

Четвёртый фактор – масштаб агломерации и плотность спроса. Эффективность московских проектов во многом обусловлена огромной численностью населения и концентрацией рабочих мест, которые обеспечивают высокую наполняемость поездов. Для Минской агломерации и региональных центров России это означает необходимость тщательнее выбирать направления и формат обслуживания, чтобы добиться приемлемой загрузки.

Условия эффективности скоростного рельсового транспорта и их выполнение в Москве и Минске приведены на рисунке 6.



Рисунок 6 – Условия эффективности скоростного рельсового транспорта и их выполнение в Москве и Минске

Выполненный анализ показал, что железнодорожная инфраструктура, существующая в городах, способна обеспечить высокий транспортный и сетевой эффект при сравнительно умеренных вложениях только если поезда работают как городской транспорт, а не как пригородная электричка с незначительным количеством поездов в расписании.

Таким образом, основными направлениями дальнейшего развития скоростного рельсового транспорта в агломерации являются:

– повышение частоты движения за счёт развития инфраструктуры (строительства дополнительных главных путей на наиболее загруженных направлениях, разделения городского и грузового движения, модернизации систем интервального регулирования). Опыт МЦД показывает, что именно дополнительные пути позволяют перейти от пригородного к городскому графику;

– полная тарифная и информационная интеграция (единый билет или транспортная карта, бесплатные пересадки в пределах установленного времени, общий маршрутный планировщик и единая система информирования пассажиров). Для Минской агломерации – расширение интеграции городских линий с метро и наземным транспортом;

– строительство транспортно-пересадочных узлов с минимальным расстоянием пересадки между железной дорогой, метро и наземным транспортом. Каждая дополнительная минута на пересадку снижает привлекательность маршрута и нивелирует выигрыш от скорости поезда;

– обеспечение надёжности парка, включая локализацию производства и обслуживания подвижного состава и запасных частей. Белорусский опыт показывает, что без этого даже удачно спроектированная система может надолго утратить свои преимущества;

– автоматизация ведения поездов, которая уже испытывается на МЦК, что позволяет сократить интервалы и повысить точность выполнения графика без пропорционального роста затрат на персонал;

– согласование развития рельсового транспорта с градостроительной политикой. Размещение жилья и рабочих мест вблизи станций, освоение прилегающих промышленных территорий и разви-

тие городов-спутников вдоль железнодорожных направлений обеспечивают спрос, без которого скоростной рельсовый транспорт не может быть эффективным.

Опыт России и Беларуси подтверждает, что скоростной рельсовый транспорт на базе железных дорог является одним из наиболее результативных инструментов развития агломерационной мобильности. Московское центральное кольцо с более чем 1,4 млрд поездок за десять лет и Московские центральные диаметры с более чем 1,7 млрд поездок показывают, какой эффект даёт сочетание высокой частоты движения, современного подвижного состава, единого тарифа и удобных пересадок: пассажиры экономят время и деньги, а метро, вокзалы и дороги получают заметную разгрузку.

Белорусский опыт городских линий Минска демонстрирует те же принципы в меньшем масштабе и одновременно показывает, насколько эффективность зависит от надёжности парка и частоты обслуживания. Для обеих стран дальнейшее развитие связано с повышением частоты движения, полной интеграцией с городским транспортом, строительством пересадочных узлов, обеспечением технологической независимости в обслуживании подвижного состава и увязкой транспортных решений с градостроительной политикой.

Список литературы

1 Что такое МЦК и как оно повлияло на транспортную сферу Москвы // Ведомости. – URL: https://www.vedomosti.ru/spravka/chto-takoe-mtsk (дата обращения: 29.09.2026).

2 10 лет МЦК: маршруты, благодаря которым пассажиры экономят время // Метро. – URL: https://www.gazetametro.ru/articles/10-let-mtsk-marshruty-blagodarja-kotorym-passazhiry-ekonomjat-vremja-11-09-2026 (дата обращения: 29.09.2026).

3 Сергей Собянин. Почти 1,6 миллиарда поездок совершено за шесть лет на МЦД // Официальный сайт Мэра Москвы. – URL: https://www.mos.ru/mayor/themes/13712050/ (дата обращения: 29.09.2026).

4 На Белорусской железной дороге появляются поезда бизнес- и экономклассов // Белорусская железная дорога. – URL: https://www.rw.by/corporate/press_center/reportings_interview_article/2012/01/na_belorusskoj_zheleznoj_doro4/ (дата обращения: 29.09.2026).

УДК 656.222.3:625.4

ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ВИДОВ ТРАНСПОРТА В АГЛОМЕРАЦИИ НА ПРИМЕРЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ S-BAHN И HUB-AND-SPOKE

Л. А. ГОНЧАРОВА, Т. А. ВЛАСЮК, Я. В. ЖИТНИКОВА
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Модель городской электрички исторически сложилась в Берлине и Гамбурге и в развитой форме реализована в парижской системе RER, мюнхенском и цюрихском S-Bahn, лондонском Elizabeth line. Её техническое ядро – это соединение радиальных подходов сквозным участком через центр города, что превращает два тупиковых маршрута в один диаметральный. Экономический смысл решения состоит в устранении оборота составов на дефицитных центральных станциях: одна и та же путевая инфраструктура и один и тот же парк обслуживают вдвое больший объём перевозок, а пассажиры, следующие через центр, «избавляются» от пересадки (рисунок 1).

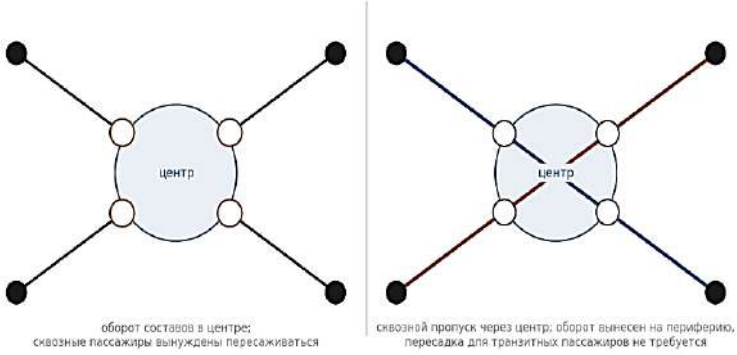


Рисунок 1 – Сопоставление радиально-тупиковой (*а*) и диаметральной сквозной (*б*) схем организации движения

В научной литературе по этой модели рассматриваются два варианта. Первый посвящён технологии организации движения: построению тактового графика, расчёту пропускной способности центрального участка, обеспечению устойчивости расписания при высокой плотности потока поездов. На рисунке 1, *б* показано, что диаметральная линия крайне «чувствительна» к задержкам – опоздание на одном плече транслируется на другое, а устойчивость достигается за счёт резервов времени на оборотных станциях, унификации подвижного состава по динамическим характеристикам и сокращения времени стоянки, что, в свою очередь, требует высоких платформ и многодверных составов.

Второй вариант исследует эффект для расселения и структуры поездок, в котором фиксируется, что запуск сквозной линии перераспределяет спрос не только с автомобиля, но и с параллельных линий метрополитена и автобусных маршрутов, а прирост общего числа поездок оказывается меньше, чем прогнозируется простыми моделями. Это указывает на необходимость оценки чистого эффекта и предостерегает от завышенных ожиданий.

Отдельного внимания заслуживает вопрос совмещения городского и магистрального движения на одних путях. В условиях России и Беларуси, где пригородные направления одновременно несут дальний пассажирский и грузовой поток, организация тактового движения требует либо специализации путей, либо построения сложного графика с чередованием категорий поездов. Этот вопрос в отечественной литературе представлен шире, чем градостроительная составляющая модели, что традиционно определяется отечественной теорией эксплуатационной работы.

В модели Hub-and-Spoke железная дорога представляет собой каркас, а стыковка с наземным транспортом выносится в специально организованные узлы. Её теоретическое основание – это концепция согласованной пересадки, при которой рейсы разных маршрутов сводятся к общему моменту времени в общем пункте, образуя так называемый «пульс». Наиболее последовательная реализация этого принципа представлена в национальном масштабе как швейцарский интегрированный тактовый график, при котором прибытие и отправление поездов на узловых станциях привязаны к фиксированным минутам часа, а расписание автобусов строится от расписания поездов. Организационное следствие такого подхода примечательно тем, что время хода между узлами перестаёт быть свободной переменной и становится проектным требованием к инфраструктуре. При этом линию модернизируют не ради абстрактного ускорения, а ради попадания в такт (рисунок 2).

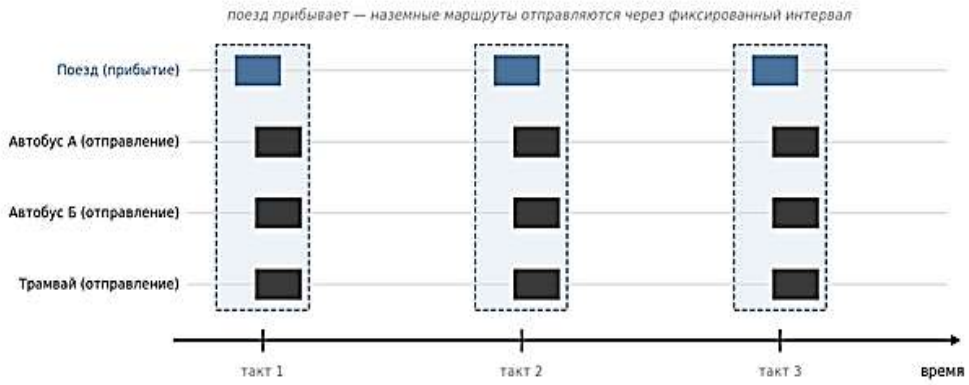


Рисунок 2 – Принцип согласованной пересадки («пульса») в узловой станции

Методическая литература по этой модели сосредоточена на задачах оптимизации: выборе моментов отправления, минимизирующих суммарное время ожидания при пересадках; распределении резервов надёжности и определении правил удержания рейса. А. Седер и его соавторы разработали формализованные постановки таких задач и показали их вычислительную сложность при реалистичном размере сети. Практическое ограничение подхода состоит в том, что синхронизация эффективна при относительно больших интервалах, например при интервале менее 6–8 минут выигрыш от согласования становится меньше потерь от жёсткости графика. Поэтому целесообразнее переходить к частому движению без привязки к расписанию.

Для агломераций России и Беларуси эта модель имеет практическое значение, поскольку не требует крупных капитальных вложений и применима на направлениях с умеренным пассажиропотоком, где тактовое движение с высокой частотой экономически не оправдано. Вместе с тем имен-

но здесь наиболее остро проявляется институциональная проблема, при которой расписание поездов утверждается железной дорогой, а расписание автобусов – муниципалитетом.

Список литературы

1 **Власюк, Т. А.** Особенности развития инфраструктуры железнодорожного транспорта в агломерации / Т. А. Власюк // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2025. – № 1. – С. 53–59.

2 **Резер, С. М.** Взаимодействие транспортных систем / С. М. Резер. – М. : Наука, 1985. – 246 с.

3 **Резер, С. М.** Управление транспортом за рубежом / С. М. Резер. – М. : Наука, 1994. – 316 с.

4 **Вучик, В. Р.** Транспорт в городах, удобных для жизни : пер. с англ. / В. Р. Вучик. – М. : Территория будущего, 2011. – 576 с.

5 **Власюк, Т. А.** Железнодорожный пассажирский транспорт в территориальной структуре городов-центров и их спутников в Республике Беларусь (ретроспективный анализ и перспектива развития) : монография / Т. А. Власюк ; М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2020. – 230 с.

УДК 656.078.1

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЗАРУБЕЖНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ВИДОВ ТРАНСПОРТА В АГЛОМЕРАЦИИ

Л. А. ГОНЧАРОВА, Я. В. ЖИТНИКОВА, А. Н. БЕЛОУС, Р. Н. ГОРБАЧ
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Отечественная транспортная школа определяет взаимодействие видов транспорта как согласованное функционирование технических средств, технологических процессов и систем управления разных видов транспорта, обеспечивающее непрерывность перемещения пассажиров и грузов. Классические работы Н. В. Правдина, В. Я. Негрея и С. М. Резера выделяют несколько уровней такого согласования [1–4]:

– технический (совместимость подвижного состава, устройств и сооружений);
– технологический (согласование графиков движения и операций по обработке потоков);
– информационный (единство систем оповещения и учёта);
– экономический (согласование тарифов и распределение доходов);
– правовой (единство норм ответственности перед пассажиром).

Существенно, что нарушение согласования хотя бы на одном уровне обесценивает достижения на остальных: единый билет не поможет при несогласованном расписании, а идеальная синхронизация теряет смысл, если пассажир вынужден платить дважды (таблица 1).

Таблица 1 – **Уровни согласования при взаимодействии видов транспорта**

Уровень	Содержание согласования	Типовое нарушение в агломерациях	Модели устранения несоответствий
Технический	Совместимость подвижного состава, платформ, устройств посадки и высадки	Разновысотные платформы, длительная стоянка	Унификация подвижного состава, высокие платформы
Технологический	Согласование графиков движения и операций по обработке потока	Расписания поездов и наземных маршрутов не связаны между собой	Тактовый график, согласованная пересадка, правила удержания рейса
Пространственный	Взаимное размещение платформы, остановки и пешеходных связей	Остановка за пределами привокзальной площади, переход не оборудован	Компактный узел, крытые переходы, сокращение длины перехода
Информационный	Единство систем оповещения, навигации и планирования поездки	Разные форматы расписаний, отсутствие сквозного построения маршрута	Единый формат данных, общее приложение и навигация в узле
Экономический	Согласование тарифов и распределение доходов между перевозчиками	Раздельная оплата каждого участка, двойной платеж за пересадку	Единый тариф, повременная пересадка
Правовой и организационный	Распределение ответственности перед пассажиром и полномочий по координации	Отсутствие субъекта, отвечающего за поездку в целом	Договор о координации, транспортное объединение, единый заказчик перевозок

Практическая ценность такого разделения состоит в диагностической функции: обследование конкретного узла по шести уровням позволяет определить, где именно теряется качество услуги, и не тратить средства на решение мнимой проблемы.

Следует отметить, что в научных работах профессора Н. В. Правдина уделено значительное внимание пассажирскому комплексу крупных и крупнейших городов, особенно стратегии развития пассажирской транспортной системы с учетом взаимодействия различных видов транспорта, например железной дороги и метрополитена, которые рассматриваются как конкурирующие виды транспорта, с одной стороны, но выполняющих общую задачу по удовлетворению потребностей населения в перевозках – с другой [1, 2].

Зарубежная литература оперирует близким, но иначе устроенным набором понятий. Различаются мультимодальность как наличие в системе нескольких видов транспорта, интермодальность – техническая и организационная возможность использовать их в одной поездке, и интеграция – состояние, при котором такая поездка воспринимается пассажиром как единая услуга. Последнее и обозначается термином «бесшовность». Полезность этого различия в том, что оно смещает критерий оценки с характеристиками системы на восприятие пользователя: система может быть мультимодальной и при этом полностью дезинтегрированной.

Технологическая модель взаимодействия видов транспорта может быть определена через четыре конституирующих признака, таких как:

– способ построения графика движения железнодорожного участка (произвольный, тактовый, синхронизированный с наземным транспортом);

– пространственная организация стыка (тупиковый вокзал, сквозная станция, вынесенный за пределы ядра узел);

– принцип оплаты (раздельный, повременно-интегрированный, зонно-сетевой);

– распределение ответственности за согласование между участниками.

Комбинация значений этих признаков даёт конечный набор различимых моделей, что и позволяет проводить их сопоставление (рисунок 1).



Комбинация значений признаков даёт конечный набор различимых моделей

Рисунок 1 – Классификация технологических моделей взаимодействия по четырем конституирующим признакам

Сопоставление моделей по единому набору признаков позволяет зафиксировать область применения каждой из них (таблица 2).

Таблица 2 – **Сравнительная характеристика технологических моделей взаимодействия различных видов транспорта**

Модель	Технологическое ядро	Условия применимости	Капиталоемкость	Основные ограничения
«S-Bahn» (городская электричка)	Сквозной пропуск через центр, тактовый график, единый тариф и стандарт станций	Крупная агломерация, устойчивый поток через центр, наличие или возможность создания сквозного участка	Высокая	«Конфликт» с грузовым и дальним движением, потребность в специализированном подвижном составе
«Hub-and-Spoke» (узловая с синхронизацией)	Согласование расписаний поездов и наземных маршрутов в узле, гарантированная стыковка	Средние и малые агломерации, направления с умеренным потоком, интервал свыше 8–10 мин	Низкая и средняя	Требует институционального механизма согласования между перевозчиками разной подчиненности
Тарифно-билетная интеграция	Единый тариф, бесплатная или льготная пересадка	Любая агломерация; эффективна как дополнение к прочим моделям	Низкая	Потребность в источнике компенсации, сложность распределения выручки
«Park and Ride» (перехватывающие парковки)	Подвоз автотранспортом к станции с последующей поездкой по железной дороге	Низкоплотная периферия, высокая автомобилизация, наличие территории у станции	Средняя	Риск роста суммарного пробега при близком размещении, конкуренция за привокзальную территорию
Последовательно-пересадочная (базовая)	Отсутствие согласования; пересадка организуется пассажиром самостоятельно	Направления со слабым потоком	Минимальная	Значительные затраты пассажира, низкая конкурентоспособность по отношению к автомобилю

Из анализа таблицы 1 можно сделать следующие выводы:

1) модели различаются по капиталоемкости на порядок, при этом наиболее дешевые из них – это синхронизация расписаний и тарифная интеграция, что дает эффект, сопоставимый с инфраструктурными решениями при условии их совместного применения;

2) модели не являются универсальными. Выбор определяется размером агломерации, конфигурацией сети и структурой спроса;

3) модели, кроме базовой, требуют институционального механизма координации, отсутствие которого в отечественных условиях выступает более жестким ограничением, чем состояние инфраструктуры. Совокупный эффект комбинации, по данным зарубежных исследований, превышает сумму эффектов отдельных мер, что делает пакетный подход методически предпочтительным.

На основании вышеизложенного следующие вопросы для дальнейшего исследования, касающиеся разработки:

1) классификации технологических моделей взаимодействия видов транспорта, построенной на заданных признаках и пригодной для практического выбора, так как существующие описания носят преимущественно иллюстративный характер и перечисляют примеры, а не критерии;

2) методики адаптации зарубежных моделей к условиям агломераций России и Беларуси, отличающихся совмещением городского движения с грузовым и дальним, разделением полномочий между перевозчиком и муниципалитетом, иная структура источников;

3) единой системы показателей оценки для обоснования выбора модели на стадии проектирования и оценки достигнутого эффекта по факту реализации;

4) вопроса распределения доходов и компенсации выпадающих поступлений при повременной интеграции тарифа между железнодорожным перевозчиком и городским оператором. Это ограничение носит прикладной характер и препятствует распространению московского и минского опыта на региональные агломерации;

5) устойчивости технологических моделей к возмущениям (сезонным колебаниям спроса, отказам подвижного состава) – определяют доверие пассажира к системе, а следовательно, и её реальную конкурентоспособность.

Таким образом, анализ отечественных и зарубежных источников показал, что проблема взаимодействия железнодорожного и городского транспорта в агломерациях изучена недостаточно. Теоретические основания интеграции и иерархии транспортной сети, а также концепция «узел – место», транзитно-ориентированное развитие, количественная оценка пересадочного штрафа представлены в зарубежной литературе достаточно полно и опираются на обширную эмпирическую базу.

Отечественная школа обладает многочисленными исследованиями в области организации работы транспортных узлов и расчёта их параметров, однако сформировалась в иных хозяйственных условиях и не включает в явном виде задачу конкуренции с личным автотранспортом**.** Практический опыт последнего десятилетия на примере Московского центрального кольца и Московских центральных диаметров, городских линий Белорусской железной дороги подтверждает работоспособность интеграционных моделей в условиях России и Беларуси, но не сведен к сопоставимым показателям.

Основной вывод обзора состоит в том, что определяющим фактором эффективности взаимодействия выступает не объем капитальных вложений в инфраструктуру, а качество технологической модели: согласованность графиков, организация пересадочного узла, единство тарифа и наличие механизма координации. Именно это положение принимается в качестве исходной гипотезы дальнейших исследований и подлежит проверке на материале конкретных агломераций.

Список литературы

1 **Власюк, Т. А.** Особенности развития инфраструктуры железнодорожного транспорта в агломерации / Т. А. Власюк. – Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2025. – № 1. – С. 53–59.

2 **Резер, С. М.** Взаимодействие транспортных систем / С. М. Резер. – М. : Наука, 1985. – 246 с.

3 **Резер, С. М.** Управление транспортом за рубежом / С. М. Резер. – М. : Наука, 1994. – 316 с.

4 **Вучик, В. Р.** Транспорт в городах, удобных для жизни : пер. с англ. / В. Р. Вучик. – М. : Территория будущего, 2011. – 576 с.

5 **Власюк, Т. А.** Железнодорожный пассажирский транспорт в территориальной структуре городов-центров и их спутников в Республике Беларусь (ретроспективный анализ и перспектива развития) : монография / Т. А. Власюк ; М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2020. – 230 с.

УДК 656.043.2

ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК АВТОМОБИЛЬНЫМ ТРАНСПОРТОМ: АНАЛИЗ АВАРИЙНОСТИ И ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ

О. А. ДОВГУЛЕВИЧ, А. Ю. ИВАНЕНКО
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Безопасность пассажирских перевозок автомобильным транспортом является одним из важнейших условий устойчивого функционирования транспортной системы. В отличие от перевозок грузов, при осуществлении пассажирских перевозок последствия дорожно-транспортных происшествий (ДТП) могут быть связаны с одновременным причинением вреда значительному количеству людей. Поэтому деятельность автомобильного перевозчика должна быть ориентирована не только на обеспечение регулярности и качества обслуживания, но и на предупреждение происшествий на всех этапах транспортного процесса.

В Республике Беларусь обеспечение безопасности автомобильных перевозок относится к числу основных задач государственного регулирования транспортной деятельности. Законодательство предусматривает обязанность автомобильного перевозчика создавать условия для безопасного выполнения перевозок, обеспечивать технически исправное состояние транспортных средств, допускать к работе водителей, соответствующих установленным требованиям, а также организовывать контроль за соблюдением режима труда и отдыха. В Концепции обеспечения безопасности дорожного движения отмечается необходимость последовательного снижения аварийности и повышения эффективности профилактических мероприятий [1, 2].

В рамках проводимого исследования изучалась динамика аварийности с участием автомобильных перевозчиков – филиалов ОАО «Гомельоблавтотранс»: «Автобусный парк № 1», «Автобусный парк № 6» и «Горэлектротранспорт» – за период с 2015 по 2024 год. Были определены изменения абсолютных и относительных показателей аварийности, выполнен регрессионный анализ аварийности по таким показателям, как общее число ДТП, количество пострадавших в них, количество ДТП по вине водителей предприятий, количество пострадавших в таких ДТП, число ДТП с материальным ущербом, количество нарушений Правил дорожного движения (ПДД) водителями предприятий.

Так, анализ динамики показателей аварийности по филиалу «Автобусный парк № 1» ОАО «Гомельоблавтотранс» показал, что наблюдается снижение как абсолютных, так и относительных показателей аварийности. При сохранении такой тенденции количественные показатели аварийности ежегодно будут сокращаться. Однако отсутствие тренда говорит о неустойчивости динамики изменения рассматриваемых показателей. Похожая картина наблюдается и при анализе показателей аварийности по филиалу «Автобусный парк № 6» ОАО «Гомельоблавтотранс» – относительные показатели снижаются, присутствует небольшой рост абсолютных показателей аварийности. Но отсутствие тренда свидетельствует о неустойчивой динамике изменения показателей аварийности. На обоих филиалах наблюдается ежегодный рост коэффициента виновности водителей. Исследование показало, что значения этого относительного показателя находится в пределах 10–35 %, в единичных случаях больше (в 2020 и 2023 году для обоих парков составил 50–80 %). Однако коэффициент тяжести последствий практически не изменяется (для филиала «Автобусного парка № 6» он и вовсе равен 0). Также для обоих филиалов исследование показало рост ДТП с материальным ущербом и снижение количества нарушений Правил дорожного движения водителями.

В филиале «Горэлектротранспорт» дело обстоит несколько иначе. Здесь наблюдаются устойчивая тенденция к увеличению количества ДТП по вине водителей филиала при общей тенденции снижения количества ДТП, а также устойчивая тенденция роста коэффициента виновности водителей предприятия. Показатели регрессионных моделей – высокие коэффициенты корреляции и детерминации – подтверждают высокую силу связи между зависимыми и независимыми переменными моделей и говорят о высоком качестве этих регрессионных моделей. Прогнозирование роста аварийности по вине водителей предприятия позволяет говорить об увеличении этого показателя на 3 пункта ежегодно.

Наиболее распространенными факторами риска при пассажирских перевозках являются нарушение скоростного режима, несоблюдение дистанции и интервала, нарушение правил проезда перекрестков, неправильный выбор скорости с учетом дорожных и погодных условий, отвлечение водителя от управления транспортным средством, утомление, недостаточный опыт работы на конкретном маршруте и нарушения ПДД при маневрировании. Существенное влияние также оказывают возраст подвижного состава, неудовлетворительное состояние дорожного покрытия, недостаточная освещенность остановочных пунктов, сложные условия посадки и высадки пассажиров, а также высокая интенсивность движения.

Основополагающую роль в снижении количества ДТП с участием водителей автомобильных перевозчиков и тяжести их последствий играют организационно-технические меры по предупреждению аварийности на предприятиях. Правильность выбора целей и задач профилактической работы позволяет продуктивно проводить работу службы безопасности движения автомобильного перевозчика.

Опыт других стран свидетельствует, что снижение аварийности при пассажирских перевозках достигается за счет сочетания технических инноваций, эффективного контроля водителей, рациональной организации труда и системного управления рисками.

Для каждого конкретного автотранспортного предприятия целесообразно определить наиболее проблемные направления: маршруты с повышенной аварийностью, транспортные средства с частыми техническими отказами, категории водителей, нуждающихся в дополнительном обучении, и периоды времени, характеризующиеся повышенным риском. Такой подход позволит отказаться от формальных единообразных мероприятий и сосредоточить ресурсы на наиболее существенных факторах.

Одной из мер, направленных на долгосрочную перспективу обеспечения безопасности пассажирских перевозок и дорожного движения на предприятиях автомобильного транспорта, является введение ежегодного внутреннего аудита, предусмотренного стандартом ISO 39001 «Системы менеджмента безопасности дорожного движения» [3] в рамках системного управления безопасностью. Внутренний аудит должен включать такие основные задачи, как проверка документации, обследование пассажирских транспортных средств, анализ организации и проведения медицинского и технического контроля, оценка графиков труда и отдыха водительского состава, анализ видеозаписей и данных телематики из кабин и салонов транспортных средств [4], проверка подготовки водителей, обследование маршрутов и остановочных пунктов, оценка выполнения мероприятий по итогам прошлых ДТП.

Таким образом, повышение безопасности пассажирских автомобильных перевозок требует комплексного сочетания организационных, технических, кадровых и информационных мер. Объективный анализ аварийности должен основываться не только на подсчете ДТП, но и на расчете относительных показателей с учетом пробега, численности подвижного состава и объема перевозок. Наиболее результативными мерами являются усиление предрейсового контроля, совершенствование технического обслуживания автобусов, систематическая подготовка водителей, контроль режима труда и отдыха, применение цифрового мониторинга и обязательное изучение обстоятельств каждого происшествия.

Список литературы

1 О Концепции обеспечения безопасности дорожного движения : постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 22 мая 2023 г. № 329 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C22300329 (дата обращения: 15.07.2026).

2 Об автомобильном транспорте и автомобильных перевозках : Закон Респ. Беларусь от 14 авг. 2007 г. № 278-З // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=-H10700278 (дата обращения: 15.05.2026).

3 Стандарт ISO 39001: ROAD TRAFFIC SAFETY MANAGEMENT SYSTEMS. – URL: https://www.iso.org/files/-live/sites/ isoorg/files/developing_standards/docs/en/ISO_ 39001_Startup_Guide_2017-06.pdf (дата обращения: 03.09.2026).

4 О перевозках пассажиров и грузов: постановление Совета Министров Республики Беларусь от 31 марта 2026 г. № 147 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: https://pravo.by/document/?guid=-12551&p0=C22600147 (дата обращения: 20.04.2026).

УДК 656.2:338.48

«ЦВЕТОЧНЫЕ МАРШРУТЫ» КАК НОВЫЙ ВЕКТОР РАЗВИТИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ТУРИЗМА НА БЕЛОРУССКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГЕ

Я. В. ЖИТНИКОВА, В. А. КОБЗАРЬ, А. А. ФРОЛОВА, А. В. ФАЛЕЙЧИК
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Цветение растений относится к немногим природным явлениям, которые одновременно предсказуемы и неповторимы. Оно наступает каждый год, но длится от нескольких дней до пары недель и именно эта ограниченность превращает его в событие, ради которого люди готовы ехать за сотни километров. В мировой практике сложилось отдельное направление – «цветочный туризм», или флоритуризм: поездки к местам массового цветения тюльпанов, сакуры, лаванды, льна. В 2026 году этот вид отдыха заметно набрал популярность в Российской Федерации, где туристические программы строятся вокруг фестивалей, экскурсий и знакомства с местной культурой [1]. Для Республики Беларусь эта тема также актуальна. С 1 января 2026 года действует Государственная программа «Туризм» на 2026–2030 годы, одна из подпрограмм которой посвящена развитию национального туризма, а сводный целевой показатель – доведение доли сферы туризма в валовом внутреннем продукте до 4,5 % к 2030 году [2, 3, 6]. Республика Беларусь располагает сетью национальных парков и заповедников, развитым агроэкотуризмом и собственным природным символом – льном. При этом в программе отмечено, что транспорт формирует значительную часть расходов иностранных туристов, а задача улучшения сообщения между туристическими точками остаётся актуальной [3].

Следует отметить, что в 2025 году БЖД перевезла в сообщении с Россией более 3,6 млн пассажиров, что на 11,7 % больше, чем годом ранее. Этот растущий пассажиропоток создает прочный фундамент для внедрения принципиально новых турпродуктов. В условиях, когда транспортные расходы составляют значительную долю в бюджете иностранного туриста, Белорусская железная дорога может предложить рынку комплексное решение – проект «Цветочные маршруты». За счет эффекта масштаба и готовой межрегиональной логистики БЖД способна не просто связать уникальные природные ресурсы страны, но и сделать их посещение экономически доступным для массового белорусско-российского путешественника.

Для железнодорожного транспорта «цветочные маршруты» интересны по нескольким причинам. Во-первых, многие места массового цветения – это лавандовые поля, цветущие сады, подъезд к которым доступен по железной дороге. Во-вторых, поезд сам становится частью впечатления: пу-

тешествие превращается в «круиз на рельсах», где ночной переезд экономит время, а день отдан событию. «Цветочные маршруты» могут стать для этого потока поводом посетить не только Минск, но и регионы. Однако следует отметить, что «цветочный маршрут» сложнее обычного турпоезда. Сроки цветения сдвигаются от года к году вслед за погодой, а природные объекты, ради которых едут туристы, уязвимы к вытаптыванию и перегрузке. Поэтому организация таких перевозок требует сочетания транспортной логистики, событийного менеджмента и природоохранных ограничений. При этом главное отличие «цветочного маршрута» от обычного туристического поезда – неопределённость даты. Природа не подстраивается под расписание, поэтому расписание должно подстраиваться под природу. Предлагаемая модель организации строится как замкнутый цикл из шести этапов (рисунок 1).



Рисунок 1 – Модель организации «цветочного маршрута»

На **первом этапе** Центральный ботанический сад НАН Беларуси, национальные парки и гидрометеослужба формируют прогноз сроков цветения за 4–6 недель и уточняют его еженедельно.

На **втором этапе** БЖД резервирует не одну дату, а окно из двух-трёх возможных дат отправления.

Третий этап – сборка турпакета вместе с туроператорами и облисполкомами: проезд, трансфер от станции, участие в фестивале и экскурсии.

На **четвёртом этапе** продажи открываются с «плавающей» датой: пассажир покупает поездку на определённую неделю, а точную дату получает за 10–14 дней через приложение «БЧ. Мой поезд», с гарантией полного возврата, если дата не подошла.

На **пятом этапе** проходит поездка с квотами посещения природных площадок по времени.

Шестой этап – сбор отзывов и данных о нагрузке на территорию для корректировки программы на следующий сезон.

Модель реализуется коалицией участников, каждый из которых вносит свой ресурс (рисунок 2).

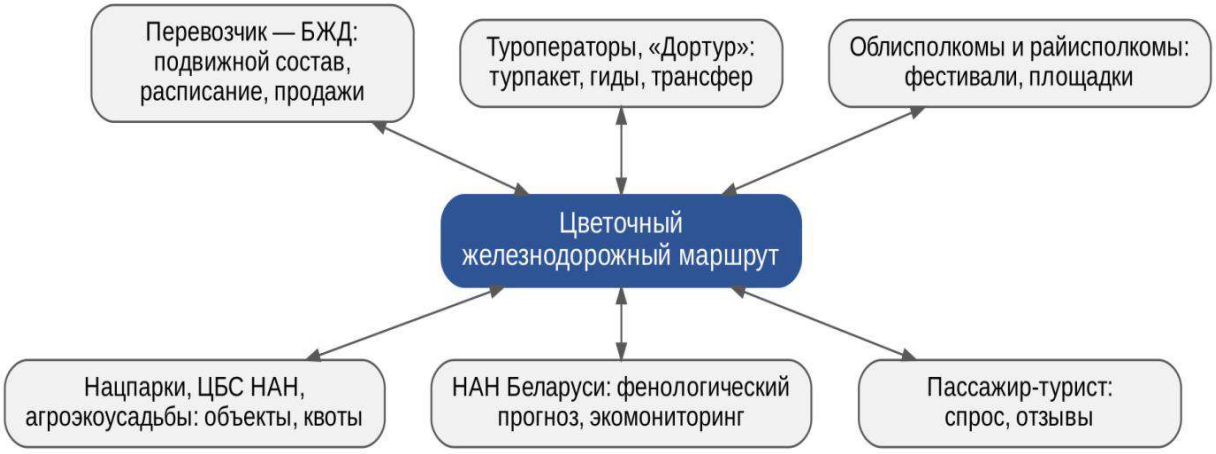


Рисунок 2 – Участники «цветочного маршрута» в Беларуси

На основе сезонного календаря предлагается схема цветочной программы Беларуси (рисунок 3).

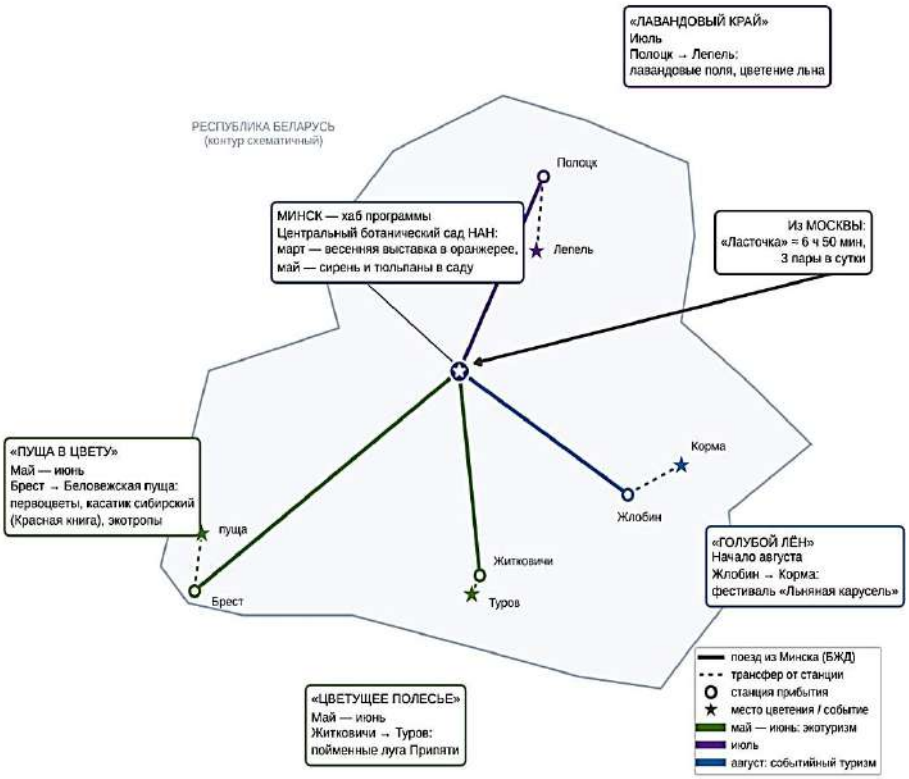


Рисунок 3 – Схема «цветочных маршрутов» в Республике Беларусь

«Цветочная программа» может быть построена по принципу «звезды». В центре находится Минск – транспортный хаб и самостоятельная «цветочная точка». Сюда приходит въездной пассажиропоток из России на «Ласточке» (серая стрелка), и отсюда же расходятся четыре сезонных луча. Каждый луч состоит из двух частей: поезда БЖД от Минска до станции прибытия (сплошная линия) и короткого организованного трансфера от станции до места цветения или события (пунктир). Цвет луча показывает сезон: зелёные маршруты работают в мае – июне и относятся к экотуризму, фиолетовый – в июле, синий – в августе и привязан к празднику. Минск открывает сезон: в марте на весеннюю выставку в оранжерее Центрального ботанического сада, в мае – сирень и тюльпаны в открытом грунте. Для туриста из России это естественное начало поездки: прибыв утром на «Ласточке», он проводит день в ботаническом саду, а вечером отправляется по одному из лучей.

Луч «Пуща в цвету» (май-июнь). Поезд Минск – Брест и трансфер в Беловежскую пущу к весенним первоцветам и касатику сибирскому [8]. Это маршрут экологического туризма на особо охраняемой территории, поэтому здесь в полной мере применяются квоты посещения, движение только по экотропам и сопровождение гидами. Маршрут удобно совмещать с посещением Брестской крепости.

Луч «Цветущее Полесье» (май-июнь). Поезд до Житковичей и трансфер в Туров, к пойменным лугам Припяти. Сроки цветения здесь зависят от весеннего половодья, поэтому для маршрута особенно важны фенологический прогноз и окно из нескольких возможных дат отправления.

Луч «Лавандовый край» (июль). Поезд Минск – Полоцк с экскурсией по древнейшему городу страны и трансфер к лавандовым полям под Лепелем, где туроператоры уже проводили экскурсии в период цветения. В эти же недели цветёт лён, что позволяет объединить лаванду и лён в одной поездке.

Луч «Голубой лён» (начало августа). Поезд до Жлобина и трансфер в Корму на фестиваль «Льняная карусель» с льняным парадом, показом льняной одежды, «Льняной деревней» и интерактивной площадкой, где показаны все операции от посева до готового рушника. Это событийный маршрут с жёсткой датой, поэтому механизм «плавающей» даты здесь не нужен: поезд назначается под фестиваль.

Белорусская программа выигрывает за счёт компактности страны: большинство туристических объектов находится в 150–200 км от Минска [4], поэтому каждый луч укладывается в один-два дня.

Турист из России может за неделю отпуска увидеть несколько точек цветения, а житель Беларуси – совершить поездку выходного дня [5]. В перспективе программа может стать основой совместного маршрута Союзного государства, например «тюльпаны Калмыкии – сирень Минска – лён Полесья». Однако если «цветочный маршрут» станет популярным, главной угрозой окажется его собственный успех. Редкие виды растений произрастают на особо охраняемых территориях, и неконтролируемый поток туристов способен уничтожить то, ради чего они приехали. Режим охраны таких территорий устанавливает Закон «Об особо охраняемых природных территориях» [7]. Основные риски и способы их снижения приведены в таблице 1.

Таблица 1– **Экологические риски «цветочных маршрутов» и меры по их снижению**

Риск	Проявление	Мера снижения
Вытаптывание	Разрушение почвы и корней вне троп	Обустроенные экотропы и смотровые площадки, гиды национальных парков
Перегрузка	Одномоментный приезд нескольких сотен человек	Квоты посещения по времени
Сбор растений	Срывание цветов, выкапывание видов растений, занесенных в Красную книгу	Инструктаж в пути, информирование в вагонах, контроль на месте
Отходы	Скопление мусора на природной площадке	Организация сбора отходов, многоразовая посуда в турпакете
Автомобильный трафик	Выбросы загрязняющих веществ от автотранспорта и заторы на подъездах	Приоритет организованного трансфера от станции

Анализ таблицы 1 показал, что у железной дороги есть важное преимущество перед автомобилем: организованная группа туристического поезда легко управляется. Её можно разделить на «волны», провести по тропе с гидом и вернуть к трансферу в установленное время.

Таким образом, «цветочный туризм» объединяет черты событийного и экологического туризма: он привязан к короткому, неповторимому природному событию и одновременно обращён к живой природе, которую нужно беречь. Мировой опыт от Кёкенхофа с его 1,4 млн посетителей за сезон до японского сезона сакуры показывает, что цветение способно стать устойчивым туристическим брендом, а транспорт выступает инструментом управления потоками.

В Беларуси для «цветочных маршрутов» есть все предпосылки: национальные парки с редкими видами, научные коллекции Центрального ботанического сада, более 1,4 тыс. агроэкоусадеб и собственный национальный символ – лён с фестивалем «Льняная карусель».

Предложенная модель организации – это фенологический прогноз, «резервное окно» назначения поезда, продажи с «плавающей» датой через приложение «БЧ. Мой поезд», квоты посещения и обратная связь, исходя из неопределенности сроков цветения. Схема маршрутов построена по принципу «звезды» с центром в Минске и четырьмя сезонными лучами: «Пуща в цвету» и «Цветущее Полесье» в мае – июне, «Лавандовый край» в июле и «Голубой лён» в начале августа. «Цветочные маршруты» способны стать для Белорусской железной дороги не разовой акцией, а самостоятельным сезонным продуктом, который повышает загрузку подвижного состава, развивает внутренний и въездной туризм в регионах и формирует бережное отношение к природе.

Список литературы

1 Лаванда, розовые деревья и луга шафрана: куда поехать весной, чтобы полюбоваться растениями // Mail.ru. – URL: https://vfokuse.mail.ru/news/65286886-lavanda-rozovye-derevya-i-luga-shafrana-kuda-poehat-vesnoy-chtoby-polyubo-vatsya-rasteniyami/ (дата обращения: 13.09.2026).

2 О Государственной программе «Туризм» на 2026–2030 годы : постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 30.12.2025 № 797 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C22500797 (дата обращения: 13.09.2026)

3 Туризм в Республике Беларусь: итоги и задачи Государственной программы «Туризм» на 2026–2030 годы : материалы для единого дня информирования // Толочинский райисполком. – URL: https://tolochin.vitebsk-region.gov.by/uploads/documents/2026/18-03-26-2.pdf (дата обращения: 13.09.2026).

4 Почему в 2026 году российские туристы всё чаще выбирают Беларусь // Sostav.ru. – URL: https://www.sostav.ru/blogs/284452/87327 (дата обращения: 13.09.2026).

5 БЖД в 2025 году перевезла в сообщении с Россией более 3,6 млн пассажиров // СБ. Беларусь сегодня. – URL: https://www.sb.by/articles/bzhd-v-2025-godu-perevezla-v-soobshchenii-s-rossiey-bolee-3-6-mln-passazhirov.html (дата обращения: 13.09.2026).

6 О туризме : Закон Республики Беларусь от 11.11.2021 № 129-З // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=H12100129 (дата обращения: 13.09.2026).

7 **Коваленко, Н. А.** Особенности организации туристических маршрутов как одного из методов повышения эффективности использования подвижного состава / Н. А. Коваленко, Л. С. Шорохова // Научный вестник МГТУ ГА. – 2023. – Т. 26, № 3. – С. 66–77. – DOI: 10.26467/2079-0619-2023-26-3-66-77.

8 «Белорусский вояж»: железнодорожный круиз выходного дня // Телеграм-канал АО «ФПК» «Вагон скидок». – URL: https://samokatus.ru/travel-telegram-feed/fpcrussia/2872 (дата обращения: 13.09.2026).

УДК 656.211.5

ОБСЛУЖИВАНИЕ ПАССАЖИРСКОГО ДВИЖЕНИЯ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТНОМ КОРИДОРЕ

И. А. ИВАНОВ-ТОЛМАЧЕВ, К. С. ЯНИКЕЕВ
Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва

По территориям с высокой плотностью населения по маршрутам железнодорожных транспортных коридоров требуется сооружение пунктов для посадки и высадки пассажиров. При этом рекомендуется устраивать остановочные пункты только при необходимости, когда в населенном пункте отсутствуют другие железнодорожные линии общего пользования [1]. Поскольку скорости движения грузового и пассажирского поезда различны, то для обеспечения заданного межпоездного интервала возникает необходимость обеспечения на соответствующих графиках движения поездов дополнительных ожиданий грузовых поездов при остановках пассажирских поездов (рисунок 1).

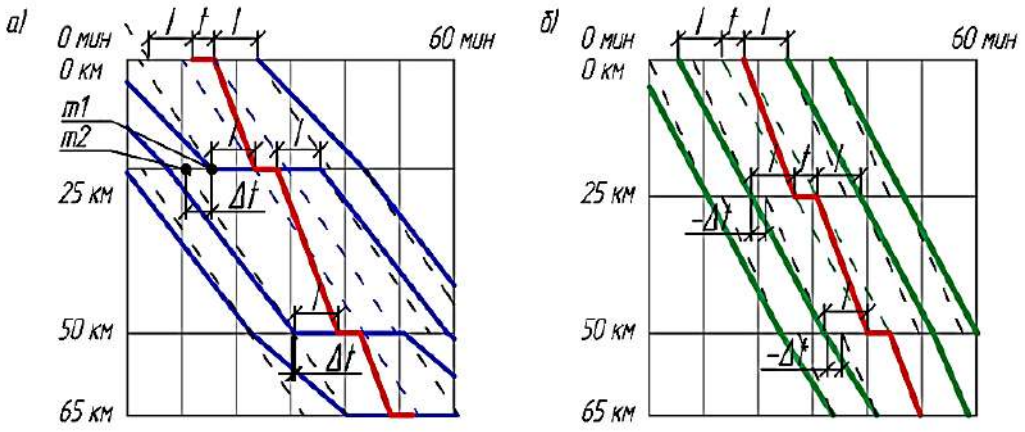


Рисунок 1 – Варианты графиков движения пассажирских поездов с остановками для посадки и высадки пассажиров: *а* – при классическом грузовом поезде со скоростью 90 км/ч; *б* – при ускоренном грузовом поезде со скоростью 140 км/ч

Поэтому возникает время Δt между возможным временем прибытия (точка т. 1 на рисунке 1, *а*) грузового поезда и возможным временем (точка т. 2 на рисунке 1, *а*) отправления грузового поезда с учетом прибытия на следующий раздельный пункт с интервалом I от прибытия пассажирского. Из рисунка 1 видно, что Δt прямо зависит от расстояния S между раздельными пунктами. При небольшой разнице скоростей движения грузовых и пассажирских поездов (20 км/ч на рисунке 1, *б*) грузовые поезда проследуют раздельные пункты без остановок, поскольку их скорости сопоставимы со скоростями пассажирских поездов с учетом остановок t последних на посадку и высадку пассажиров. При величине времени t, равной 4 минуты, Δt оказывается отрицательной, что указывает на возможность сокращения межпоездных интервалов на перегоне на время $-\Delta t$ либо на увеличение времени на остановку пассажирского поезда.

Безостановочный пропуск грузового поезда по станции оказывается возможен, если время на остановку пассажирского поезда перед следующим перегоном длиной L составит

$$t_{\text{ос}} = S\left(\frac{1}{V_{\text{г}}} - \frac{1}{V_{\text{п}}}\right) \cdot 60,$$

где S – длина следующего за остановочным пунктом участка перегона, км; $V_г$ – скорость движения грузового поезда, км/ч; $V_п$ – скорость движения пассажирского поезда, км/ч; 60 – коэффициент перевода часов в минуты.

В соответствии с приведенной формулой при расстоянии между остановочными пунктами 25 км и скоростями движения пассажирских и грузовых поездов до 160 и до 90 км/ч соответственно время на остановку для обеспечения безостановочного пропуска идущего следом грузового поезда, когда среднее время остановки пассажирского поезда для посадки и высадки людей на промежуточных станциях составляет 1–4 минуты, должно составлять

$$t_{ос} = 25 \cdot \left(\frac{1}{90} - \frac{1}{160} \right) \cdot 60 = 7{,}3 \text{ мин.}$$

В аналогичной ситуации при скорости грузового поезда 140 км/ч время на остановку составит

$$t_{ос} = 25 \cdot \left(\frac{1}{140} - \frac{1}{160} \right) \cdot 60 = 1{,}3 \text{ мин.}$$

Соответствующий график движения пассажирского и смежных грузовых поездов приведен на рисунке 2.

Время $t_{ос}$ остановки определяется в зависимости от частоты требуемых остановочных пунктов и реализуемой скорости на участках. Так, при организации скоростного пассажирского движения со скоростями до 200 км/ч для обеспечения среднего времени остановки на промежуточных станциях 1–4 минуты расстояние между остановочными пунктами должно быть 18–31 км. Поскольку грузовой поезд, движущийся за пассажирским, требует соблюдения безопасного межпоездного интервала и имеет меньшую скорость движения, то после «серии» остановочных пунктов на протяжении от последнего остановочного пункта (или непосредственно на нем) до расстояния S_{max}, равного наибольшему расстоянию между остановочными пунктами в «серии», требуется размещение раздельного (обгонного) пункта с 2–3 приемоотправочными путями для грузовых поездов. Благодаря этому возможно размещение остановочных пунктов на главных путях с одной островной или двумя боковыми (береговыми) платформами и пешеходными мостами/тоннелями без дополнительных приемоотправочных путей (рисунок 3), а ввиду отсутствия негабаритности на фитинговых платформах для улучшения посадки и высадки пассажиров рационально устраивать платформы высотой 1300 мм.

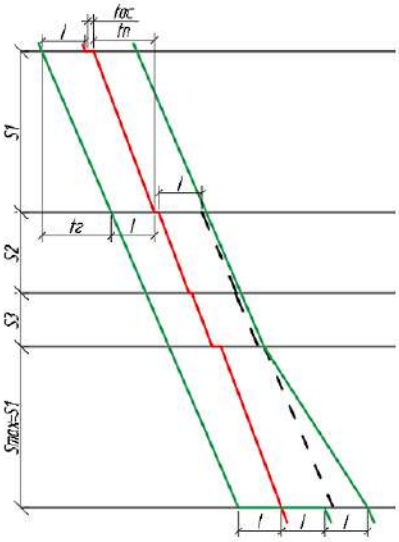


Рисунок 2 – Движение пассажирского поезда при обеспечении безостановочного пропуска грузового поезда через остановочные пункты транспортного коридора

При этом устройство остановочных пунктов на скоростной линии рекомендуется устраивать по необходимости, когда проектируемая линия железной дороги является единственной в населенном пункте. Такое решение позволит принять минимальными затраты на сооружаемую инфраструктуру для пассажиров в рамках первого этапа развития транспортных коридоров при временном грузопассажирском движении.

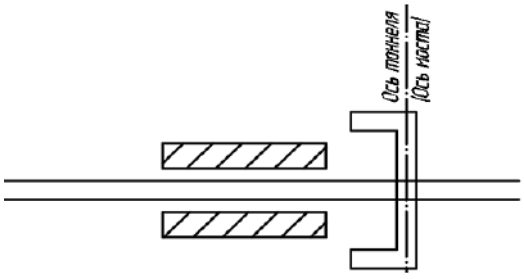


Рисунок 3 – Устройство остановочного пункта

Из расчета последующего размещения только грузовых поездов на линии, объемы по реконструкции пассажирской инфраструктуры будут включать минимальный объем, такой как демонтаж платформ. Ввиду того что остановочные пункты предусматриваются в местах расположения населенных пунктов, то вновь возводимые пешеходные тоннели или мосты через главные пути, новые пассажирские здания останутся востребованными, в том числе при последующем формировании обособленных пассажирских линий.

Таким образом, при «обычном» грузопассажирском движении при остановках пассажирских поездов возникает необходимость в приемоотправочных путях для грузовых поездов. При ускоренных грузовых поездах (небольшой разнице между пассажирскими и грузовыми поездами) возможно устройство остановочных пунктов с одной или двумя платформами без устройства приемоотправочных путей. При этом размещение пассажирского движения с ускоренными поездами на новой линии транспортного коридора дает дополнительную эксплуатационную экономию за счет закрытия некоторых промежуточных станций на существующих грузовых линиях.

Список литературы

1 **Прошутинский, Е. П.** Развитие пригородно-городских перевозок с учетом потребностей жителей Москвы и Московской области / Е. П. Прошутинский, И. А. Иванов-Толмачев // Корреляционное взаимодействие науки и практики в новом мире. – 2020. – С. 185–188.

УДК 656.132:656.025.4

СООТВЕТСТВИЕ МАРШРУТНОЙ СЕТИ И РЕЖИМА ДВИЖЕНИЯ ФАКТИЧЕСКОМУ СПРОСУ КАК УСЛОВИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГОРОДСКИХ И РЕГИОНАЛЬНЫХ АВТОБУСНЫХ ПЕРЕВОЗОК ПАССАЖИРОВ

М. А. КИЛОЧИЦКАЯ, М. В. МОРОЗОВ
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Организация пассажирских перевозок должна обеспечивать баланс между доступностью транспортных услуг для населения и рациональным использованием ресурсов. Ключевой проблемой отрасли остается несоответствие фактического спроса транспортному предложению: на одних направлениях наблюдается дефицит провозной способности в периоды повышенного спроса, тогда как на других транспортная работа выполняется при критически низкой загрузке. Данная проблема характерна как для городских, так и для региональных перевозок, однако проявляется на них поразному: в городе несоответствие чаще связано с дублированием маршрутов различных видов общественного транспорта и неравномерностью пассажиропотока внутри маршрутной сети, тогда как на региональном уровне дополнительно возникает необходимость согласования работы автомобильного и железнодорожного транспорта [1–4]. Современные подходы к планированию в Республике Беларусь предполагают переход к комплексной оценке маршрутной сети, расписания, типа подвижного состава и пассажиропотока как единой транспортной системы, где решения принимаются на основе фактических, а не нормативных объемов перевозок [2, 3].

Эффективность пассажирских автомобильных перевозок во многом определяется тем, насколько маршрутная сеть и режим движения соответствуют фактическим потребностям населения. Оценка эффективности только по среднему пассажиропотоку маршрута является недостаточной, так как один и тот же маршрут может быть перегружен в часы пик и иметь низкую загрузку в остальное время, поэтому более объективную картину дает детальный анализ на уровне отдельных рейсов с учетом времени отправления, дня недели, направления движения, протяженности маршрута, вместимости подвижного состава и фактического количества пассажиров. Такой подход позволяет установить характер низкой загрузки: при стабильно низком спросе целесообразно рассматривать изменение режима движения, перераспределение рейсов по времени суток или применение автобусов меньшей вместимости, а при неравномерном спросе в течение суток или недели – внедрение дифференцированного расписания движения.

На городском уровне проблема несоответствия предложения фактическому спросу проявляется прежде всего через дублирование маршрутов общественного транспорта, при котором несколько маршрутов обслуживают одни и те же направления, остановочные пункты или участки уличнодорожной сети. Такое дублирование не всегда носит негативный характер, так как может повышать транспортную доступность и гибкость транспортного обслуживания, однако становится проблемой при одновременной низкой загрузке подвижного состава, избыточной частоте движения и дефиците транспортных средств на других направлениях. Практика организации городских перевозок в Бресте демонстрирует успешный переход от формального управления к управлению на основе данных:

внедрение автоматических счетчиков пассажиропотока и анализ матриц корреспонденций позволили точечно корректировать сеть. Показательным примером служит оптимизация экспрессного сообщения, где дублирующий автобусный маршрут был заменен на троллейбусный (№ 102А), что повысило эффективность использования инфраструктуры без потери доступности [4].

На региональном уровне проблема дублирования автомобильных и железнодорожных маршрутов приобретает системный характер, приводя к нерациональному использованию подвижного состава. При формировании региональной системы необходимо учитывать пассажиропотоки, тарифы, объемы отправлений с остановочных пунктов и станций, эксплуатационные расходы, потери, вместимость транспортных средств и время обслуживания пассажиров [2, 3]. Показательным является исследование транспортного полигона Минск – Осиповичи, на котором были выявлены участки частичного или полного дублирования автомобильных маршрутов железнодорожными направлениями: коэффициент использования вместимости отдельных поездов на рассматриваемом полигоне находился в пределах от 5 до 50 %, что свидетельствует о существенной неоднородности транспортной работы, а оптимизация рассматривалась не только как отмена отдельных рейсов, но и как изменение типа подвижного состава, корректировка длины маршрута, замена одного вида транспорта другим, изменение расписания, а также введение новых маршрутов или дополнительных рейсов [2, 3]. Для количественной оценки дублирования маршрутной сети предложены показатели, учитывающие протяженность совпадающих участков, частоту движения и использование вместимости транспортных средств: результаты исследований на направлениях Минск – Осиповичи и Осиповичи – Гродзянка показали различную степень пространственного совпадения автомобильных и железнодорожных маршрутов (интегральный показатель дублируемости на участке Минск – Осиповичи изменялся от 0,01 до 1,04, а на направлении Осиповичи – Гродзянка – в пределах от 0,55 до 5,52 [3]), что подтверждает необходимость оценки параллельных маршрутов с учетом фактического пассажиропотока. Аналогичные проблемы характерны и для Брестской области, где на отдельных направлениях (например, Малоритском) маршруты формально выполняются в соответствии с социальным стандартом, но фактический недельный пассажиропоток может быть нулевым. Такая ситуация показывает, что выполнение установленного количества рейсов само по себе не гарантирует рационального использования транспортных ресурсов, в то же время на других направлениях возникает дефицит мест в часы пик [4].

При этом оптимизация маршрутной сети не должна снижать гарантированный уровень транспортного обслуживания населения. Согласно постановлению Совета Министров Республики Беларусь от 30 мая 2003 г. № 724, государственные социальные стандарты устанавливают минимальные требования к транспортной доступности и частоте сообщения. В частности, при организации транспортного обслуживания учитывается взаимодействие автомобильного и железнодорожного транспорта, а для межгородских внутриобластных регулярных перевозок предусматривается ежедневное сообщение между районным и областным центрами, при этом для отдельных категорий населенных пунктов также устанавливаются нормативы охвата и минимальной частоты транспортного обслуживания [1].

Следовательно, соответствие маршрутной сети фактическому спросу должно рассматриваться как задача поиска баланса между экономической эффективностью и доступностью перевозок. На городском уровне такой баланс достигается прежде всего за счет согласования маршрутов общественного транспорта, частоты движения и вместимости подвижного состава с распределением пассажиропотоков, тогда как на региональном уровне дополнительно требуется согласование автомобильного и железнодорожного транспорта, позволяющее перераспределять пассажиропотоки между видами транспорта с учетом времени поездки, расписаний, вместимости, затрат и установленных социальных нормативов.

Таким образом, эффективное развитие городской и региональной маршрутной сети требует регулярного аудита соответствия предложения фактическому спросу. Общей для обоих уровней является необходимость выявления избыточной транспортной работы, низкой загрузки и несоответствия режима движения пассажиропотоку, тогда как принципиальное отличие регионального уровня заключается в возможности перераспределения перевозок между автомобильным и железнодорожным транспортом. Эффективная оптимизация в данном контексте – это не механическое сокращение маршрутной сети, а гибкое изменение ее структуры и расписания при строгом соблюдении социальных нормативов доступности.

Список литературы

1 О мерах по внедрению системы государственных социальных стандартов по обслуживанию населения республики : постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 30.05.2003 № 724 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: https://pravo.by/document/?guid=3961&p0=C20300724 (дата обращения: 06.09.2026).

2 **Ерофеев, А. А.** Комплексное транспортное обслуживание пассажиров / А. А. Ерофеев, М. А. Килочицкая // Железнодорожный транспорт. – 2024. – № 10. – С. 40–44.

3 **Килочицкая, М. А.** Расчет показателей дублируемости маршрутной сети на полигоне транспортного обслуживания пассажиров / М. А. Килочицкая // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – 2025. – Т. 84, № 2. – С. 127–139.

4 Проблемы и актуальные вопросы развития автомобильных перевозок пассажиров обсудили в Бресте // Заря : газета Брестского облисполкома. – 2025. – URL: https://zarya.by/news/glavnye-novosti/problemy-i-aktualnye-voprosy-razvitiya-avtomobilnyh-perevozok-passazhirov-obsudili-v-breste/ (дата обращения: 06.09.2026).

5 **Авдейчик, О. В.** Анализ пассажирооборота в Республике Беларусь: проблемы и пути решения / О. В. Авдейчик, М. К. Копачель // Современная экономика: проблемы, тенденции, перспективы : сб. ст. XII Междунар. науч.-практ. конф., Пенза, 20 июня 2017 г. : в 4 ч. Ч. 3. – Пенза : Наука и Просвещение, 2017. – С. 18–20.

УДК 656.2.022:005.334

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ФОРМИРОВАНИЮ РИСК-МОДЕЛИ ПРОЕКТА ВСМ МИНСК – МОСКВА

В. Г. КУЗНЕЦОВ, М. А. КИЛОЧИЦКАЯ, И. М. ЛИТВИНОВА
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Проект организации высокоскоростного пассажирского сообщения на железнодорожном направлении Минск – Москва характеризуется высоким уровнем неопределенности экономической эффективности. Проект высокоскоростной магистрали (ВСМ) Минск – Москва протяженностью около 715 км предполагает движение поездов со скоростями до 400 км/ч, время в пути составит около 3 часов, а ожидаемый пассажиропоток – 3,8 млн пассажиров в год. Строительство ВСМ Минск – Москва связано с созданием принципиально нового инновационного продукта, не имеющего аналогов в РФ и РБ, и требует значительных инвестиций в инфраструктуру и подвижной состав, а также формирует дополнительные издержки, связанные как с эксплуатацией ВСМ, так и обеспечением коммуникаций ВСМ и транспортной инфраструктурой РБ.

Выбор технических решений в проекте и параметров организации движения на ВСМ зависит от скорости движения высокоскоростных поездов (ВСП) и определяет возможные риски реализации проекта. Для повышения эффективности реализации проекта важно установить его риск-модель.

Общесистемными принципами определения риск-модели проекта ВСМ являются:

– наличие методологии оценки потребностей рынка транспортных услуг в организации высокоскоростного пассажирского сообщения и его влияния на устойчивость развития социально-экономических задач страны;

– использование системного подхода к выявлению, оценке и управлению ими на всех этапах реализации проекта ВСМ;

– определение допустимых технических параметров функционирования подсистем инфраструктуры и подвижного состава;

– регламентация требований безопасности при движении ВСП и обслуживании пассажиров;

– наличие методологического инструментария идентификации риск-факторов, их оценки и анализа, определения механизма управления рисками на всех этапах реализации проекта ВСМ.

Нормативной базой формирования риск-модели являются ГОСТ Р ИСО 31000-2019, ГОСТ Р 54505-2011, ГОСТ Р 70049-2022 [2–4].

Методологические аспекты риск-модели ВСМ включают:

1 Достижение и поддержание допустимого уровня риска при обеспечении функциональной безопасности объектов инфраструктуры и подвижного состава ВСМ. Основная задача риск-модели – давать объективную оценку реализации проекта ВСМ (в условиях неопределенности и влияния множества факторов) для принятия решений по управлению рисками.

2 Комплексный подход к анализу рисков. Следует учитывать существенные группы: технические, экономические, социальные, экологические и другие виды рисков, которые могут повлиять на реали-

зацию проекта. Например, к наиболее важным техническим рискам относят надежность системы «колесо – рельс» при высоких скоростях движения ВСП, работу систем тягового энергоснабжения, сигнализации, централизации и блокировки, верхнего строения пути, инженерных сооружений.

3 Учет в риск-модели реализации проекта ВСМ нормативных требований. Система управления рисками строится на основе технических регламентов, стандартов и сводов правил, которые регулируют проектирование, строительство и эксплуатацию объектов ВСМ. Например, ГОСТ Р 70049-2022 устанавливает требования устойчивого развития к объектам инфраструктуры ВСМ, включая экологические, социальные и экономические аспекты.

4 Иерархическая структура управления рисками. Процесс управления рисками включает несколько этапов, согласно ГОСТ Р 54505-2011 это определение области применения и критериев риска, его идентификация, анализ частот и последствий, оценивание уровня риска, обработка риска (разработка мер по минимизации или устранению), мониторинг и пересмотр.

5 Учет системных условий и факторов. На безопасность объекта ВСМ влияют системные условия (технические характеристики, ремонтопригодность), условия эксплуатации (производственные задачи, технологии, материально-техническое обеспечение, человеческие факторы, условия окружающей среды), а также условия технического обслуживания и ремонта.

6 Непрерывный мониторинг и обновление риск-модели. Риски необходимо регулярно анализировать, а полученные данные использовать для корректировки системы управления рисками и реализации проекта ВСМ.

7 Учет внешних эффектов. При оценке реализации проекта ВСМ учитывается его влияние на общество (социальные риски) и окружающую среду (экологические риски).

8 Количественная оценка рисков. Риск часто определяется как произведение вероятности наступления неблагоприятного события на величину возможных потерь. Технические риски могут измеряться в натуральных единицах, поэтому их часто переводят в денежные для сопоставимости с экономическими расчетами.

9 Использование методов анализа, формирующих достоверную оценку процессов реализации проекта ВСМ. Для оценки рисков применяют анализ чувствительности, метод сценариев, дерево событий, дерево решений, метод Монте-Карло, нагрузочное тестирование и другие методы.

Для реализации проекта ВСМ в РБ следует учитывать процессы и мероприятия реализации проекта, целевые показатели процессов, характер деятельности, факторы и особенности, существенно влияющие на возникновение рисков эффективности. Основой риск-модели является идентификация риск-факторов по каждому виду рисков (техническим, технологическим, макроэкономическим, социальным и т. п.). По каждому виду риска реализации проекта ВСМ необходимо составить факторную карту рисков, в которой представляются существенные факторы рисков с учетом степени их значимости (последствий).

В карте рисков значимость (сила воздействия) риска представляет собой характеристику степени возможного ущерба от рискового события (прямые финансовые потери, упущенные возможности и косвенные финансовые потери, невыполнение поставленных целей и задач и др.). Значимость может быть представлена словесно-описательно (высокая, средняя и т. д.), а также количественно, например в денежном выражении как оценка возможных потерь от рискового события. Вероятность реализации риска определяет вероятность наступления рискового события, приносящего ущерб. Вероятность может оцениваться при помощи статистических моделей или методов экспертной оценки.

На основе анализа процессов, которые необходимо выполнять при реализации проекта ВСМ, устанавливаются наиболее существенные факторы, влияющие на риски. Например, основной вид рисков связан с потенциалом пассажиропотока в РБ для перемещения на ВСМ. Пассажиропоток ВСМ зависит от образования регулярного, устойчивого по объемам пассажиропотока между основными центрами притяжения Минск и Москва и на маршруте в местах расположения крупных транспортных пересадочных центров (ТПЦ), узлов (ТПУ). Факторы риск-модели процессов проекта реализации ВСМ по этому виду рисков характеризуются следующими условиями: устойчивым ростом по видам поездок (деловые, бытовые, культурно-спортивные и иные), динамикой развития транспортной инфраструктуры (ТПУ, межрегионального и регионального железнодорожного сообщения, модернизации автодорог, организации межобластного авиационного сообщения и т. п.), развитием объектной инфраструктуры в центрах образования пассажиропотока (Минской агломерации, культурно-спортивной, туристкой и оздоровительной базы, научно-образовательных, науч-

но-технических, научно-производственных центров, экономики кооперации), изменением социальной базы для поездок (рост населения, подвижность населения, изменения структуры населения по возрастным группам и т. п.).

В риск-моделях на основе исследования процессов устанавливается приемлемая для оценки эффективности реализации проекта ВСМ шкала значений для вероятности наступления рискового события. При этом важно формализовать основные параметры факторов при оценке риска. Например, для оценки потенциала пассажиропотока необходимо установить параметры: объем пассажиропотока, который будет освоен ВСМ ($А_{ВСМ}$), устойчивость перевозки в течение года (коэффициент неравномерности $k_н$), регулярность движения поездов ВСМ и интервал отправления по периодам суток ($N_{ВСМ}(t), \{I_{ВСМi}\}$.

Таким образом, риск-модель реализации проекта ВСМ на железнодорожном направлении Минск – Москва следует рассматривать как целостную систему, которая методологически объединяет нормативные требования, технические, экономические и социальные аспекты, а также инструментарий методов и способов мониторинга условий функционирования и состояния подсистем ВСМ, позволяющих получать объективную оценку возможности достижения целевых показателей ВСМ и ее подсистем. Практическая значимость модели заключается в возможности количественной оценки рисков и обоснования управленческих решений на всех этапах реализации проекта ВСМ Минск – Москва.

Список литературы

1 О проектировании скоростного пассажирского железнодорожного сообщения : Указ Президента Респ. Беларусь от 29 апреля 2021 г. № 165 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=P32100165 (дата обращения: 09.09.2026).

2 ГОСТ Р ИСО 31000-2019. Менеджмент риска. Принципы и руководство. – Введ. 10.12.2019. – М. : Стандартинформ, 2020. – 13 с.

3 ГОСТ Р 54505-2011. Безопасность функциональная. Управление рисками на железнодорожном транспорте. – Введ. 23.11.2011. – М. : Стандартинформ, 2012. – 34 с.

4 ГОСТ Р 70049-2022. Оценка соответствия. Требования устойчивого развития к объектам инфраструктуры высокоскоростного железнодорожного транспорта. – Введ. 29.03.2022. – М. : Российский институт стандартизации, 2022. – 98 с.

5 **Кузнецов, В. Г.** Риск-факторная модель проекта ВСМ Минск – Москва / В. Г. Кузнецов, И. М. Литвинова // Транспорт в интеграционных процессах мировой экономики : материалы VII Междунар. науч.-практ. конф. (Гомель, 29 апр. 2026 г.) / под ред. В. Г. Гизатуллиной. – Гомель : БелГУТ, 2026. – С. 55–57.

6 **Королев, В. Ю.** Математические основы теории риска : учеб. пособие / В. Ю. Королев, В. Е. Бенинг, С. Я. Шоргин. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 544 с.

УДК 656.2.022:005.334

ПАРАМЕТРЫ ВСМ МИНСК – МОСКВА ПРИ ОЦЕНКЕ СИСТЕМНЫХ РИСК-ФАКТОРОВ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТА

В. Г. КУЗНЕЦОВ, И. М. ЛИТВИНОВА, М. А. КИЛОЧИЦКАЯ
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Проект ВСМ Минск – Москва относится к сложным техническим, технологическим и транспортным системам [1]. Система оценки рисков при реализации проекта ВСМ включает оценку как достижения целевых показателей ВСМ, так и отдельных процессов на каждом этапе жизненного цикла [2].

Систематизация факторов, влияющих на эффективность проекта ВСМ и достижение целевых показателей, осуществляется с помощью обобщенной карты оценки рисков реализации проекта ВСМ в транспортный комплекс Республики Беларусь. Структура карты рисков включает описание групп риск-модели (внешние макрориски, социально-экономические условия, технические и технологические параметры ВСМ), вероятность возникновения риска и степень влияния на достижение приемлемых параметров функционирования ВСМ. Детализация карты рисков по критериям оценки выбирается исходя из уровня их значимости в системе принятия решения реализации проекта ВСМ.

На основании карт рисков реализации процессов можно установить неприемлемые риски по процессам и задачам проекта ВСМ, оценить значимость факторов, которые образуют допустимые и

опасные риски, и представить исходные данные для принятия управленческих решений по снижению рисков реализации проекта ВСМ.

Участие Республики Беларусь (РБ) и Российской Федерации (РФ) в реализации проекта позволяет считать, что социально-экономические риски будут минимизированы на стадиях выбора приемлемого проекта ВСМ, отвечающего запросам общества и потребностям межгосударственных коммуникаций между основными центрами притяжения двух государств. Кроме того, нормативно-правовая база РБ и РФ развивается и достаточно полно регламентирует базовые требования к рискам негативного влияния на окружающую среду и жизнедеятельность граждан в зоне размещения трассы ВСМ.

ВСМ включает функционирование множества устройств, средств, подвижного состава, которые обеспечивают движение высокоскоростных поездов (ВСП), должны обладать допустимыми значениями параметров в соответствии с нормативными правовыми актами (НПА), в том числе надежностью функционирования, не допускать отказы в работе. Любая система ВСМ, обеспечивающая безопасность движения ВСП, должна выполнять требуемые функции безопасности при всех предусмотренных условиях в течение периода эксплуатации [2]. Достижение приемлемых технических рисков связано с накоплением компетенций в области проектирования, производства и эксплуатации подвижного состава и объектов инфраструктуры ВСМ [3, 4]. Линия ВСМ Москва – Санкт-Петербург является пилотным проектом, который реализуется в РФ, и технические решения, апробированные на данной ВСМ, могут тиражироваться на ВСМ Минск – Москва с учетом отдельных условий трассы и выбранного варианта организации движения ВСП.

С технологической точки зрения ВСМ должна обладать высоким уровнем устойчивости и отсутствия недопустимых, неприемлемых отказов, сбоев в организации движения ВСП и оказании услуг перевозки. Технологическая устойчивость обеспечивается графиком движения ВСП, структурным и временным резервированием, закладываемым в участки и станции ВСМ, технологией работы станций посадки и высадки пассажиров, оборота ВСП, технологией подготовки ВСП в рейс, системой диспетчерского управления на смежных участках Московской и Белорусской железных дорог и рядом других процессов.

Для методологической оценки уровня достижения процессов ВСМ и формирования требований к этапам жизненного цикла проекта ВСМ, функционированию объектов инфраструктуры, эксплуатации подвижного состава и организации движения поездов следует определить базовые параметры ВСМ, на основании которых можно формировать риск-модель, оценивать влияние риск-факторов и разрабатывать мероприятия по обеспечению устойчивой реализации проекта ВСМ [3].

Определим параметры проекта ВСМ по основным группам риска реализации в виде упорядоченного кортежа.

Кортеж параметров при оценке риск-факторов потенциала пассажиропотока

$$\Pi_{\text{пас}}^{\text{ВСМ}} = \{A_{\text{ВСМ}j}, \alpha_j, (k_{\text{г.н}}, k_{\text{м.н}}, k_{\text{с.н}}), \Delta T_{pg}\},$$

где $A_{\text{ВСМ}j}$ – прогнозный объем пассажиропотока по видам поездок пассажиров на ВСМ, α_j – прогнозный темп роста поездок по j-му виду; $k_{\text{г.н}}, k_{\text{м.н}}, k_{\text{с.н}}$ – годовой, месячный, суточный коэффициенты неравномерности; ΔT_{pg} – транспортная доступность к поездкам на ВСМ граждан, проживающих в зоне обслуживания генерального и региональных центров ВСМ.

Кортеж параметров при оценке риск-факторов институционального и компетентностного потенциала

$$\Pi_{\text{комп}}^{\text{ВСМ}} = \{(G_{\text{н}}, G_{\text{пр}}, G_{\text{стр}}, G_{\text{опер}}, G_{\text{мен}}, G_{\text{фин}}); (k_{\text{б}}, k_{\text{м}}, k_{\text{пр}}, k_{\text{ии}}, k_{\text{авт}}, k_{\text{к}}); (k_{\text{упр}}, k_{\text{проект}}, k_{\text{спец}})\},$$

где $G_{\text{н}}, G_{\text{пр}}, G_{\text{стр}}, G_{\text{опер}}, G_{\text{мен}}, G_{\text{фин}}$ – научно-производственной потенциал, обладающий способностью выполнить отдельные процессы реализации проекта ВСМ; $k_{\text{б}}, k_{\text{м}}, k_{\text{пр}}, k_{\text{ии}}, k_{\text{авт}}, k_{\text{к}}$ – научно-методологические компетенции решения инновационных задач; $k_{\text{упр}}, k_{\text{проект}}, k_{\text{спец}}$ – образовательные компетенции работников предприятий.

Кортеж параметров при оценке риск-факторов технических решений выбора скорости на ВСМ

$$\Pi_{\text{техн}}^{\text{ВСМ}} = \{(v_{\text{к}}, v_{\text{р}}, v_{\text{м}}), F_{\text{н}}, W_{\text{с}}, (I_{\text{дв}}, I_{\text{э}})\},$$

где $v_к, v_р, v_м$ – установленная конструкционная, реализуемая и маршрутная скорости движения ВСП; $F_н$ – мощность тягового подвижного состава при реализации установленной скорости; $W_с$ – сопротивление движения подвижного состава, возможное в различных системах его взаимодействия с внешней средой; $I_{дв}, I_э$ – допустимый минимальный межпоездной интервал движения поездов в расчетной паре при различных условиях движения на перегонах и тягового потребления электроэнергии.

Кортеж параметров при оценке риск-факторов технологической устойчивости организации движения поездов

$$\Pi^{ВСМ}_{т.у} = \{N_{ВСМ}(t), I_{ВСМ}(\Delta T), \Delta N_{ВСМ}, \ \Delta F_н(v_{ВСМ}), (P_п, P_э, P_{сцб}, P_{МВПС}), (\sum T_{ст}, \sum T_{сдв})\},$$

где $N_{ВСМ}(t)$ – суточные размеры движения и регулярность движения ВСП; $I_{ВСМ}(\Delta T)$ – интервал отправления ВСП по периодам суток; $\Delta N_{ВСМ}$ – резерв пропускной и провозной способности ВСМ; $\Delta F_н(v_{ВСМ})$ – резерв мощности тягового подвижного состава для компенсации временных задержек поездов; $P_п, P_э, P_{сцб}, P_{МВПС}$ – вероятность отказа устройств и подвижного состава, вызывающих сбои в поездной работе ВСМ; $\sum T_{ст}, \sum T_{сдв}$ – время нахождения составов МВПС на путях железнодорожных станций и в движении.

Кортеж параметров при оценке риск-факторов соблюдения жизненного цикла реализации проекта ВСМ

$$\Pi^{ВСМ}_{ж.ц} = \{(T_{проект}, T_{произ}, T_{стр}, T_{экспл}), T_{изг}(\Pi_{изд}), T_{учi}\},$$

где $T_{проект}, T_{произ}, T_{стр}, T_{экспл}$ – календарные сроки выполнения процессов на всех этапах жизненного цикла проекта реализации ВСМ ($T_j \le T_{доп j}$; $T_j \in T_{ВСМ}$); $T_{изг}$ – длительность реализации задач процессов, обеспечение их соответствия нормативным срокам создания инновационных продуктов с требуемыми свойствами и характеристиками ($T_{изг}(\Pi_{изд}) \le T_j$; $T_{изг}(\Pi_{изд}) \le T_{т.норм}$); $T_{учi}$ – время выполнения задач множеством участников одного процесса, согласованность общей продолжительности выполнения процесса по каждому этапу жизненного цикла ($\{T_{i+1} \Leftrightarrow T_i \Leftrightarrow T_{i+1}\}$).

Кортеж параметров при оценке риск-факторов отрицательной экономической эффективности

$$\Pi^{ВСМ}_{экон} = \{\sum K_{ВСМi}(t), \ C_j(\{\Pi_{ВСМ}\}), И_{префi}, R_{ВСМ}, \Delta C_{ок}(T_{ВСМ}, A_{ВСМ}, K_{ВСМ}, D_{ВСМ})\},$$

где $\sum K_{ВСМi}(t)$ – сбалансированные инвестиции на всех этапах жизненного цикла реализации проекта ВСМ; $C_j(\{\Pi_{ВСМ}\})$ – динамичное тарифное регулирование в зависимости от совокупности параметров, характеризующих условия и качество перевозки пассажиров на ВСМ; $И_{префi}$ – государственная поддержка через систему преференций, ослабляющих финансовую нагрузку на деятельность оператора инфраструктуры ВСМ и перевозчиков; $R_{ВСМ}$ – рентабельность пассажирских перевозок на линии ВСМ; $\Delta C_{ок}(T_{ВСМ}, A_{ВСМ}, K_{ВСМ}, D_{ВСМ})$ – срок окупаемости пассажирских перевозок ВСМ и др.

Параметрическая оценка риск-факторов, возникающих в процессах реализации проекта ВСМ, является аргументированным инструментом построения риск-моделей, что позволяет использовать ее при выборе системы мероприятий по достижению установленных в НПА требований к процессам проекта на этапах проектирования, производства и эксплуатации.

Предложенный подход к формализации параметров ВСМ позволяет системно оценивать риск-факторы по выделенным группам и создает основу для количественной оценки рисков на всех этапах жизненного цикла проекта.

Список литературы

1 О проектировании скоростного пассажирского железнодорожного сообщения : Указ Президента Респ. Беларусь от 29 апр. 2021 г. № 165 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: https://pravo.by/-document/?guid=12551&p0=P32100165 (дата обращения: 09.09.2026).

2 ГОСТ 33358-2015. Безопасность функциональная. Системы управления и обеспечения безопасности движения поездов. Термины и определения. – Введ. 01.03.2016. – Минск : БелГИСС, 2015. – 16 с.

3 **Никитин, А. В.** Управление рисками при организации высокоскоростного движения в России / А. В. Никитин, Н. А. Журавлева // Инновации и инвестиции. – 2017. – № 6. – С. 27–31.

4 **Лапидус, Б. М.** Мировой опыт развития высокоскоростного движения / Б. М. Лапидус, А. Б. Лапидус // Бюллетень транспортной информации. – 2017. – № 7. – С. 3–15.

УДК 656.7.086:336.148

РОЛЬ РЕСПУБЛИКАНСКОГО ФОНДА ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ В ОБЕСПЕЧЕНИИ БЕЗОПАСНОСТИ ГРАЖДАНСКИХ ПЕРЕВОЗОК В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

И. А. ЛАРЧЕНКО
Белорусский государственный экономический университет, г. Минск

Актуальность темы обусловлена тем, что гражданская авиация является отраслью с повышенными требованиями к безопасности полетов. Поддержание летной годности судов, модернизация аэродромной инфраструктуры и обновление авиапарка требуют устойчивого целевого финансирования, не зависящего от общей бюджетной конъюнктуры. Таким инструментом в Республике Беларусь выступает республиканский фонд гражданской авиации. На фоне обновления парка национального авиаперевозчика, модернизации региональных аэропортов и санкционных ограничений систематизация источников формирования фонда и приоритетов расходования его средств приобретает практическое значение, что определяет цель статьи – анализ роли фонда в обеспечении безопасности гражданских перевозок.

Фонд образован Указом Президента Республики Беларусь от 23 октября 2003 г. № 465 «Об образовании государственного внебюджетного фонда гражданской авиации», утвердившим Положение о порядке формирования и использования его средств. В результате унификации бюджетных отношений фонд утратил внебюджетный характер и с 1 января 2020 года функционирует как государственный целевой бюджетный фонд в составе республиканского бюджета наряду с дорожным фондом, фондом национального развития и иными целевыми фондами. Суммы формирования и использования средств фонда ежегодно устанавливаются законом о республиканском бюджете в соответствии с принципом сбалансированности в равных суммах. Так, на 2023 год доходы и расходы фонда были утверждены в сумме 8 700 000 руб. [1], фонд сохранен и в бюджете на 2026 год в размере 9 500 000 руб. [2].

Источники формирования средств фонда носят целевой отраслевой характер, формируются не за счет пассажиров и систематизируются по группам: 1) обязательные отраслевые сборы – аэронавигационные сборы за обслуживание судов в воздушном пространстве страны и аэропортовые сборы за обслуживание судов, пассажиров, багажа; 2) отчисления от хозяйственной деятельности – часть прибыли государственных унитарных предприятий и обществ с долей государства в области гражданской авиации; 3) амортизационные отчисления авиационных организаций и объектов аэропортовой инфраструктуры, направляемые на восстановление и модернизацию основных средств; 4) проценты банков, начисляемые на временно свободные средства фонда на счетах и депозитах; 5) средства республиканского бюджета – ежегодные ассигнования по закону о бюджете; 6) доходы от использования воздушного пространства иностранными эксплуатантами; 7) иные поступления – возмещение ущерба, штрафные санкции, добровольные взносы. Такая многоканальная система связывает интенсивность перевозок и результаты хозяйственной деятельности отрасли с объемом финансирования безопасности, отличая фонд от общего бюджетного финансирования адресностью.

Средства фонда направляются на содержание, реконструкцию и техническое переоснащение инфраструктуры Национального аэропорта Минск и региональных аэропортов – Бреста, Витебска, Гомеля, Гродно, Могилева. В конце 2025 г. в аэропорту Гродно был завершен ремонт взлетно-посадочной полосы; в аэропорту Брест после реконструкции открыт второй терминал и переходная галерея, что расширило маршрутную сеть. В аэропорту Гомель ведется масштабное обновление аэровокзального комплекса: модернизируются участки, через которые проходят прилетающие и вылетающие пассажиры, – от стойки регистрации до пунктов таможенного и пограничного контроля, – с тем чтобы привести их к международным стандартам обслуживания; работы первой очереди финансируются совместно городским бюджетом и Департаментом по авиации. Аналогичные работы по обновлению аэротехнического оборудования проводятся и на других региональных аэродромах.

Обновление воздушного парка стимулируется Указом Президента Республики Беларусь от 19 марта 2020 г. № 103 как условие снижения риска происшествий, связанных с техническим со-

стоянием техники. За последние годы авиакомпания «Белавиа» получила три дальнемагистральных широкофюзеляжных Airbus A330-200 – первые суда такого класса в гражданской авиации страны, введенные в эксплуатацию в июне 2025 г., а также два узкофюзеляжных Boeing 737-800 – первое пополнение узкофюзеляжного парка за пять лет; ранее парк пополнялся самолетами Embraer E-Jet.

Развитие маршрутной сети региональных аэропортов является одним из результатов такой модернизации: в 2025 г. открыты регулярные рейсы Брест – Санкт-Петербург и Могилев – Москва, выполняются чартерные программы из Витебска, Гомеля, Бреста и Могилева в Анталью и Шарм-эль-Шейх, а в аэропорту Гродно завершен ремонт взлетно-посадочной полосы с продолжением обновления аэротехнического оборудования. Расширение географии полетов из регионов снижает нагрузку на Национальный аэропорт Минск и одновременно повышает требования к поддержанию безопасности эксплуатации региональных аэродромов, что подтверждает практическую значимость целевого финансирования их модернизации.

В условиях ограниченного доступа к операционному лизингу техника и инфраструктура в значительной мере обновляются за счет банковских кредитов, поэтому одним из направлений расходования средств фонда выступает погашение основного долга и уплата процентов по кредитам, привлеченным на приобретение судов и модернизацию инфраструктуры, что снижает долговую нагрузку на эксплуатантов и обеспечивает непрерывность программ обновления парка и аэропортовых объектов.

Средства фонда используются и на содержание органов государственного надзора, включая учреждение «Авиационная инспекция», а также на сертификацию, подготовку персонала и расследование авиационных происшествий.

Отдельное значение имеет обеспечение соответствия деятельности гражданской авиации Республики Беларусь международным стандартам безопасности полетов, включая рекомендации ИКАО и требования Всеобъемлющей программы проверок обеспечения безопасности полетов (USOAP). За счет средств фонда финансируются мероприятия по устранению замечаний, выявляемых по итогам таких проверок, что напрямую влияет на международное признание системы обеспечения безопасности полетов страны и на условия допуска воздушных судов белорусских эксплуатантов в воздушное пространство иностранных государств.

Управление средствами фонда осуществляет Департамент по авиации Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь – орган государственного надзора в области гражданской авиации. Департамент определяет приоритетные направления расходования средств, распределяет их между получателями (авиационными организациями, аэропортами, органами надзора), контролирует целевое использование и взаимодействует с Министерством финансов при формировании и исполнении соответствующего раздела республиканского бюджета, учитывая требования безопасности полетов и рекомендации ИКАО.

Таким образом, республиканский фонд гражданской авиации – специализированный финансовый инструмент государственного регулирования отрасли, обеспечивающий устойчивое целевое финансирование безопасности гражданских перевозок в Республике Беларусь, который аккумулирует ресурсы внутри самой отрасли и перераспределяет их. Многоканальная система источников его формирования – от аэронавигационных и аэропортовых сборов до амортизационных отчислений, процентов банков и бюджетных ассигнований – сочетается с приоритетным направлением средств на модернизацию аэропортовой инфраструктуры, обновление воздушного парка и обслуживание привлеченных на эти цели банковских кредитов. Централизованное управление фондом со стороны Департамента по авиации обеспечивает адресность и подконтрольность расходования средств, что позволяет рассматривать фонд как значимый элемент системы обеспечения безопасности гражданской авиации страны и как инструмент, требующий дальнейшего совершенствования в части диверсификации источников формирования и повышения эффективности расходования.

Список литературы

1 О республиканском бюджете на 2023 год : Закон Респ. Беларусь, 30 дек. 2022 г., № 231-З, рег. № 2/2951 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=H12200231 (дата обращения: 09.09.2026).

2 О республиканском бюджете на 2026 год : Закон Респ. Беларусь, 29 дек. 2025 г., № 125-З, рег. № 5-1/3211 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=H12500125 (дата обращения: 09.09.2026).

УДК 004.054:656.21

ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ МАРШРУТНОЙ СЕТИ ГОРОДСКИХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПЕРЕВОЗОК МИНСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ НА БАЗЕ МИКРОСКОПИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

И. М. ЛИТВИНОВА, О. А. ТЕРЕЩЕНКО, А. А. НАУМЕНКО, М. А. КИЛОЧИЦКАЯ
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

На современном этапе градостроительного развития крупных агломераций приоритетной задачей транспортного планирования является создание устойчивых, безопасных, масштабируемых и экологически сбалансированных транспортных систем. В условиях непрерывного роста уровня автомобилизации населения, ведущего к нехватке пропускной способности существующей уличнодорожной сети, приоритетным вектором государственной политики становится опережающее развитие железнодорожного транспорта в системе городских перевозок. Для Минской агломерации, характеризующейся высокой интенсивностью внутригородских и пригородных маятниковых миграций, интеграция железнодорожных линий в единый мультимодальный каркас представляет собой первоочередную задачу.

Ввиду высокой сложности стохастических процессов, протекающих в транспортных сетях, аналитические методы статического расчета спроса уступают место имитационному динамическому моделированию. Применение передовых инструментов микроскопической симуляции, таких как платформа Eclipse SUMO, позволяет не только с высокой точностью прогнозировать распределение пассажиропотоков, но и верифицировать инфраструктурные решения на этапе их проектирования.

Основной задачей при решении указанных проблем является комплексная оценка перспективных пассажиропотоков на железнодорожных линиях Минского узла с учетом планов территориального развития, а также разработка научно обоснованных предложений по оптимизации маршрутной сети городских железнодорожных перевозок на базе создания мультимодальной имитационной модели.

Комплексная оценка перспективных пассажиропотоков на железнодорожных линиях Минского узла в процессе исследования проводилась в несколько этапов:

– выполнение транспортного районирования территории Минской агломерации с выделением расчетно-транспортных районов (РТР) на основе критериев пешеходной и транспортной доступности станций;

– анализ демографических прогнозов и изменения локализации мест приложения труда с целью формирования перспективных матриц корреспонденций;

– оценка влияния макроэкономических и поведенческих факторов (автомобилизация, микромобильность, удаленная работа) на транспортную подвижность населения;

– разработка и калибровка базовой мультимодальной транспортной модели в среде Eclipse SUMO, объединяющей железнодорожный транспорт, наземный общественный транспорт и индивидуальную мобильность.

Первичным этапом формализации транспортного спроса является транспортное районирование. Для Минской агломерации территория была стратифицирована на 33 расчетно-транспортных района (РТР), объединенных в 9 административных районов. Главным критерием районирования выступает изохрона доступа к инфраструктуре железнодорожного транспорта.

При районировании территории Минской агломерации применялись три базовые категории зон тяготения: комфортная пешая, допустимая пешая, провозная транспортная зоны, которые определяют выбор пассажиром вида транспорта.

Анализ функционального зонирования Минской агломерации выявил высокую разнородность административных районов г. Минска, определяющую векторную направленность маятниковой миграции. Фрунзенский район (около 475 тыс. человек) и Московский район (около 300 тыс. человек) формируют значительный потенциал образования пассажиропотока в утренние и вечерние часы пик, так как являются крупнейшими «спальными» районами. В то же время Заводской и Первомайский районы концентрируют в себе основные промышленные зоны.

Показатель подвижности населения подвержен воздействию разнонаправленных факторов. С одной стороны, развитие форматов удаленной занятости и стремительная автомобилизация насе-

ления оказывают негативное влияние на интенсивность использования общественного транспорта. С другой стороны, рост плотности инфраструктуры, интеграция сервисов микромобильности и, что наиболее важно, организация тактового движения городских железнодорожных линий выступают катализаторами модального сдвига в пользу рельсового транспорта. В результате совокупного влияния этих факторов наибольший прирост доли поездок на железной дороге ожидается в Октябрьском (+0,6 %), Партизанском (+0,4 %) и Центральном (+0,3 %) районах к 2035 году.

Для оценки применимости платформы Eclipse SUMO при разработке маршрутной сети городских железнодорожных перевозок выполнена верификации базовой модели маршрутной сети городских железнодорожных перевозок города Минска. Одной из центральных задач вычислительного эксперимента стала точная калибровка взаимодействия пассажиропотоков и городского общественного транспорта, включая железнодорожный.

На этапе тестирования расписаний и матриц корреспонденций пассажиропотоков выявлены типичные погрешности модели, такие как неравномерное накопление пассажиров у остановочных пунктов и в транспортно-пересадочных узлах, отсутствие согласованности расписания движения пассажирских поездов с городским общественным транспортом. Для оптимизации поведения пассажиров вблизи крупных ТПУ (Минск-Пассажирский, Институт Культуры) применена корректировка параметров модели, что позволило упорядочить направления движения пассажиров и предотвратить массовое скопление пассажиров на отдельных ТПУ. Отдельное внимание в модели было уделено калибровке движения пассажирских поездов. Модель движения поезда в Eclipse SUMO была адаптирована для отражения уникальной кинематики движения моторвагонных поездов в симуляционной модели. Скорректированы режимы движения поездов, заданы режимы стоянок и перегонные времена хода, что важно для оценки опоздания поезда при сбоях в тактовом расписании. Использование интерфейса платформы Eclipse SUMO позволило интегрировать в модель алгоритмы машинного обучения для динамического управления движением поезда.

Вычислительные эксперименты подтвердили, что алгоритм динамического перераспределения сглаживает пиковые нагрузки, перераспределяя часть корреспонденций с перегруженных станций метрополитена на реконструируемые станции городских железнодорожных линий, что доказывает высокую системную эффективность предложенной модели развития сети городских железнодорожных перевозок Минской агломерации.

Проведенное исследование пространственно-экономического и транспортного каркаса Минской агломерации позволяет сделать ряд выводов:

1) изменение градостроительной парадигмы города Минска, ориентированной на реновацию промышленных зон и формирование новых центров притяжения (кластер «Минск-Мир» с прогнозируемым ростом населения и рабочих мест на 15 %), неизбежно ведет к перераспределению транспортного спроса. Существующая радиальная улично-дорожная сеть не обладает потенциалом для абсорбции данных потоков;

2) приоритетным направлением развития является полномасштабная реализация концепции «городской электрички» с тактовым движением. Проектируемое строительство третьих главных путей на направлениях Минск – Смолевичи, Дзержинск, Заславль и Руденск к 2040 году обеспечит необходимое разделение пассажирского и грузового движения. Внедрение тактового расписания (до 29 пар поездов в сутки) сократит время поездки в среднем на 30–45 % и обеспечит рост пассажиропотока (на 116–140 %);

3) применяемый программный комплекс Eclipse SUMO доказал свою высокую научную и прикладную состоятельность в качестве ядра для мультимодального моделирования мегаполисов. Применение алгоритмов стохастического равновесия в связке с точной калибровкой микроскопических параметров движения поездов и пассажиропотоков позволяет формировать высокоточные прогнозы эффективности капитальных вложений.

Разработанная транспортная модель с применением платформы Eclipse SUMO обеспечивает оценку системной устойчивости маршрутной сети городских железнодорожных перевозок Минской агломерации и создает надежный фундамент для дальнейшего сценарного анализа перевозок с учетом градостроительных проектов города Минска и Минского района, а также служит основой для принятия стратегических инвестиционных решений по развитию городского железнодорожного транспорта.

Список литературы

1 Генеральный план города Минска. Основные положения градостроительного развития города Минска. Система регламентов. Пояснительная записка 5.2021-О2.ПЗ-2 / Мингорисполком ; Комитет архитектуры и градостроительства ; УП «МИНСКГРАДО». – Минск, 2023. – 140 с.

2 Государственная схема комплексной территориальной организации Республики Беларусь : Указ Президента Респ. Беларусь от 12 янв. 2007 г. № 19 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=P31600013 (дата обращения: 09.09.2026).

3 Схема комплексной территориальной организации Минской области : Указ Президента Респ. Беларусь от 18 янв. 2016 г. № 13 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: https://pravo.by/document/-?guid=12551&p0=P31600013 (дата обращения: 09.09.2026).

4 Eclipse SUMO – Simulation of Urban MObility. – URL: https://eclipse.dev/sumo/ (date of access: 10.09.2026).

УДК 656.021.5

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ДИСПЕТЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ВЫСОКОСКОРОСТНЫМ ПАССАЖИРСКИМ ДВИЖЕНИЕМ

М. А. МАРЧЕНКО
Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Российская Федерация

О. Д. ПОКРОВСКАЯ
Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет, Российская Федерация

Важнейшими задачами стратегии развития железных дорог Российской Федерации до 2030 года с прогнозом до 2035 года является повышение пространственной связанности и транспортной доступности территорий, повышение мобильности населения, увеличение скорости и мобильности перевозимых грузов. В условиях повышенной конкуренции железнодорожного транспорта с авиационным особенно важно в целях повышения конкурентоспособности компании обеспечить безопасность, своевременность и комфорт при выполнении пассажирских перевозок. ОАО «РЖД» применяет клиентоориентированные подходы, выполняя доставку точно в срок и интегрируясь с другими видами транспорта с целью выполнения мультимодальных перевозок, наиболее оптимальных для клиентов [1].

Достижению задач обеспечения безопасности, своевременности и удобства перевозок, применения клиентоориентированных подходов и создания цифровой среды способствует обеспечение бесперебойного движения поездов по нормативным ниткам графика с обязательным обеспечением безопасности движения. Однако зачастую сложно обеспечить движение поездов по графику в силу влияния множества случайных факторов, которые оказывают влияние на скорость поезда и порождают внеплановые её снижения и остановки поездов, не предусмотренные графиком движения, что в свою очередь приводит к отклонениям в графике движения поездов. В связи с этим значительно снижается конкурентная привлекательность железнодорожного транспорта за счёт отрицательного экономического эффекта по причине потерь личного времени у пассажиров.

В Российской Федерации постоянно ведутся работы над повышением маршрутной скорости движения поездов: проектируются высокоскоростные железнодорожные магистрали и реконструируется существующая, ведутся работы по замене колёсных пар с целью повышения скорости движения пассажирских поездов до 140 км/ч, в грузовых перевозках всё больше делается акцент на ускоренных контейнерных поездах, позволяющих с высокой сохранностью и скоростью доставлять грузы на большие расстояния (в том числе по Транссибирской магистрали), а также упрощать их доставку с другими видами транспорта (автомобильным или морским) [2–4].

Железнодорожная магистраль Санкт-Петербург – Москва считается единственной в России высокоскоростной магистралью. По ней следуют «сапсаны», максимальная скорость хода которых превышает 200 км/ч, скоростные поезда, маршрутная скорость следования которых составляет 140 км/ч и выше – к таким можно отнести электропоезд Ласточку или Невский экспресс. По линии следует также большое количество скорых и пассажирских поездов (в основном в ночное время, поскольку в дневное из-за большой интенсивности движения сапсанов возникает большой коэффициент съема, в результате которого скорость движения данной категории поездов из-за их поста-

новки под обгон значительно снижается. Несмотря на то, что данная железнодорожная линия специализирована под пассажирское движение, на ней имеется также грузовое вывозное движение, т. е. по ней следуют поезда с различными скоростями, порой различающимися более чем в 2,5 раза.

Стратегические цели ОАО «РЖД» подразумевают выполнение планов по перевозкам, увеличение качества выполняемой работы как в сфере основных бизнес-процессов (грузовые и пассажирские перевозки), так и в сфере дополнительных (экспедиторские услуги, цифровое обслуживание клиентов, сервисные услуги пассажирам и т. д.), повышение безопасности движения поездов и неуклонного контроля за её исполнением, финансовой устойчивости и экономической эффективности во всех экономических блоках компании. Немаловажную роль в обеспечении вышеперечисленных аспектов играет диспетчерское регулирование, являющееся ключевым инструментом реализации оперативного управления движением поездов на железнодорожном полигоне.

В настоящее время диспетчерскими центрами управления перевозками активно применяются разнообразные оперативные регулировочные меры, направленные на беспрепятственный и бесперебойный пропуск поездов, обеспечение безопасности движения и рациональности в управлении движением. Были предложены разработки, направленные на анализ текущей поездной ситуации, на основе которого поездному диспетчеру облегчалась бы задача выбора рационального решения. В то же время сегодня отсутствуют решения, которые бы предоставляли поездному диспетчеру наиболее рациональный вариант оперативных действий, направленных на выполнение графика движения поездов.

Обзор существующих методов диспетчерского регулирования на железных дорогах

Высокоскоростное движение появилось относительно недавно, в связи с чем до сих пор продолжают активно развиваться и совершенствоваться методы диспетчерского регулирования поездов в высокоскоростном сообщении. Однако следует первоначально выделить вклад отечественных специалистов в развитие диспетчерского управления в пассажирском и грузовом движении [5–10].

Эксперименты по выявлению закона отклонения движения поездов от нормативного графика были произведены ещё в середине прошлого века [11]. Однако в то время полностью отсутствовало высокоскоростное движение, в связи с чем в настоящее время требуется актуализация результатов данных экспериментов. Кроме того, в тот же временной период были произведены исследования [12–15], направленные на изучение изменения пропускной способности при сокращении интервала. Однако в связи с низкой автоматизацией эксплуатационной работы на железных дорогах того периода полученные результаты так и не были внедрены на практике. Они производились ещё при паровозной тяге, в связи с чем требуют актуализации.

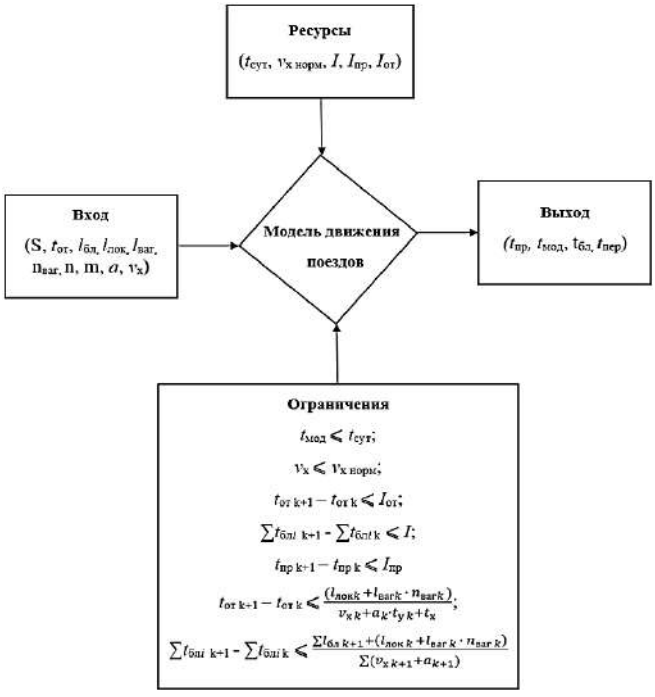


Рисунок 1 – Структура математической модели

За рубежом методы диспетчерского регулирования подробно рассмотрены в работах [16–19]. В исследованиях [20–24] описывается выявление возможностей повышения эффективности эксплуатации высокоскоростных железнодорожных линий на основе имитационного моделирования.

Моделирование движения поездов и разработка методики помощи принятия решения поездному диспетчеру

Для проведения эксперимента была разработана математическая модель, описывающая характер движения поездов. Её отличительной особенностью от существующих моделей является возможность учета отклонений поездов. Структура математической модели приведена на рисунке 1.

Математическая модель имеет ограничения. Интервалы не могут быть меньше, чем полученные в результате расчётов согласно [25], а скорость движения поездов не может превышать указанную в [23].

В исследовании произведены эксперименты на основе имитационного моделирования с целью выявления величины отклонений высокоскоростных поездов от графика движения. Имитационная модель была разработана в программном комплексе AnyLogic, выбор которого обусловлен относительной простотой его освоения, понятностью интерфейса и его многофункциональностью [24].

Результатом проведенного эксперимента стало полученное время хода высокоскоростных поездов «Сапсан» по существующей магистрали Москва – Санкт-Петербург. Результат приведён на рисунке 2.

С применением критерия Пирсона [25] был доказан нормальный закон распределения величины отклонений поездов от нормативного графика. Кроме того, по итогам имитационного моделирования были подтверждены очередные результаты экспериментов, проводимых в середине прошлого века. С помощью имитационного моделирования было выявлено, что пропускная способность высокоскоростной магистрали, рассчитываемая в настоящее время согласно [24], при постоянном уменьшении интервала с определённого его значения начинает сокращаться, что противоречит используемым в настоящее время формулам. Результаты эксперимента приведены на рисунке 3.

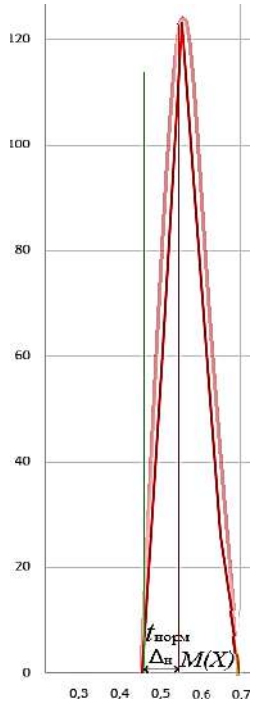


Рисунок 2 – Статистические данные времени хода высокоскоростных поездов

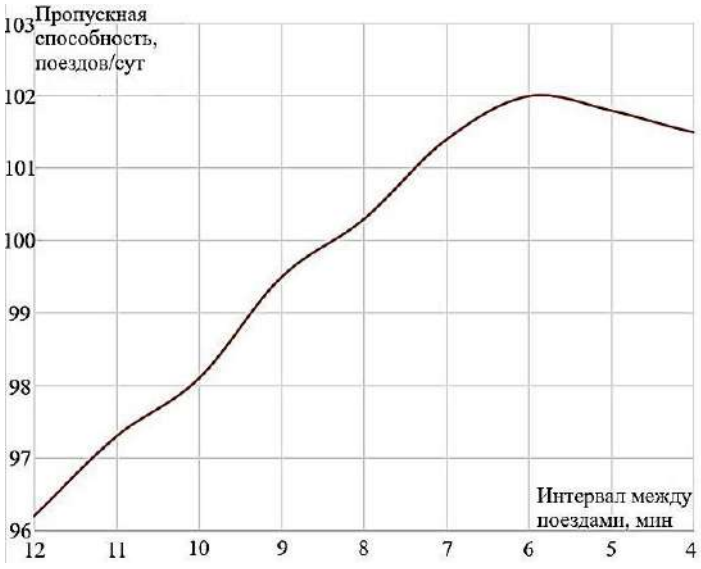


Рисунок 3 – Исследования изменения пропускной способности

На основе полученных экспериментов был предложен алгоритм, позволяющий при его автоматизации оказывать помощь поездному диспетчеру при принятии решений. Алгоритм приведён на рисунке 4.

Автоматизированный алгоритм методики основан на учёте отклонений высокоскоростных поездов от нормативного графика. При этом он является универсальным и может быть использован для прочих категорий поездов, однако наиболее полезен он будет в организации высокоскоростного движения. Производятся получение данных с железнодорожного участка, передача их посредством оптоволоконных кабелей в диспетчерские центры управления перевозками и их обработка согласно предложенному алгоритму. На основе информации об отставании или опережении нормативного графика, а также текущем месторасположении поездов в пределах перегона алгоритм позволяет поездному диспетчеру принять наиболее оптимальное решение с точки зрения экономии времени хода поездов с учётом их приоритетности. Однако функционал алгоритма носит лишь вспомогательный и рекомендательный характер. Вся ответственность за принятые решения целиком и полностью возлагается на поездного диспетчера.

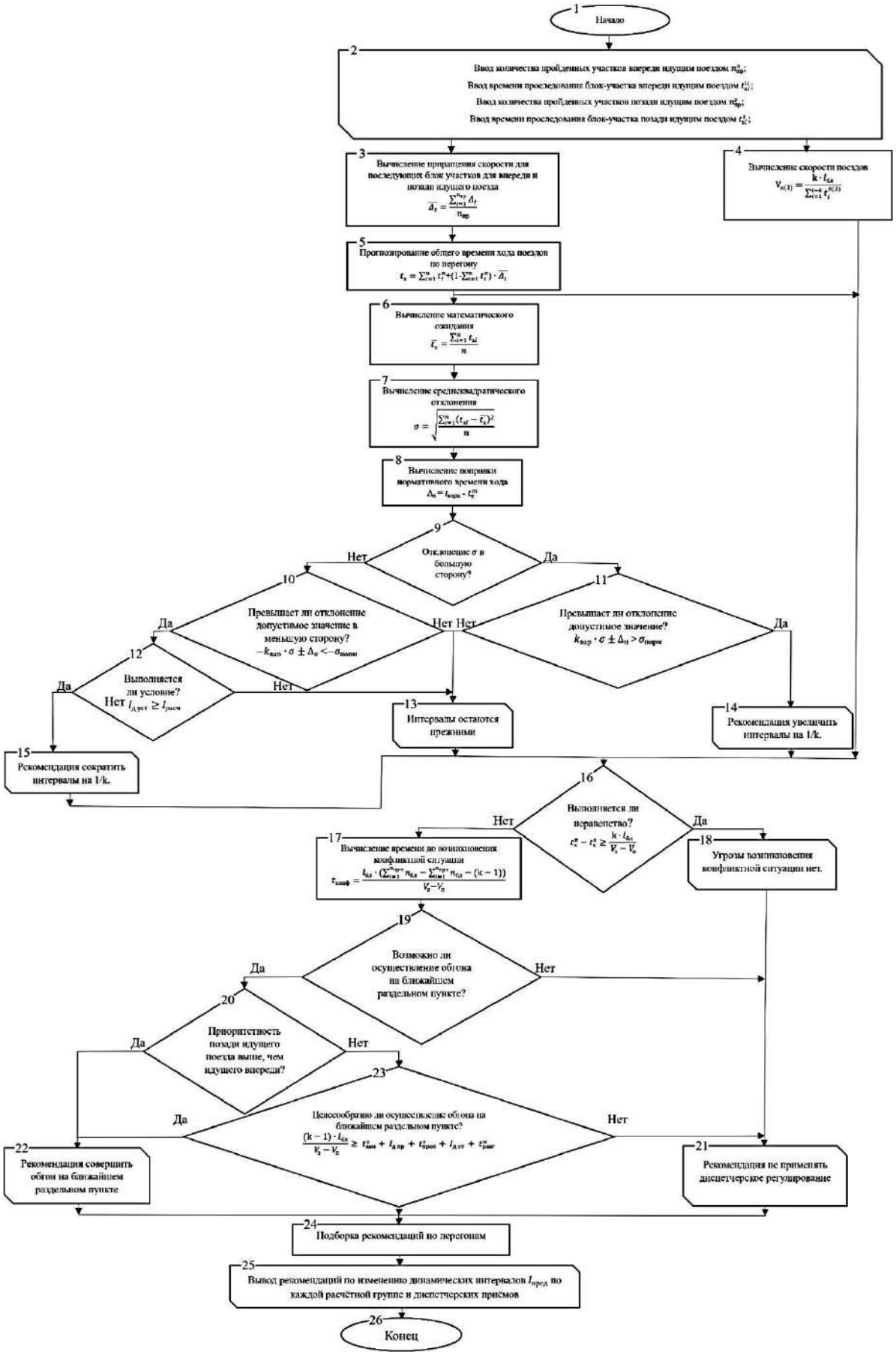


Рисунок 4 – Алгоритм методики помощи принятия решения поездному диспетчеру

Оценка экономической эффективности внедрения предлагаемой методики на сети Российских железных дорог

В работе был предложен расчёт оценки экономической эффективности от внедрения предлагаемого алгоритма. Он основан на подсчёте изменения качественных и количественных показателей и не предполагает получения значений в денежном эквиваленте. При этом результаты предложенного расчёта позволяют сделать выводы об изменении резервов пропускной способности и качества транспортного обслуживания. Предлагаемый расчёт подчиняется целевой функции

$$\sum \triangle П = \begin{cases} \sum КАЧ_{п}^{пас} - \sum КАЧ_{д}^{гр} + \sum КАЧ_{п}^{пас} - \sum КАЧ_{д}^{пас} \rightarrow \max \\ \sum КОЛ_{п}^{гр} - КОЛ_{д}^{гр} + \sum КОЛ_{п}^{пас} - \sum КОЛ_{д}^{пас} \rightarrow \max, \end{cases} \quad (1)$$

где $\sum КОЛ_{д}^{пас}$ – количественные показатели пассажирских перевозок до реализации нововведений; $\sum КОЛ_{п}^{пас}$ – количественные показатели пассажирских перевозок после реализации нововведений; $\sum КАЧ_{д}^{пас}$ – качественные показатели пассажирских перевозок до реализации нововведений; $\sum КОЛ_{п}^{пас}$ – качественные показатели пассажирских перевозок после реализации нововведений; $\sum КОЛ_{д}^{гр}$ – количественные показатели грузовых перевозок до реализации нововведений; $\sum КОЛ_{п}^{гр}$ – количественные показатели грузовых перевозок после реализации нововведений; $\sum КАЧ_{п}^{пас}$ – сумма качественных показателей после внедрения предлагаемых в исследовании методик в пассажирских перевозках; $\sum КАЧ_{п}^{гр}$ – сумма качественных показателей после внедрения предлагаемых в исследовании методик в грузовых перевозках.

Предложенная система целевых функций позволяет оценить изменение качества работы подвижного состава на основании изменения размеров движения. Она отличается тем, что в показателях производится учёт отклонений поездов от нормативного времени, который в настоящее время в расчёте показателей в ОАО «РЖД» не применяется.

Таким образом, в ходе исследования был актуализирован закон распределения величины отклонения поездов от нормативного графика движения. Проведено имитационное моделирование движения поездов по линии Москва – Санкт-Петербург. На основе полученных результатов разработан метод помощи принятия решений на основе математического анализа поездного состояния, отличающийся комплексным применением теории вероятностей и позволяющий поездным диспетчерам своевременно предпринимать рациональные решения в целях обеспечения безопасности движения и выполнения планового графика движения поездов. Предложен расчёт оценки экономической эффективности от его внедрения на сети российских железных дорог.

Применение полученных результатов в диспетчерских центрах управления перевозками на сети Российских железных дорог позволит повысить эффективности диспетчерского управления на железных дорогах. Снижение отклонений исполненных графиков движения поездов от планового графика будет способствовать своевременности перевозки пассажиров к станциям их назначения.

Список литературы

1 Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года : утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 27 нояб. 2021 г. № 3363-р. – М. : Правительство Российской Федерации, 2021. – 282 с.

2 **Покровская, О. Д.** Международная логистика Транссибирской магистрали: использование транзитного потенциала России / О. Д. Покровская, В. М. Самуйлов // Инновационный транспорт. – 2016. – № 3 (21). – С. 3–7.

3 **Pokrovskaya, O.** Evolutionary-functional approach to transport hubs classification / O. Pokrovskaya, R. Fedorenko // Advances in Intelligent Systems and Computing. – 2020. – Vol. 982. – P. 356–365.

4 **Покровская, О. Д.** Логистические транспортные системы России в условиях новых санкций / О. Д. Покровская // Бюллетень результатов научных исследований. – 2022. – № 1. – С. 80–94.

5 Вопросы повышения стабильности выполнения графика движения поездов / А. Г. Котенко, А. А. Грачев, А. В. Гоголева, Т. М. Шманев // Бюллетень результатов научных исследований. – 2018. – № 1. – С. 59–70.

6 **Белозёров, В. Л.** «Вечные» вопросы организации движения поездов на двухпутных участках / В. Л. Белозёров, А. А. Грачёв // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2017. – Т. 14, № 3. – С. 243–255.

7 **Грошев, Г. М.** Оперативное диспетчерское регулирование (Опыт диспетчерских коллективов отделений и дорог) / Г. М. Грошев. – М. : Транспорт, 1985. – 48 с.

8 Пособие поездному диспетчеру и дежурному по отделению / Г. М. Грошев, В. А. Кудрявцев, Г. А. Платонов, А. Д. Чернюгов. – М. : Транспорт, 1992. – 368 с.

9 Об автоматизации разработки графика движения поездов / А. Т. Осьминин, В. А. Анисимова, Н. А. Клюев [и др.] // Железнодорожный транспорт. – 2012. – № 4. – С. 19–24.

10 **Чернюгов, А. Д.** Организация безостановочных обгонов на двухпутных линиях / А. Д. Чернюгов // Вестник ВНИИЖТ. – 1964. – № 6. – С. 58–62.

11 **Дьяков, Ю. В.** Повышения уровня использования и комплексное развитие пропускной способности железнодорожных направлений : дис. … д-ра техн. наук / Ю. В. Дьяков. – М. : МИИТ, 1984. – 475 с.

12 **Дьяков, Ю. В.** Сокращенный интервал автоблокировки и его обеспечение / Ю. В. Дьяков // Железнодорожный транспорт. – 1986. – № 2. – С. 63–67.

13 **Pore, J.** Система ETCS: перспективы и опыт / J. Pore // Железные дороги мира. – 2008. – № 4. – URL: http://www.zdmira.com/arhiv/2008/zdm-2008-no-4 (дата обращения: 11.09.2026).

14 Railway transit network design based on fuzzy plant growth simulation algorithm / Xuelei Meng, Yahui Wang, Yong Qin, Wanli Xiang // Transportation Letters. – 2022. – Vol. 14, is. 2. – P. 186–194.

15 A multi-objective optimization-simulation approach for real time rescheduling in dense railway systems / E. Altazin, S. Dauzère-Pérès, F. Ramond, S. Tréfond // European Journal of Operational Research. – 2020. – Vol. 286, is. 2. – P. 662–672.

16 **Xin Zhang**. Integrating capacity analysis with high-speed railway timetabling: A minimum cycle time calculation model with flexible overtaking constraints and intelligent enumeration / Xin Zhang, Lei Nie // Transportation Research Part C: Emerging Technologies. – 2016. – Vol. 68. – P. 509–531.

17 **Harrod, S.** OpenTrack simulation model files and output dataset for a copenhagen suburban railway / S. Harrod, F. Cerreto, O. Anker Nielsen // Data in Brief. – 2019. – Vol. 25.

18 **Ljubaj, I.** Matea Mikulčić, Tomislav Josip Mlinarić. Possibility of Increasing the Railway Capacity of the R106 Regional Line by Using a Simulation Tool / I. Ljubaj, M. Mikulčić, T. Josip Mlinarić // Transportation Research Procedia. – 2020. – Vol. 44. – P. 137–144.

19 **Cheng, C. H.** A simulation study of tenability for passengers in a railway tunnel with arson fire / C. H. Cheng, C. L. Chow, W. K. Chow // Tunnelling and Underground Space Technology. – 2021. – Vol. 108.

20 **Högdahl, J.** A combined simulation-optimization approach for minimizing travel time and delays in railway timetables / J. Högdahl, M. Bohlin, O. Fröidh // Transportation Research Part B: Methodological. – 2019. – Vol. 126. – P. 192–212.

21 Инструкция по определению станционных и межпоездных интервалов : утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 30.12.2011 № 2864р.

22 Распоряжение ОАО «РЖД» об установлении допускаемых скоростей движения на Октябрьской железной дороге от 15 мая 2022 г. – М. : ОАО «РЖД», 2022. – 2 с.

23 **Каталевский, Д. Ю.** Основы имитационного моделирования и системного анализа в управлении : учеб. пособие / Д. Ю. Каталевский. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Издательский дом «Дело» РАНХиГС, 2015. – 496 с.

24 **Вентцель, Е. С.** Теория вероятностей : учеб. для вузов / Е. С. Вентцель. – 6-е изд., стер. – М. : Высш. шк., 1999. – 576 с.

25 Инструкция по расчету пропускной и провозной способностей железных дорог ОАО «РЖД» : утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 04.03.2022 г. № 128. – М. : ОАО «РЖД», 2022. – 364 с.

УДК 656.07:656.2:656.7

ИНТЕГРАЦИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА С ВОЗДУШНЫМ В ЦЕНТРАЛЬНОМ ТРАНСПОРТНОМ УЗЛЕ

И. П. МЕЛЬНИКОВ, А. А. СИДРАКОВ
Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва

При значительных объемах пассажирских перевозок через крупные Московские аэропорты требуется постоянно поддерживать комфортные, безопасные и быстрые поездки между аэропортами и железнодорожными вокзалами Москвы.

Для пассажира, пребывающего в Москву на поезде и продолжающего путешествие на самолете, поездка до аэропорта – самостоятельный этап, который требует затрат времени, дополнительных расходов и необходимости перевозки багажа. При этом вокзал прибытия не всегда совпадает с направлением отправления экспресса в аэропорт ровно так же, как и аэропорт прибытия с вокзалом отправления, что требует перемещения между ними при помощи иного городского транспорта.

Развитие экспрессного железнодорожного сообщения с аэропортами имеет более чем двадцатилетнюю историю. 3 августа 2002 года Правительством Москвы было открыто первое экспрессное сообщение с аэропортом Домодедово – Павелецкий вокзал.

Оценка удобства существующего сообщения предполагает в себе учет всей продолжительности перемещения пассажира: времени прибытия на станцию отправления, ожидания транспорта,

движения, пересадок и перехода к нужному конечному терминалу. Такой подход позволит рассмотреть интеграцию железнодорожных перевозок с воздушными наиболее эффективно.

Основываясь на вышеперечисленной информации, для понимания тенденции развития пассажиропотока проведен анализ по количеству обслуженных пассажиров (в млн) в 4 аэропортах, согласно данным Росавиации и официальным сообщениям аэропортов (рисунок 1).

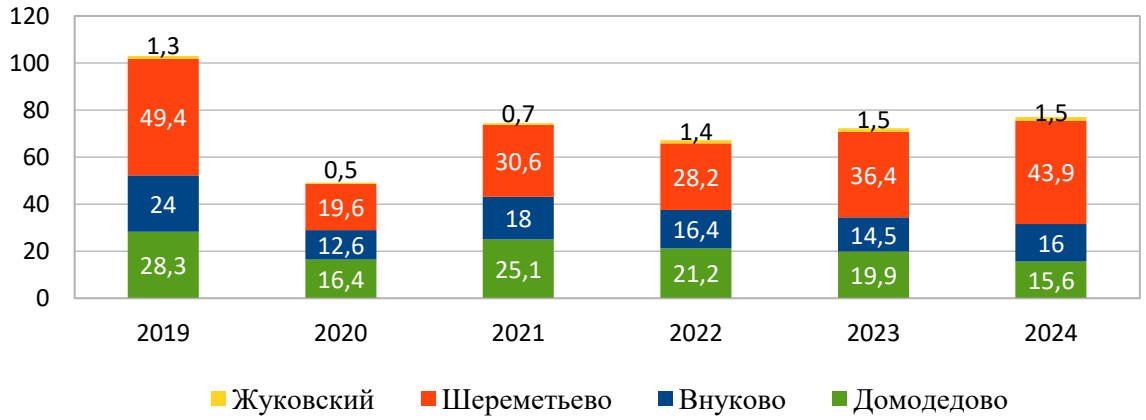


Рисунок 1 – Число обслуженных пассажиров, млн

Постоянный рост пассажиропотока объясняется рядом факторов: увеличением численности населения, развитием агломерации Московского округа, доходами и финансовой доступностью билетов, развитием маршрутной сети. В контексте интеграции железнодорожного транспорта целесообразно также рассмотреть явление индуцированного транспортного потока, при котором улучшение транспортной инфраструктуры и условий поездки способствует возникновению дополнительного спроса.

Удобство поездки можно рассматривать по ряду общих факторов. Далее был проведен анализ основных вариантов маршрута до каждого аэропорта различными видами транспорта (таблица 1).

Таблица 1 – **Сравнительная характеристика видов транспорта**

Аэропорт	Транспорт и точка отправления	Цена, руб.	Время движения (только на данном виде транспорта)	Интервал	Особенности доступности и удобства
Шереметьево	Экспресс-поезд, Белорусский вокзал	650–700	46 мин	30 мин	Без пересадки от вокзала; не зависит от дорожной ситуации
	Экспресс-автобус от метро Ховрино	450 (автобус) 83 (метро)	15–20 мин	10–15 мин	Требуется добраться до метро; время зависит от дорожной обстановки
Домодедово	Экспресс-поезд, Павелецкий вокзал	650–700	Около 45 мин	30 мин	Без пересадки от вокзала; железнодорожный терминал у аэропорта
	Экспресс-автобус от метро Домодедовская	450 (автобус) 83 (метро)	35–40 мин	20 мин	Требуется добраться до метро; время зависит от дорожной обстановки
Внуково	Экспресс-поезд, Киевский вокзал	350	33 мин	60 мин	Без пересадки от вокзала; подземный переход к терминалу
	Метро Внуково	83	58 мин (среднее время отправки с каждого вокзала)	Около 2–4 мин	Станция непосредственно у аэропорта; переход к терминалу А
Жуковский	Электричка от Казанского вокзала с пересадкой на автобус	102(электричка) + 83 (автобус)	Около 40 + 20 мин	По расписаниям двух участков	Обязательная пересадка на наземный транспорт; прямого железнодорожного сообщения не существует
	Автобус от метро Котельники	83	Около 65 мин	Около 15–20 мин	Требуется добраться до метро, зависит от дорожной обстановки

Сопоставляя данные таблицы, можно заметить, что прямые железнодорожные экспрессы обеспечивают более предсказуемое время прибытия пассажира к нужному аэропорту благодаря независимости от дорожной ситуации и точному расписанию. Их средняя стоимость составляет около 567 рублей, что незначительно выше средней стоимости поездки на автобусе – 524 рубля. Нельзя выделить разницу во времени поездки между автобусным и железнодорожным транспортом: до Шереметьево экспресс-поезд доезжает за 46 минут против 15–20 минут на автобусе, не стоит забывать, что до метро Ховрино требуется время, чтобы добраться. И к этим 15–20 минутам добавляются еще 30 минут, требующиеся для поездки на метро. До Домодедово полная поездка займет на экспресс-поезде 35–40 минут против 60–65 минут на автобусе, что показывает незначительное преимущество железнодорожного транспорта. Недостатком последнего являются гораздо бóльшие интервалы движения – 30–60 минут, тогда как автобусы отправляются каждые 10–20 минут. Таким образом, основное преимущество прямых поездов заключается именно в надежности, предсказуемости и удобстве поездок с багажом.

На основе анализа можно выделить три ключевые проблемы и показать их последствия:

– несовпадение вокзала прибытия со станцией отправления аэропортового транспорта – для пассажира неудобно преодолевать городской участок, пересаживаться, а также самостоятельно перемещать багаж;

– интервалы движения и изменения расписания – пассажиру необходимо закладывать дополнительный запас времени, при этом незапланированные задержки создают риск нарушения запланированной пересадки;

– сочетание железнодорожного и автомобильного участков – дополнительное ожидание и зависимость части маршрута, зависящее от дорожной ситуации.

Данные проблемы наиболее чувствительны для пассажиров, поездка которых зависит от пересадки с железнодорожного транспорта на воздушный, особенно при ограниченном времени пересадки. Дополнительные переходы, перевозка багажа могут создавать дополнительные трудности для семей с детьми, пожилых и маломобильных пассажиров.

Все описанные трудности объединяет несколько факторов: далекое расположение аэропортов от развитой инфраструктуры Москвы, организация расписания, а также необходимость использовать несколько видов транспорта. Удобство всей системы складывается из всей цепочки перемещения, включая ожидание и переходы.

Согласно Концепции развития Центрального транспортного узла, опубликованной РЖД, приводятся некоторые данные о перспективах развития железнодорожного сообщения с аэропортами Московского авиационного узла (МАУ). В соответствии с нормативным графиком движения поездов на 2024–2027 гг., в сутки предусмотрено движение:

– Шереметьево – 38 пар интермодальных поездов;

– Домодедово – 37 пар;

– Внуково – 18 пар.

На перспективу до 2040 года планируется сохранить количество курсирующих поездов в сутки в связях с аэропортами МАУ. Перспективы интеграции связаны не только с увеличением потока и частоты отправления поездов, но и с расширением доступности аэропортов из разных частей агломерации, устройством пересадочных узлов и более точным согласованием железнодорожных и авиационных перевозок.

В рамках исследовательской работы были проанализированы зарубежные примеры железнодорожной интеграции с авиационными перевозками. Яркими являются примеры в Китае, Японии и Германии.

Для примера развития из Китая наглядно можно рассмотреть открытие Airport Link Line 27 декабря 2024 года между аэропортами Хунцяо и Пудун. Время поездки сократилось со 100 до 40 минут за счет уменьшения количества пересадок, как сообщает сайт города Шанхай. Официальная инструкция, обновленная в марте 2026 года, указывает всего 7 станций, интервал курсирования поездов в 15 минут. На примере с Москвой интересно представить объединение всех четырех аэропортов железными дорогами в единую транспортную сеть, но целесообразность естественно

зависит от объема пересадочного пассажиропотока, маршрутов и затрат.

В случае с Японией интересно рассмотреть перспективный проект под названием Haneda Airport Access Line от компании JR East. Открытие планируется в 2031 году, ожидаемое время поездки от станции Токио до аэропорта Ханэда – около 18 минут. Проект предусматривает объединение аэропорта с несколькими направлениями железнодорожного движения. При интеграции в ЦТУ интересно проанализировать возможность объединения одного аэропорта с различными вокзалами, например, если бы аэропорт Шереметьево имел прямой беспересадочный доступ не только к Белорусскому вокзалу, но и условно к Площади трех вокзалов.

Также хочется упомянуть важные перспективы в Германии. Железнодорожный участок до аэропорта Франкфурта благодаря Lufthansa Express Rail объединяет 27 станций с разных городов Германии: Берлин, Мюнхен, Кельн и др. Здесь очень важно отметить единую удобную организацию поездки для пассажира: предусмотрены единый билет как на самолет, так и на поезд, бронирование места и гарантия пересадки с перебронированием при задержках. Интеграция направлена не на ускорение времени поездки, а на совместную организацию последовательных этапов путешествия. При внедрении данной системы в ЦТУ повысится удобство поездки: при покупке авиабилета пассажир сможет бронировать себе место в аэроэкспрессе без лишних действий по самостоятельной организации трансфера, что не повлияет на время поездки, но значительно повысит её удобство.

На основании всего вышеперечисленного можно выделить два направления развития: физическая увязка всей транспортной системы аэропортов и вокзалов в единую сеть и организационная увязка за счет единых систем организации и оплаты перевозки.

Проведенный анализ показывает, что интеграция железнодорожного транспорта с авиационным имеет большой потенциал развития. Рассмотренный зарубежный опыт точно демонстрирует возможности расширения прямого доступа к аэропортам, развития межаэропортовых связей и согласования железнодорожных и авиационных перевозчиков в рамках единого путешествия пассажира. Применимость данных подходов к ЦТУ требует учета существующей инфраструктуры и потребностей пассажиров.

Вместе с этим сохраняются проблемы, связанные с дополнительным перемещением пассажира между вокзалами и аэропортами, ожиданием транспорта и пересадками. Их решение необходимо для повышения удобства и предсказуемости поездок.

Список литературы

1 Концепция развития железнодорожной инфраструктуры Центрального транспортного узла на период до 2040 года : утв. ОАО «РЖД». – М., 2025.

2 Как добраться в аэропорт Шереметьево // Аэроэкспресс. – URL: https://aeroexpress.ru/aero/route/sheremetyevo.html (дата обращения: 11.09.2026).

3 Как добраться в аэропорт Домодедово // Аэроэкспресс. – URL: https://aeroexpress.ru/aero/route/domodedovo.html (дата обращения: 11.09.2026).

4 «Аэроэкспресс» завершает оперирование на маршруте «Киевский вокзал – аэропорт Внуково» // Аэроэкспресс. – URL: https://aeroexpress.ru/aero/press/news20101821.html (дата обращения: 11.09.2026).

5 Тарифы // Аэроэкспресс. – URL: https://aeroexpress.ru/aero/prices.html (дата обращения: 11.09.2026).

6 Общественный транспорт // Международный аэропорт Жуковский. – URL: https://zia.aero/transport/public-transport/ (дата обращения: 11.09.2026).

7 Оплата проезда // Единый транспортный портал Москвы. – URL: https://transport.mos.ru/mostrans/oplata_proezda_transport (дата обращения: 11.09.2026).

8 Shanghai airport rail cuts transit time to 40 minutes // Официальный сайт города Шанхай. – URL: https://english.shanghai.gov.cn/en-Latest-WhatsNew/20241230/c2e1f804b3294e588fcb4b4d413be7e0.html (date of access: 11.09.2026).

9 Haneda Airport Access Line // JR East. – URL: https://recruit.jreast.co.jp/project/pj_haneda (date of access: 11.09.2026).

10 Lufthansa Express Rail // Lufthansa. – URL: https://www.lufthansa.com/xx/en/lufthansa-express-rail (дата обращения: 11.09.2026).

11 Путь от Павелецкого вокзала до аэропорта «Домодедово» займет 39 минут (от 03.08.2002) // NEWSru.com. – URL: https://classic.newsru.com/russia/03aug2002/domod.html (дата обращения: 11.09.2026).

УДК 656.07:005.334(476)

ОСОБЕННОСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РИСКОВ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК В РЕГИОНАЛЬНОМ СООБЩЕНИИ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

А. А. МИХАЛЬЧЕНКО
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Региональные пассажирские перевозки связывают областные и районные центры с прилегающими населенными пунктами и для значительной части сельского населения остаются единственным доступным способом добраться до работы, учебы, медицинских учреждений и организаций социального обслуживания. В Республике Беларусь эту функцию выполняют, прежде всего, поезда региональных линий Белорусской железной дороги и автобусы пригородных и междугородных маршрутов, работающих в пределах области. Поэтому любой сбой в работе регионального транспорта – от отмены рейса до ДТП – имеет не только экономические, но и выраженные социальные последствия [1–4, 6]. В связи с этим управление перевозками в таких условиях требует не столько реагирования на уже возникшие неблагоприятные события, сколько их заблаговременного предвидения. Прогнозирование рисков позволяет Белорусской железной дороге, перевозчику и местным органам власти заранее скорректировать расписание, распределение подвижного состава, программы технического обслуживания и объемы государственной поддержки. Вместе с тем методы, разработанные для железной дороги и городского транспорта, переносятся на региональное сообщение с ограничениями, так как здесь иная структура пассажиропотока, плотность маршрутной сети и некоторые особенности перевозочного процесса по отдельному маршруту.

Следует отметить, что на железнодорожном транспорте с 2012 года действует деление пассажирских перевозок на городские, региональные, межрегиональные и международные линии, причем региональные линии подразделяются на экономкласс и бизнес-класс в зависимости от скорости движения и числа остановок. Бывшие пригородные поезда получили статус поездов региональных линий экономкласса, а ускоренные электропоезда стали обслуживать региональные линии бизнес-класса [7]. Министерство транспорта и коммуникаций указывает, что перевозки в региональном сообщении экономкласса выполняют сотни пар поездов ежедневно, что делает этот вид сообщения самым массовым сегментом пассажирской работы железной дороги [7].

На автомобильном транспорте региональное сообщение образуют пригородные и междугородные маршруты в пределах области, которые обслуживают преимущественно областные автотранспортные организации с участием частных перевозчиков. Порядок организации и выполнения таких перевозок определяется Законом «Об автомобильном транспорте и автомобильных перевозках» и Правилами автомобильных перевозок пассажиров [3, 4].

С позиции управления рисками региональное сообщение обладает рядом свойств, которые отличают его от других видов перевозок. Во-первых, перевозки имеют социальный характер: органы государственного управления устанавливают минимальный уровень транспортного обслуживания, и перевозчик не может свободно сократить убыточный рейс. Отсюда особый вид риска, при котором неисполнение социальных обязательств по транспортному обслуживанию населения в коммерческом сегменте фактически отсутствует. Во-вторых, пассажиропоток отличается неравномерностью во времени: значительно увеличивается в выходные дни, дачный сезон, утренние и вечерние часы, а в межсезонье на ряде направлений снижается до уровня, при котором рейс заполняется лишь частично. В-третьих, финансовая устойчивость перевозчика зависит от бюджетного возмещения части затрат, поэтому изменение порядка финансирования напрямую отражается на объеме и качестве перевозок. В-четвертых, маршрутная сеть неоднородна: наряду с интенсивными направлениями вокруг Минска и областных центров существует множество малодеятельных маршрутов с небольшим числом рейсов в сутки. Каждое из этих свойств влияет не только на состав рисков, но и на то, какими методами их можно прогнозировать. Так, неравномерность пассажиропотока требует моделей с явным учетом сезонности, а малый объем наблюдений по отдельным маршрутам ограни-

чивает применение сложных статистических методов, рассчитанных на длинные ряды данных.

С учетом вышеизложенного для целей прогнозирования риски удобно группировать по источникам возникновения, поскольку от источника зависят доступные исходные данные и подходящий метод оценки. В соответствии с общими принципами менеджмента под риском понимается влияние неопределенности на достижение целей перевозчика, а сам риск характеризуется вероятностью неблагоприятного события и тяжестью его последствий (таблица 1).

Таблица 1 – **Классификация рисков при выполнении пассажирских перевозок на железнодорожном и автомобильном транспорте при выполнении региональных перевозок**

Группа рисков	Основные источники	Показатели для прогнозирования
Риски безопасности движения	Состояние дорог и путей сообщения, железнодорожные переезды, неблагоприятные погодные условия, утомление и квалификация водителей и машинистов, техническое состояние подвижного состава	Число транспортных происшествий и инцидентов на 1 млн км пробега, число отказов технических средств, метеорологические данные
Технические риски	Износ и старение подвижного состава, недостаточная обеспеченность запасными частями, нарушение сроков технического обслуживания	Средний возраст парка, коэффициент технической готовности, наработка на отказ
Риски спроса	Сезонные и недельные колебания пассажиропотока, демографические изменения в сельской местности, конкуренция с личным автомобилем и параллельными маршрутами	Пассажиропоток по рейсам и периодам, коэффициент наполняемости, динамика численности населения зоны тяготения
Кадровые риски	Дефицит водителей и локомотивных бригад, высокая текучесть персонала, старение кадров	Укомплектованность штата, текучесть кадров, возрастная структура персонала
Финансовые риски	Разрыв между тарифом и себестоимостью, изменение объема бюджетного возмещения, рост цен на топливо и запасные части	Уровень покрытия затрат доходами, себестоимость пассажиро-километра, объем возмещения
Организационные и регуляторные риски	Изменение требований к перевозкам, пересмотр маршрутной сети и стандартов транспортного обслуживания, несогласованность расписаний видов транспорта	Число изменений маршрутной сети, доля несогласованных пересадок, регулярность движения
Социальные риски	Невыполнение минимальных стандартов обслуживания, отмена рейсов, снижение транспортной доступности населенных пунктов	Доля выполненных рейсов, число населенных пунктов без регулярного сообщения, обращения граждан

Важная особенность регионального сообщения состоит в том, что риски разных групп тесно связаны между собой и нередко усиливают друг друга. Снижение пассажиропотока на маршруте ухудшает его финансовые показатели и приводит к необходимости сокращения рейсов, что, в свою очередь, делает маршрут менее удобным и дополнительно снижает спрос. Аналогично дефицит водителей ведет к увеличению сверхурочной работы, что повышает риск утомления и, следовательно, риск происшествий. Анализ условий работы регионального транспорта позволяет выделить несколько особенностей, которые необходимо учитывать при прогнозировании рисков.

1 Недостаток данных по отдельным маршрутам. Например, на малодеятельном маршруте с несколькими рейсами в сутки чрезвычайные события, связанные с транспортом происходят редко или за год могут не произойти ни разу, а ряд наблюдений пассажиропотока оказывается непродолжительным. Прогноз, построенный только по данным такого маршрута, будет неустойчивым. Выходом служит объединение маршрутов в однородные группы по протяженности, типу подвижного состава, характеру местности и зоне тяготения и оценка параметров моделей по группе в целом с последующей корректировкой для конкретного маршрута. Такой подход, основанный на иерархических моделях, позволяет использовать опыт интенсивных направлений для оценки рисков на маршрутах с небольшим объемом наблюдений.

2 Зависимость рисков от сезона. В летний период растет пассажиропоток на направлениях к дачным массивам и местам отдыха, что повышает риск переполнения подвижного состава и нагрузку на персонал. В зимний период на первый план выходят риски, связанные с погодными условиями: гололед и снежные заносы на автомобильных дорогах, особенно местного значения, обледенение платформ и подходов к остановочным пунктам. Поэтому прогноз рисков должен строиться с разбивкой по сезонам, а не как единая среднегодовая оценка, которая скрывает периоды повышенной опасности.

3 Демографические изменения в сельской местности. Сокращение и старение населения в зонах тяготения ряда маршрутов постепенно снижают спрос, но одновременно повышают долю пассажиров, для которых общественный транспорт незаменим, в том числе пожилых людей и маломобильных граждан. Для прогноза это означает, что долгосрочный риск спроса нельзя оценивать только по динамике общего пассажиропотока: необходимо учитывать структуру пассажиров и последствия сокращения обслуживания для конкретных групп населения, то есть оценивать социальный риск наравне с финансовым.

4 Взаимодействие железнодорожного и автомобильного транспорта. На ряде направлений поезда региональных линий и автобусы обслуживают одни и те же населенные пункты, и изменение расписания или тарифа одного вида транспорта перераспределяет пассажиров на другой. Прогнозировать риски спроса для каждого вида транспорта по отдельности в таких случаях некорректно: модель должна охватывать транспортный коридор в целом. Одновременно при несогласованных расписаниях возникает риск потери пересадки, который особенно чувствителен для пассажиров, следующих из сельских населенных пунктов в областной центр с пересадкой в районном центре.

5 Зависимость от финансирования и государственного регулирования. Поскольку значительная часть региональных перевозок осуществляется с бюджетной поддержкой, финансовые риски перевозчика определяются не только рыночными факторами, но и решениями органов управления о тарифах, об объеме возмещения и составе маршрутной сети. Такие риски плохо поддаются статистическому прогнозу, поэтому их оценка строится преимущественно на сценарном анализе: рассматриваются несколько вариантов изменения условий финансирования и для каждого определяются последствия для объема перевозок и уровня транспортного обслуживания.

6 Инфраструктура. На железной дороге поезда региональных линий на многих участках курсируют по тем же путям, что и грузовые и пассажирские поезда дальнего следования, поэтому задержки в движении других поездов сказываются на регулярности региональных перевозок. На автомобильном транспорте уровень риска заметно различается в зависимости от категории и состояния дороги, наличия освещения, обустроенности остановочных пунктов. Эти факторы должны входить в модели прогнозирования как характеристики маршрута.

Таким образом, качество прогноза рисков определяется, прежде всего, полнотой и достоверностью исходных данных. Развитие электронных способов оформления проездных документов и систем самообслуживания на железнодорожном транспорте, а также внедрение безналичной оплаты проезда и систем спутникового мониторинга на автомобильном транспорте создают основу для получения детальных данных о пассажиропотоке и фактическом выполнении рейсов. Использовать эти данные для прогнозирования рисков можно при условии, что они собираются в сопоставимом формате и объединяются с данными о происшествиях, об отказах техники и погодных условиях. В связи с этим представляется целесообразным формирование единой базы данных о событиях, влияющих на выполнение региональных перевозок, в которую включались бы не только происшествия, но и инциденты без последствий, отмены и задержки рейсов, случаи переполнения подвижного состава. Учет таких событий позволяет выявлять неблагоприятные тенденции до того, как они приведут к серьезным последствиям, и существенно расширяет статистическую базу для малодеятельных маршрутов.

Государственная программа «Транспорт Беларуси» на 2026–2030 годы, утвержденная постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 29 декабря 2025 г. № 778, ставит задачу обеспечить эффективную и устойчивую работу транспортной системы и ее интеллектуализацию и включает подпрограммы «Железнодорожный транспорт» и «Автомобильный и городской пассажирский транспорт» [5]. Развитие интеллектуальных транспортных систем в рамках этих подпрограмм создает возможность перейти от периодической оценки рисков к их непрерывному мониторингу, при котором прогнозы автоматически обновляются по мере поступления новых данных.

Помимо вышеизложенного, прогнозирование рисков должно быть встроено в процесс планирования перевозок, а не существовать как отдельная аналитическая процедура. Результаты прогноза целесообразно использовать при формировании расписаний на летний и зимний периоды, при планировании обновления подвижного состава, при обосновании объемов бюджетного возмещения и при принятии решений об изменении маршрутной сети. В последнем случае оценка социального риска позволяет заранее определить, какие населенные пункты окажутся без регулярного сообщения, и предусмотреть альтернативные формы обслуживания, например перевозки по заказу. Следу-

ет отметить, что пассажирские перевозки в региональном сообщении в Республике Беларусь сочетают социальную значимость, выраженную неравномерность пассажиропотока, зависимость от бюджетного финансирования и неоднородность маршрутной сети. Эти свойства определяют как состав рисков, так и методы их прогнозирования.

Проведенный анализ позволяет сделать следующие выводы. Риски в региональном сообщении тесно взаимосвязаны, поэтому их прогнозирование должно учитывать причинно-следственные связи между рисками спроса, финансовыми, кадровыми рисками и рисками безопасности движения. Для малодеятельных маршрутов с ограниченной статистикой оправдано объединение маршрутов в однородные группы и применение иерархических моделей. Прогноз рисков необходимо строить с разбивкой по сезонам, а риски спроса на направлениях, где работают и железнодорожный, и автомобильный транспорт, – оценивать в рамках транспортного коридора в целом. Риски, связанные с изменением условий финансирования и регулирования, целесообразно оценивать с помощью вариантного прогнозирования. Наряду с экономическими последствиями в оценку должен включаться социальный риск снижения транспортной доступности населенных пунктов.

Предложенный подход, объединяющий модели временных рядов, вероятностную оценку редких событий, экспертное определение значимости рисков и матрицу рисков, может использоваться перевозчиками и местными органами управления для обоснования решений по организации региональных перевозок. Дальнейшее развитие подхода связано с формированием единой базы данных о событиях в работе регионального транспорта и с использованием данных интеллектуальных транспортных систем для непрерывного мониторинга рисков.

Список литературы

1 О транспорте : Закон Респ. Беларусь от 5 мая 1994 г. № 3266-XII : в ред. Закона Респ. Беларусь [актуальная ред.] // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: https://pravo.by (дата обращения: 27.09.2026).

2 О железнодорожном транспорте : Закон Респ. Беларусь от 6 янв. 1999 г. № 237-З : в ред. Закона Респ. Беларусь [актуальная ред.] // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: https://pravo.by (дата обращения: 27.09.2026).

3 Об автомобильном транспорте и автомобильных перевозках : Закон Респ. Беларусь от 14 авг. 2007 г. № 278-З : в ред. Закона Респ. Беларусь [актуальная ред.] // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: https://pravo.by (дата обращения: 27.09.2026).

4 Об утверждении Правил автомобильных перевозок пассажиров : постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 30 июня 2008 г. № 972 : в ред. [актуальная ред.] // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: https://pravo.by (дата обращения: 27.09.2026).

5 Государственная программа «Транспорт Беларуси» на 2026–2030 годы : постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 29 дек. 2025 г. № 778 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: https://pravo.by/document/?guid=3961&p0=C22500778 (дата обращения: 27.09.2026).

6 Региональные линии Белорусской железной дороги // Белорусская железная дорога. Пассажирские перевозки. – URL: https://pass.rw.by/ru/help/trains/message-types/regional-lines.html (дата обращения: 27.09.2026).

7 Пассажирские перевозки // Министерство транспорта и коммуникаций Республики Беларусь. – URL: https://-mintrans.gov.by (дата обращения: 27.09.2026).

УДК 656.214

ОСОБЕННОСТИ УЧЕТА ФАКТОРОВ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ И РИСКОВ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ПЕРЕВОЗОК В РЕГИОНАЛЬНОМ ПАССАЖИРСКОМ СООБЩЕНИИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ ТРАНСПОРТОМ

А. А. МИХАЛЬЧЕНКО
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Соотношение максимально возможного объёма убытка и объема собственных финансовых ресурсов инвестора при организации транспортной деятельности представляет собой степень риска, ведущего к банкротству транспортной организации. Она измеряется с помощью коэффициента риска.

Для снижения степени риска применяются различные приёмы. Наиболее распространенными являются диверсификация, приобретение дополнительной информации о выборе и результатах, лимитирование ресурсов, самострахование основных фондов, страхование, поручительство, залог, резервирование средств на покрытие непредвиденных расходов.

Диверсификация – процесс распределения инвестируемых средств между различными объектами вложения капитала в транспортные объекты, которые непосредственно не связаны между собой, с целью снижения степени риска и потерь доходов. Она позволяет избежать части риска при распределении капитала между разнообразными видами деятельности транспортного предприятия. Например, приобретение инвестором 15 электровозов вместо обновления тепловозного парка увеличивает вероятность получения транспортной организацией среднего дохода в три раза больше и соответственно снижает в три раза степень риска при выполнении перевозок грузов и пассажиров.

Информация при прогнозировании играет важную роль в риск-менеджменте. Менеджеру часто приходится принимать рисковые решения, когда результаты вложения капитала не определены и основаны на ограниченной информации. При более полной информации имеется возможность сделать более точный прогноз и снизить риск результативности транспортной деятельности. Это делает информацию очень ценным товаром. Владелец груза или инвестор готов заплатить за полную информацию. Стоимость полной информации рассчитывается как разница между ожидаемой стоимостью какого-либо приобретения или вложения капитала, когда имеется полная информация, и ожидаемой стоимостью, когда информация неполная.

Лимитирование – это установление лимита предельных сумм расходов, продажи транспортных услуг. Лимитирование является важным приемом снижения степени риска и применяется хозяйствующими субъектами на транспорте при продаже транспортных услуг в кредит, предоставлении займов, определении сумм вложения капитала при обеспечении перевозочного процесса.

Самострахование означает, что субъект хозяйствования на транспорте предпочитает подстраховаться сам, чем покупать страховку в страховой компании. Тем самым он экономит на затратах по страхованию. Самострахование представляет собой децентрализованную форму создания натуральных и денежных страховых (резервных) фондов непосредственно в хозяйствующем субъекте, особенно если деятельность которой подвержена риску.

Резервные денежные фонды при выполнении транспортной деятельности создаются на случай непредвиденных расходов: повышения цен на топливно-энергетические и трудовые ресурсы, использования транспортной инфраструктуры и подвижного состава. Наиболее важным и самым распространенным примером снижения степени риска является страхование риска.

Для уменьшения потерь от осуществления рисковых решений в прогнозировании разрабатываются противорисковые мероприятия.

Принятие решения о применении противорисковых мероприятий производится на основе сравнения потерь, вызванных наступлением рисковых событий, с затратами на реализацию прогнозируемых противорисковых мер. Такая процедура выполняется по каждому виду риска, имеющего наибольшую важность для транспортного предприятия.

Основные правила, снижающие риск при принятии управленческих решений по прогнозированию транспортной деятельности:

1 Структура портфеля заказов на перевозки грузов и пассажиров составляет треть, которая состоит из крупных, средних и небольших пользователей услуг железной дороги.

2 Номенклатура портфеля заказов на перевозки грузов – минимум 20 клиентов или 250 пассажиров.

3 «Правило пяти пальцев»:

1) минимальные потери при недостаточно качественном прогнозе перевозок;

2) достижение целей прогнозирования;

3) повышенный успех при выполнении перевозок;

4) необходимое развитие транспортной организации;

5) эффективное использование ресурсов на перевозки грузов и пассажиров.

Для учета факторов неопределенности и риска выполнения транспортной деятельности при оценке эффективности проекта используется вся имеющаяся информация об условиях его реализации в прогнозном периоде. При этом могут использоваться три метода: 1) проверка устойчивости; 2) корректировка параметров проекта и экономических нормативов; 3) формализованное описание неопределенности.

Проверка устойчивости предусматривает разработку вариантов реализации транспортного проекта в наиболее вероятных или наиболее «опасных» для каких-либо участников условиях. По каждому варианту исследуется транспортный объект в соответствующих экономических условиях реа-

лизации проекта, каковы будут при этом доходы, потери и показатели эффективности у отдельных участников, государства и населения. Неучет такой ситуации приводит к большим потерям транспортной организации. Имеется наглядный пример Белорусской железной дороги, специалисты которой положили главное направление перевозок в страны ЕС. Введение санкций привело к падению количества перевозок в значительных объемах, что привело к финансовым проблемам коллектива железной дороги и потери многих партнеров.

Следует отметить, что транспортный проект считается устойчивым и эффективным, если во всех рассмотренных ситуациях на продолжительный период прогнозирования интересы участников перевозочного процесса соблюдаются, а возможные неблагоприятные последствия устраняются за счет созданных запасов и резервов или возмещаются страховыми выплатами.

Степень устойчивости транспортного проекта по отношению к возможным изменениям условий реализации может быть охарактеризована показателями предельного уровня объёмов перевозок, тарифов и других параметров проекта.

Предельное значение основного параметра транспортного проекта для конкретного года его реализации определяется в году прогнозирования, при котором чистая прибыль участников перевозочного процесса становится нулевой. Одним из наиболее важных показателей этого типа является точка безубыточности, характеризующая объем транспортных услуг, при котором выручка от их реализации с издержками не будет отрицательной. Необходимым условием нахождения точки безубыточности транспортной деятельности является деление общих издержек на постоянные и переменные по принципу их зависимости от объёма перевозок.

Риски транспортной деятельности во многом зависят от себестоимости перевозок. При ее расчете в транспортной организации выполняется отнесение (группировка) расходов на следующие измерители: 1) эксплуатация транспортных средств: за использование вагонов – вагоно-часы, вагоно-километры; локомотивов – локомотиво-часы, локомотиво-километры; использование локомотивных бригад; 2) использование транспортной инфраструктуры: тонно-километры брутто вагонов и локомотивов; 3) расходы общие для всех отраслей хозяйства железной дороги; 4) управленческие расходы.

По характеру связи с объемом производства транспортных услуг затраты подразделяются следующим образом:

– переменные – величина отклоняется в сторону изменения объема транспортных услуг (затраты на оплату труда водительского и ремонтного персонала, топливо, шины, смазки, амортизацию транспортных средств);

– условно-постоянные – абсолютный размер не зависит от изменения объема производства и реализации транспортных услуг.

При выполнении транспортной деятельности организация – исполнитель перевозок должна учитывать следующие риски: капитальный, селективный, временной, законодательных изменений, инфляционный, процентный и отзывной. При наступлении любого из них наступает риск потерь для перевозчика при превышении фиксированного уровня тарифа на перевозки грузов и пассажиров. Возникает проблема оттока потребителей услуг железной дороги и финансового обеспечения работников железной дороги.

УДК 656.078:338.24(476)

ОСОБЕННОСТИ ТРАНСПОРТНОЙ ПОЛИТИКИ ГОСУДАРСТВА В УСЛОВИЯХ САНКЦИЙ И ОГРАНИЧЕНИЙ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК

А. А. МИХАЛЬЧЕНКО
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Н. Г. ЯННИС
Афинский технический университет, Греция

Пассажирский транспорт относится к отраслям, которые первыми ощущают внешние ограничения. Запрет на полеты в воздушном пространстве сопредельных государств, закрытие или сокраще-

ние работы пунктов пропуска на границе, ограничения на поставку подвижного состава, комплектующих и программного обеспечения сразу отражаются на маршрутной сети, расписании и стоимости перевозок. В отличие от грузовых перевозок, где часть потерь компенсируется переориентацией потоков, пассажирский сектор связан с повседневными потребностями населения и государство не может оставить эти потребности без ответа. Поэтому транспортная политика в условиях санкций приобретает особое содержание: она решает задачи не только развития, но и сохранения устойчивости перевозок.

Опыт Республики Беларусь показывает, что внешние ограничения затрагивают разные виды транспорта неодинаково. Наиболее остро они проявились в гражданской авиации, например с июня 2021 года для белорусских авиаперевозчиков были закрыты воздушное пространство и аэропорты Европейского союза, а национальная авиакомпания «Белавиа» до сентября 2025 года находилась под санкциями США, которые затрагивали обслуживание и обеспечение запасными частями парка воздушных судов западного производства [3, 4]. Снятие американских санкций с авиакомпании не восстановило автоматически прежнюю маршрутную сеть, поскольку ограничения Европейского союза продолжают действовать. На железнодорожном и автомобильном транспорте последствия выразились, прежде всего, в сокращении международного сообщения с соседними государствами Европейского союза, изменении режима работы пунктов пропуска и затруднениях с поставками, а также сервисным обслуживанием техники иностранного производства.

Анализ мер, принимаемых государством в этих условиях, позволяет выделить ряд особенностей транспортной политики, среди которых:

1) *смещение приоритета от развития к устойчивости.* Если в обычных условиях транспортная политика ориентирована на рост объемов перевозок и повышение их качества, то под действием ограничений на первый план выходит сохранение базового уровня транспортного обслуживания населения. Государство поддерживает социально значимые внутренние маршруты, в том числе убыточные, и рассматривает непрерывность перевозок как самостоятельную цель. Показательно, что Государственная программа «Транспорт Беларуси» на 2026–2030 годы называет среди своих целей эффективную и устойчивую работу транспортной системы [1];

2) *географическая переориентация международного пассажирского сообщения.* Сокращение связей с государствами Европейского союза компенсируется развитием маршрутов в Российскую Федерацию, страны Закавказья, Центральной Азии, Ближнего Востока и Юго-Восточной Азии. Для авиации это означает перестройку маршрутной сети в пределах доступного воздушного пространства, а для железнодорожного и автомобильного транспорта – усиление направлений в сторону Российской Федерации. Одновременно сохраняется значение наземного транзита, поскольку часть пассажиров, которые раньше пользовались прямыми авиарейсами в Европу, переходит на автобусные и комбинированные поездки через пункты пропуска на западной границе;

3) *импортозамещение подвижного состава и технического обслуживания.* Ограничения на поставку техники и запасных частей делают стратегически важной опору на отечественное производство. Республика Беларусь располагает собственной базой выпуска автобусов, троллейбусов, электробусов и отдельных видов железнодорожной техники, что позволяет обновлять парк без зависимости от западных поставщиков. Для подвижного состава и воздушных судов иностранного производства государство поддерживает освоение ремонта и выпуска комплектующих внутри страны и поиск альтернативных поставщиков, прежде всего, в Российской Федерации и Китайской Народной Республике;

4) *углубление интеграции в рамках Союзного государства и Евразийского экономического союза.* Совместная с Российской Федерацией кооперация в производстве транспортной техники, согласование правил перевозок и развитие интеллектуальных транспортных систем на пространстве ЕАЭС становятся для Беларуси способом частично компенсировать утраченные внешние связи. Примером служит утверждение в 2025 году плана мероприятий по реализации Концепции совершенствования взаимодействия интеллектуальных транспортных систем государств – членов ЕАЭС [1];

5) *усиление роли государственного регулирования и финансовой поддержки.* В условиях роста затрат на обслуживание и обновление парка перевозчики, особенно на социально значимых маршрутах, не могут поддерживать прежний уровень перевозок без бюджетного возмещения. Государство регулирует тарифы, определяет объем поддержки и перераспределяет ресурсы между видами

транспорта. Это повышает устойчивость системы в краткосрочной перспективе, но одновременно увеличивает нагрузку на бюджет и снижает стимулы перевозчиков к снижению издержек.

6) *цифровизация как ответ на технологические ограничения.* Прекращение поддержки ряда зарубежных программных продуктов и платежных сервисов подталкивает к развитию отечественных решений в продаже проездных документов, управлении движением и мониторинге подвижного состава. Программа Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь «Повышение качества 2026–2030» предусматривает, в частности, дальнейшую цифровизацию на Белорусской железной дороге, включая расширение способов приобретения проездных документов [2].

Вместе с тем транспортная политика в условиях санкций сталкивается с объективными ограничениями. Переориентация маршрутов увеличивает продолжительность и стоимость поездок для части пассажиров. Импортозамещение требует времени и инвестиций, а по ряду позиций, прежде всего, в гражданской авиации, полная замена иностранной техники в среднесрочной перспективе затруднена. Концентрация внешних связей на ограниченном круге партнеров создает новую зависимость, которую также необходимо учитывать при оценке рисков.

Таким образом, особенности транспортной политики государства в условиях санкций и ограничений при выполнении пассажирских перевозок состоят в приоритете устойчивости над развитием, географической переориентации международного сообщения, импортозамещении подвижного состава и обслуживания, углублении интеграции в рамках Союзного государства и ЕАЭС, усилении государственного регулирования и финансовой поддержки, а также в опережающей цифровизации. Эффективность такой политики определяется тем, насколько удается сохранить доступность перевозок для населения, не создавая чрезмерной нагрузки на бюджет, и насколько диверсифицированы новые внешние связи. Перспективным направлением представляется включение оценки рисков внешних ограничений в процесс планирования маршрутной сети, обновления подвижного состава и распределения государственной поддержки.

Список литературы

1 О Государственной программе «Транспорт Беларуси» на 2026–2030 годы : постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 29 дек. 2025 г. № 778 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: https://pravo.by/ document/? guid=12551&p0=C22500778 (дата обращения: 27.09.2026).

2 Программа «Повышение качества 2026–2030» // Министерство транспорта и коммуникаций Республики Беларусь. – URL: https://www.mintrans.gov.by/ru/press-tsentr/novosti/item/14865-mintransom-utverzhdena-pyatiletnyaya-programma-povyshenie-kachestva-2026-2030 (дата обращения: 27.09.2026).

3 США сняли санкции с «Белавиа» // БЕЛТА. – URL: https://belta.by/president/view/ssha-snjali-sanktsii-s-belavia-736730-2025/ (дата обращения: 27.09.2026).

4 Санкции против «Белавиа»: как лицензия OFAC меняет ситуацию для авиакомпании // Myfin.by. – URL: https://myfin.by/article/blogi/-sankcii-protiv-belavia-kak-licenzia-ofac-menaet-situaciu-dla-aviakompanii-40511 (дата обращения: 27.09.2026).

УДК 629.341:621.355

МАРШРУТНЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОБУСОВ НА АВТОБУСНЫХ МАРШРУТАХ

М. В. МОРОЗОВ, М. А. КИЛОЧИЦКАЯ
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Развитие электрического общественного транспорта является одним из направлений обновления пассажирского подвижного состава. Системная основа этого процесса заложена Комплексной программой развития электротранспорта на 2021–2025 годы, утвержденной постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 9 апреля 2021 г. № 213 [1] и направленной на создание новой области экономического роста, предусматривающей формирование производств грузового, пассажирского, специализированного и легкового электротранспорта, а также его компонентной базы. Программой предусмотрено создание общенациональной сети электрозарядных станций, а также комплекс мер по стимулированию развития электротранспорта, включая налоговые льготы для юридических и физических лиц. Так, в 2025 г. транспортными организациями Республики Беларусь

было приобретено более 800 единиц городской пассажирской техники, в том числе 51 электробус. Одновременно рассматривается возможность организации пригородных и междугородных перевозок пассажиров электробусами, в частности прорабатываются варианты движения между Минском и городами-спутниками Фаниполем и Смолевичами, что свидетельствует о постепенном расширении области применения электрического подвижного состава.

В отличие от оценки электротранспорта в целом, предлагается использовать маршрутный подход, предполагающий рассмотрение каждого маршрута как самостоятельного объекта оценки, обладающего уникальным набором характеристик: протяженностью, пассажиропотоком, режимом работы, возможностями зарядки и требуемой вместимостью. Концептуально такой подход опирается на принцип соответствия технических возможностей подвижного состава условиям его эксплуатации, что позволяет перейти от общих рекомендаций к конкретным управленческим решениям и определить, на каких именно маршрутах применение электробусов даст наибольший эффект. Ключевое противоречие при этом заключается в необходимости сочетать преимущества электрического транспорта с существующими техническими, эксплуатационными и экономическими условиями работы маршрута, поэтому вопрос должен состоять не только в выборе между автобусом и электробусом, а в определении маршрутов, на которых электрический подвижной состав сможет эффективно выполнять транспортную работу.

Одним из основных факторов является режим эксплуатации, поскольку для каждого маршрута необходимо учитывать суточный пробег, продолжительность нахождения автобуса на линии, количество выполняемых рейсов и возможность проведения зарядки. Чем продолжительнее работа транспортного средства без возвращения в парк или места зарядки, тем выше требования к запасу хода и организации зарядной инфраструктуры, а значит, характеристики маршрута непосредственно влияют на возможность использования электробуса. Другим важным фактором является пассажиропоток, поскольку вместимость электробуса должна соответствовать объему перевозок: использование транспортного средства большой вместимости на маршруте с низким спросом может привести к неполному использованию его возможностей, тогда как на маршрутах с устойчивым высоким пассажиропотоком применение электробуса подходящей вместимости позволяет обеспечить значительный объем перевозок при соответствующей организации движения.

При оценке целесообразности необходимо учитывать и экономическую составляющую. Сравнение автобуса с электробусом только по первоначальной стоимости не позволяет получить объективный результат, поэтому следует учитывать затраты на энергию, техническое обслуживание, зарядную инфраструктуру, замену аккумуляторных батарей и эксплуатацию транспортного средства в течение всего срока службы, а также влияние режима движения и протяженности маршрута на расход энергии.

Особое значение имеет зарядная инфраструктура. Возможность установки зарядных устройств зависит от расположения конечных остановочных пунктов, территории транспортного предприятия, доступной электрической мощности и режима работы маршрута, и при отсутствии возможности организовать необходимую зарядку преимущества электробуса могут быть снижены из-за дополнительных организационных ограничений. В связи с этим предлагается оценивать возможность применения электробусов по каждому маршруту отдельно, используя в качестве основных показателей суточный и рейсовый пробег, продолжительность работы на линии, пассажиропоток, требуемую вместимость, возможность зарядки и совокупные эксплуатационные затраты, а также учитывая резерв подвижного состава и возможность оперативной замены электробуса в случае необходимости.

Результатом такой оценки должна быть не формулировка о том, что электробусы в целом являются более или менее эффективными по сравнению с традиционными автобусами, а определение групп маршрутов, для которых условия эксплуатации соответствуют возможностям электрического подвижного состава. Например, перспективными могут быть маршруты с устойчивым пассажиропотоком, предсказуемым суточным пробегом и возможностью организовать зарядку без существенного изменения режима работы. Для пригородных и междугородных маршрутов требования становятся более сложными, поскольку большая протяженность рейса и продолжительное время работы на линии увеличивают значение запаса хода и организации зарядки, поэтому решение о применении электробусов на таких направлениях требует отдельной оценки фактического режима движения и технических возможностей выбранной модели.

Переход на электробусы следует рассматривать не только как обновление подвижного состава, но и как задачу адаптации транспортной системы к особенностям электрической техники. Маршрутный подход позволяет учитывать реальные условия эксплуатации и избежать одинакового решения для транспортных направлений с различными характеристиками. Целесообразность применения электробусов должна определяться совокупностью технических, эксплуатационных и экономических показателей, а использование такого подхода позволит выявить маршруты, на которых электрический транспорт способен обеспечить требуемый уровень перевозок, и одновременно определить направления, где его применение требует дополнительных организационных или инфраструктурных мероприятий.

Список литературы

1 О Комплексной программе развития электротранспорта на 2021–2025 годы : постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 9 апр. 2021 г. № 213. // Национальный Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C22100213 (дата обращения: 09.09.2026).

УДК 656.2

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО И МОРСКОГО ТРАНСПОРТА В КОНТЕЙНЕРНОЙ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ

Г. И. НИКИФОРОВА
Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Российская Федерация

Функционирование современной системы железнодорожных грузовых перевозок обусловлено влиянием ряда значимых факторов. К основным можно отнести усложнение системы появлением операторских компаний железнодорожного подвижного состава и включенность железнодорожных грузовых перевозок в логистические системы доставки грузов. Это особенно ярко выражено на стыках взаимодействия железнодорожного и морского видов транспорта [1]. В связи с этим исследование логистической цепи доставки грузов, определение ее свойств, параметрическое и символическое описание представляется актуальной задачей. Общая схема взаимодействия участников в логистической цепи представлена на рисунке 1 [2].

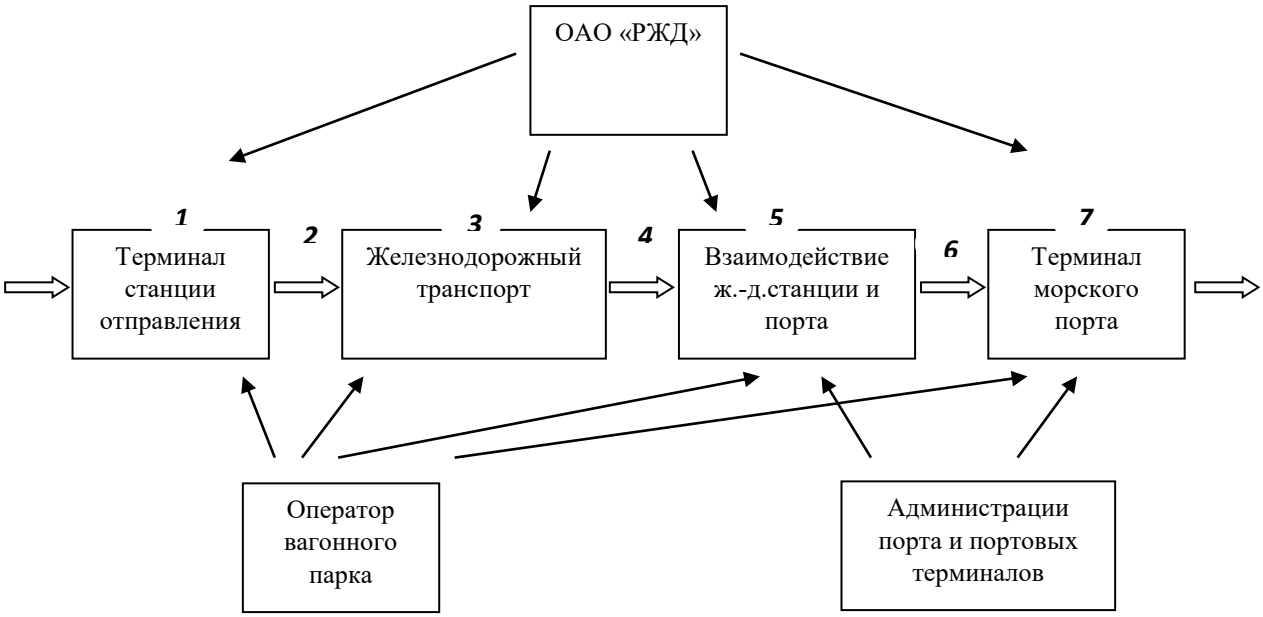


Рисунок 1 – Общая схема взаимодействия участников в логистической цепи

Логистические системы с участием железнодорожного транспорта можно отнести к макрологистическим по назначению, а по объектно-функциональным признакам – к отраслевым или межотраслевым в случае взаимодействия с морским транспортом, например. Ряд ученых в своих работах исследовали классификацию, свойства и элементы логистических систем [3]. Ими выделялись основные элементы по назначению: входной, перерабатывающий, накопительный, транспортный выходной. Каждый элемент обладает функциональными характеристиками. То есть любой физический объект логистической системы может быть описан как тот или иной функциональный элемент. Несмотря на различия функционирования различных видов транспорта, для каждого из них будет характерна основная функция транспортировки. Так же и для всех логистических систем общим условием будет наличие элементов накопления и транспортировки, связанных между собой материальными и информационными потоками. Действительно, любой логистический процесс начинается и заканчивается накопительным элементом – это склад или терминал. Для доставки грузопотока используется транспортный элемент для перемещения груза в пространстве. То есть общими для любой логистической системы будут базовые свойства накопительного и транспортного элементов [4].

Анализ классификации логистических систем их функциональной наполненности приводит к идее перехода от классификации физических объектов логистической системы как того или иного функционального элемента к построению модели логистической системы на основе модульного принципа. Модульный принцип построения, сформулированный автором, заключается в архитектуре логистической системы из стандартизированных по основным функциональным признакам элементов / единиц системы, называемых модулями. Модуль – это выделенный стандартизированный по основным, важным для целей моделирования, функциональным признакам элемент системы. Логистический модуль – это элемент логистической системы, включающий в себя набор функций для выполнения ряда задач, например транспортировки, хранения и переработки потоков. Логистический модуль может функционально подразделяться на складской (терминальный) и транспортный. Тогда складской (терминальный) логистический модуль будет предназначен для зарождения, погашения и переработки потоков, а транспортный логистический модуль – для перемещения материальных потоков. Следует также отдельно выделить транспортно-складской логистический модуль (далее – ТСЛМ) как объект транспортной инфраструктуры, обладающий свойствами складского и транспортного модулей. Логистические модули можно использовать в различных комбинациях, следовательно, любую логистическую цепь можно представить как систему логистических модулей в виде дескриптивной модели. Такое моделирование логистической системы позволит упростить математическое описание каждого модуля и оптимизировать его функции. Стык взаимодействия железнодорожного и морского транспорта является ТСЛМ, поскольку обладает характеристиками транспортировки и складирования.

Интересным представляется применение в исследовании логистического модуля методов теории управления качеством. Такие методы в первую очередь направлены на повышение качества функционирования исследуемого объекта. Таким образом, исследование взаимодействия железнодорожного и морского транспорта можно представить как исследование качества функционирования логистического модуля. Рассмотрим подробнее метод развертывания функций качества (Quality Function Deployment, далее – QFD) применительно к транспортной услуге в логистическом модуле. Основой метода является оценка удовлетворенности потребителя товаром/услугой, которые предлагает исследуемый объект [5–7]. Применение данного метода для услуги, а в особенности для такого комплексного понятия, как транспортная услуга в логистической системе, встречается редко.

Рассмотрим возможность использования метода развертывания функций качества применительно к логистическому модулю, а именно к ТСЛМ железнодорожного и морского видов транспорта. Для этого необходимо проанализировать реализацию логистических принципов при использовании этих методов [8]. Анализ представлен в таблице 1.

Таблица 1 – **Анализ реализации логистических принципов при применении метода QFD для ТСЛМ**

Логистический принцип	Реализация при применении QFD для логистического модуля
1-й принцип – системное построение логистики с выделением цели системы, элементов и структуры, взаимодействие с внешними факторами	Да, модуль логистической системы рассматривается как подсистема с целью, структурой и элементами, проводится анализ результата деятельности и достижения поставленной ранее цели
2-й принцип – учет потребностей рынка	Да, метод характеризуется ориентацией на потребителя
3-й принцип – комплексный, характеризующийся доставкой необходимого товара в нужном количестве в необходимое для потребителя время и место. При этом товар должен быть требуемого качества и состояния и по согласованной цене	Да, это согласовывается с понятием логистического модуля
4-й принцип – подразумевает преимущество распределения товаров над их производством или принцип приоритета потребителя	Да, логистический модуль настраивается исходя из запросов потребителей
5-й принцип – выбор оптимального уровня обслуживания клиентов	Да, необходимо найти баланс между уровнем обслуживания, эксплуатационными параметрами и расходами
6-й принцип – состоит в том, что анализ логистической цепи следует начинать с конечного звена процесса	Да, т. к. этот принцип следует из второго, т. е. учета потребностей рынка и ориентации на потребителя
7-й принцип – при проектировании или совершенствовании какого-то звена логистической цепи необходимо рассматривать всю систему	Да, совершенствование функционирования отдельного модуля влияет на всю логистическую цепь и может быть исследовано отдельно либо сам модуль рассматривается как логистическая система
8-й принцип – предусматривает расчет и учет стоимости каждой логистической операции для технико-экономического обоснования решений по организации грузопотока	Да, такая возможность предусмотрена
9-й принцип – предлагает выбирать логистическую систему на основании сравнения их технических и экономических показателей	Да, при дальнейшем исследовании можно будет сравнивать конкурентные свойства логистических модулей при проектировании логистической системы
10-й принцип – предполагает принятие решений в соответствии со стратегией предприятия	Да, в зависимости от субъекта (грузоотправитель, администрации портов, терминалов, железнодорожных структурных объектов)
11-й принцип – предполагает использование наиболее полной информации о всех объектах и субъектах логистической системы, внешних факторах и ресурсах	Да, в соответствии с целью исследования
12-й принцип – предусматривает создание и поддержку деловых и партнерских отношений с другими предприятиями – субъектами логистической системы	Да, метод предполагает объективную оценку и корреляцию между конфликтными параметрами

Автором предлагается построение матрицы QFD, которая визуально напоминает дом и в литературе часто упоминается как «дом качества». В настоящем исследовании матрицу QFD можно назвать «домом логистических преимуществ» (далее – ДЛП). Учитывая вышесказанное, задача выявления логистических преимуществ может иметь следующую формулировку: грузовладелец выдвигает ряд требований для доставки своего груза (партии контейнеров) прибывающего морским транспортом в порт и дальнейшей доставки контейнеров с использованием железнодорожного транспорта, или, в другой формулировке, грузовладелец выбирает порт и обслуживающую этот порт железнодорожную станцию (модуль ТСЛМ) в соответствии со своими требованиями, среди которых

1) определение технических и технологических параметров исследуемого ТСЛМ;

2) исследование корреляции требований грузовладельца и параметров ТСЛМ;

3) оценка параметров аналогичного процесса в других ТСЛМ;

4) оценка полученных результатов и развития целей;

5) установка технологических и технических параметров исследуемого ТСЛМ, подлежащих совершенствованию.

Пример построения матрицы ДЛП представлен на рисунке 2.

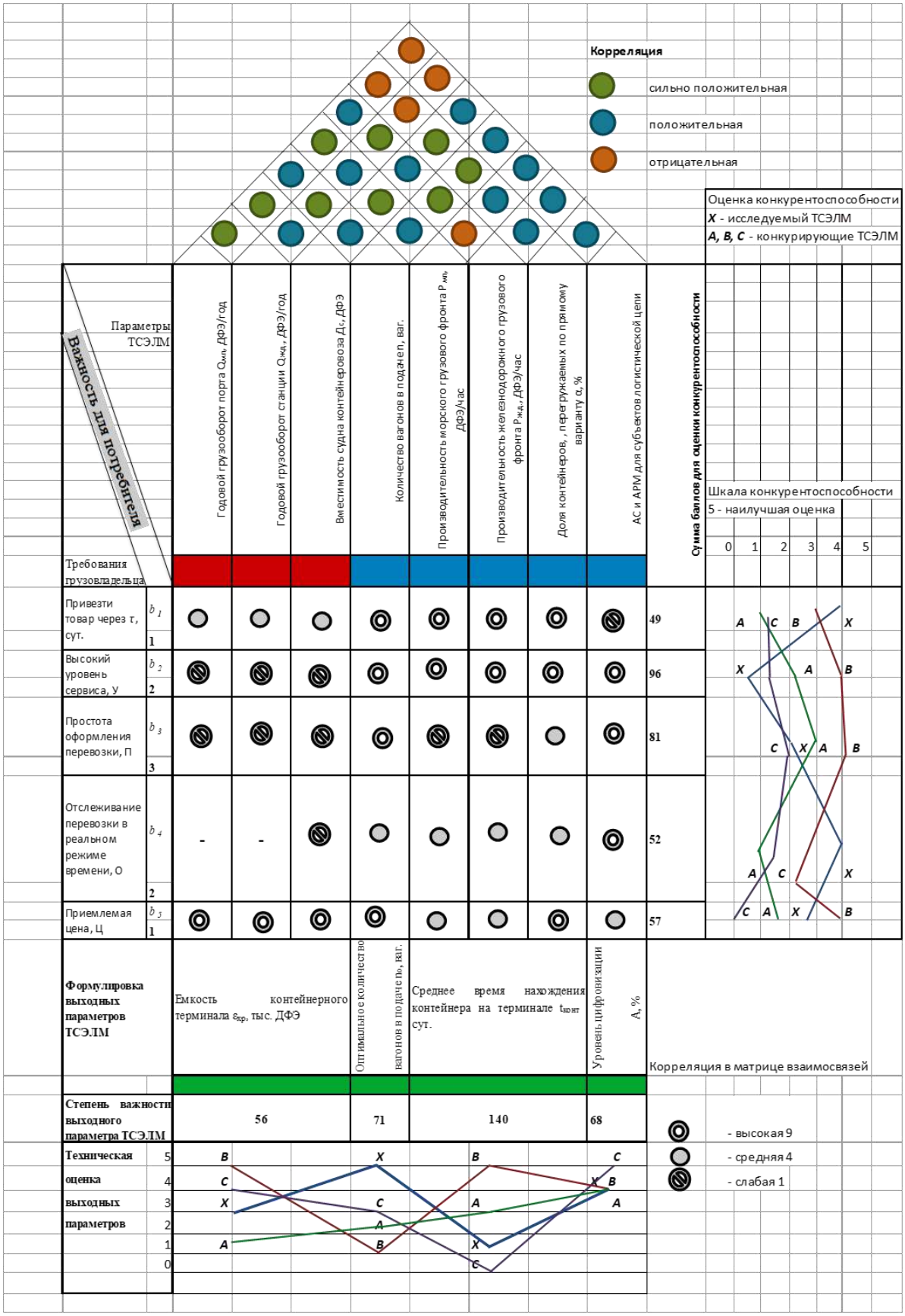


Рисунок 2 – Пример расчета ДЛП для логистического модуля ТСЛМ

Преимуществом данного метода является возможность подсчета уровня конкурентоспособности по каждому требованию грузовладельца. Баллы по каждому требованию подсчитаны в последнем столбце и их следует сравнить с соответствующими баллами других конкурирующих ТСЛМ. С одной стороны, грузовладелец может совершить обоснованный выбор ТСЛМ в соответствии со своими требованиями, с другой – метод позволяет оценить ряд технических и технологических параметров ТСЛМ.

Список литературы

1 Возможные направления развития национальной морской контейнерной транспортно-логистической системы / А. Л. Кузнецов, И. А. Радченко, А. В. Кириченко, А. Н. Ситов // Транспортное дело России. – 2025. – № 3. – С. 148–150. – EDN: https://elibrary.ru/YNLBZY.

2 **Никифорова, Г. И.** Построение дескриптивной модели логистической цепи доставки грузов при взаимодействии железнодорожного и морского транспорта / Г. И. Никифорова // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2020. – Т. 17, № 4. – С. 545–551. – DOI: 10.20295/1815-588X-2020-4-545-551. – EDN MMSOUE.

3 Транспортная логистика / А. Н. Рахмангулов, С. В. Трофимов, С. Е. Гавришев, А. М. Макаров. – Магнитогорск : Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова, 2000. – 372 с.

4 **Рахмангулов, А. Н.** Уровневое представление железнодорожных транспортно-технологических систем / А. Н. Рахмангулов, И. О. Михеева // Сборник научных трудов SWorld. – 2013. – Т. 1, № 4. – С. 38–44. – EDN PZETIA.

5 **Салимова, Т. А.** Управление качеством : учеб. по специальности «Менеджмент организации» / Т. А. Салимова. – 5-е изд., стер. – М. : Высшая школа менеджмента, 2011. – 416 с.

6 **Никифорова, Г. И.** Качество транспортной услуги / Г. И. Никифорова, О. П. Кизляк // Проблемы безопасности на транспорте : материалы XIII Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. Году качества, Гомель, 21–22 нояб. 2024 г. : в 2 ч. Ч. 1. – Гомель : БелГУТ, 2024. – С. 52–54. – EDN JUYBDL.

7 **Никифорова, Г. И.** Анализ качества транспортно-логистического обслуживания в современных условиях / Г. И. Никифорова // Транспорт и информационные технологии. – 2025. – Т. 15, № 3. – С. 167–181. – DOI 10.12731/3033-5965-2025-15-3-392. – EDN LEDGDI.

8 **Маликов, О. Б.** Деловая логистика / О. Б. Маликов. – СПб. : Политехника, 2003. – 223 с.

УДК 625.1

МЕРОПРИЯТИЯ ПО ПРЕДУПРЕЖДЕНИЮ ОТКАЗОВ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ РЕЛЬСОВЫХ СКРЕПЛЕНИЙ НА ЛИНИЯХ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ДВИЖЕНИЯ

Н. Р. НОСОВ, Е. Н. ГРИНЬ
Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва

В настоящее время идет строительство высокоскоростной железнодорожной магистрали Москва – Санкт-Петербург (далее – ВСМ), находящейся на Октябрьской железной дороге.

В рамках испытаний высокоскоростного подвижного состава ЭРС-360 и проведения подконтрольной эксплуатации будет построен перегон Крюково – Новая Тверь, начало испытаний запланировано на 2027 г. Прогнозируемая грузонапряженность на ВСМ от 15,67–20 млн т·км брутто/км в год, 4 поезда в час, вес поезда 576 т.

Для проведения комплексных испытаний земляного полотна и элементов верхнего строения пути для ВСМ был построен полигон с безбалластной конструкцией пути (далее – БВСП), испытываемый на скоростях до 250 км/ч поезда «Сапсан» (рисунок 1).

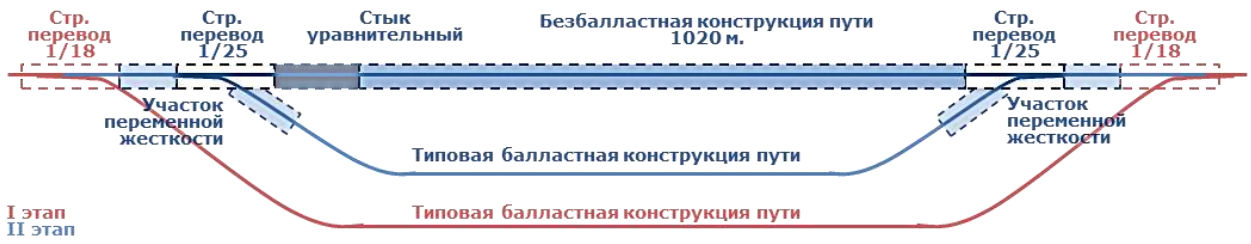


Рисунок 1 – Испытания на полигоне Саблино – Тосно

На полигоне располагаются два типа промежуточных рельсовых скреплений: ЖБР-400 и ИЦВ 5 (далее – скрепления). Данные типы скрепления (рисунок 2) характеризуются как нераздельные шурупно-дюбельные, с нормативной вертикальной статической жесткостью от 30 до 50 кН [1].

Данные скрепления прошли цикл постановки на производство [2, 3], а также полный комплекс лабораторных испытаний с подтверждением их безопасности [4–6].

а) *б*)

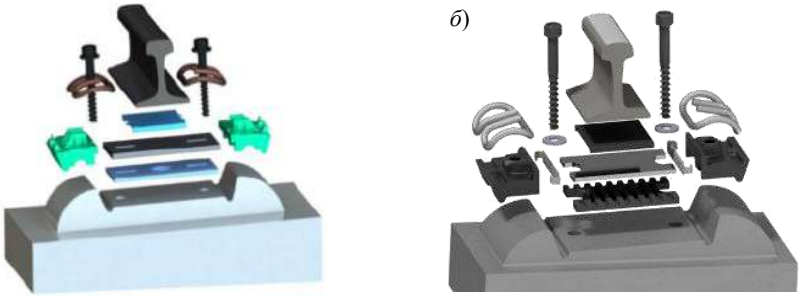


Рисунок 2 – Узлы скрепления на ВСМ: *а* – ИЦВ 5; *б* – ЖБР-400

Сегодня не существует требований для скреплений и их составных элементов, применяемых на ВСМ. Для подтверждения безопасности и проведения сертификационных испытаний требуется разработка обоснований безопасности, где описываются и обосновываются несоответствующие показатели по действующим нормативным документам [1].

В соответствии с первой редакцией проекта ГОСТ «Дюбель путевой. Общие технические условия», дюбеля являются закладными деталями для железобетонного подрельсового основания и обеспечивают прикрепление к нему рельсов и иных деталей путевой инфраструктуры.

Плиты БВСП на испытательном полигоне отличаются между собой типом применяемого закладного элемента. На полигоне используются дюбеля ДГТ (разработанные АО «ИЦ ЖТ»), Sdu (разработанные компанией Vossloh) и ЦП 369.707 (разработанные ПКТБ – филиалом ОАО «РЖД») (рисунок 3).

а)

б)

в)



Рисунок 3 – Применяемые дюбеля на полигоне: *а* – ДГТ; *б* – Sdu; *в* – ЦП 369.707

При вводе полигона в опытную эксплуатацию начали появляться локальные места с отказом дюбеля, а именно разрушение тела дюбеля (нарезание новой резьбы), что может приводить либо к заклиниванию шурупа, либо к не нормативному прижатию клеммы к подошве рельса.

Для проведения замены дюбелей используются специальные остнастки для извлечения негодных закладных элементов из тела плиты (рисунок 4). На сегодняшний момент нет технологического процесса замены дюбелей из подрельсового основания.

а) *б*)

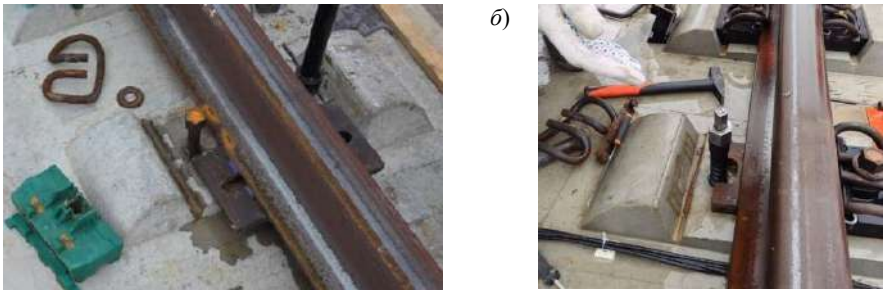


Рисунок 4 – Замена негодных дюбелей на подрельсовых площадках из тела плиты: *а* – ИЦВ 5; *б* – ЖБР-400

Также на полигоне наблюдается превышение момента затяжки в узлах, что также может влиять на отказ дюбеля. Произведена выборка по моменту затяжки узлов скреплений, Н·м, (таблица 1).

Таблица 1 – **Замеры моментов затяжки на некоторых скреплениях**

Номер узла	ИЦВ 5 (нормативный 225 Н·м)	ЖБР-400 (нормативный 250 Н·м)
1	270	330
2	300	270
3	295	300

При закручивании шурупа в тело дюбеля использовался клемно-шурупный гайковерт (далее – КШГ) без ограничителя момента затяжки, из-за чего при обследовании момента затяжки на узлах скрепления был превышен момент затяжки.

В статье [7] говорится, что при превышении допустимого момента затяжки основной тип разрушения – изгиб стенки дюбеля и растрескивание. Если есть несовпадение резьбы (шаг, профиль, допуски), то из-за локальных пиков напряжений будет ускоряться процесс излома дюбеля.

Для увеличения производительности приведения узла скрепления в рабочее положение на полигоне использовался КШГ ГП1000 (рисунок 5).



Рисунок 5 – Закручивание шурупов гайковертом путевым ГП1000

Данный гайковерт используется при текущем содержании и ремонте железнодорожного пути, сборке и разборке рельсошпальных решеток. При его использовании на БВСП наблюдается максимально крутящий момент 1000 Н·м, что без его ограничения может приводить к накоплению напряжений в теле дюбеля с последующим его отказом.

Для поставки дюбелей для укладки в путь они проходят приемо-сдаточные, периодические и типовые испытания по техническим условиям на предприятии-изготовителе или в аккредитованной лаборатории с целью подтверждения их качества [8].

По [9] проведены испытания элементов БВСП с форсированными нагрузками при нормативном моменте затяжки шурупов и соблюдении всех правил монтажа, отказы дюбелей не зафиксированы.

Данные испытания подтверждают надежность дюбелей для применения в плитах БВСП.

Для минимизации отказа дюбелей до подконтрольной эксплуатации требуется:

– использовать при монтаже КШГ с манометром и ограничителем момента затяжки;

– до закручивания на нормативный момент затяжки производить накручивание шурупов на полвитка в тело дюбеля;

– рассмотреть возможность унификации закладного элемента на плитах БВСП.

– разработать технологический процесс замены дюбелей в плитах БВСП.

Список литературы

1 СТО РЖД 14.004-2025. Инфраструктура высокоскоростного железнодорожного транспорта. Технические нормы и требования к проектированию и строительству : утв. и введен в действие Распоряжением ОАО «РЖД» от 04.04.2025 N 747/р // Консультант Плюс. Россия : справ. правовая система (дата обращения: 11.09.2026).

2 ГОСТ 33477-2015. Система разработки и постановки продукции на производство. Технические средства железнодорожной инфраструктуры. Порядок разработки, постановки на производство и допуска к применению. – Введ. 01.03.2021. – М. : Стандартинформ, 2020. – 11 с.

3 Об утверждении Регламента взаимодействия подразделений ОАО «РЖД» при постановке на производство элементов верхнего строения железнодорожного пути : распоряжение ОАО «РЖД» от 02.09.2020 № 1884/р. – URL: https://urizdat.ru/books/zheleznodorozhnyy-transport/put-i-putevoe-hozyaystvo-cp-cdrp/reglament-vzaimodeystviya-podrazdeleniy-oao-rzhd-pri-postanovke-na-proizvodstvo-elementov-verhnego-stroeniya-zheleznodorozhnogo-puti-utverzhden-rasporyazheniem-oao-rzhd-ot-02-09-2020-1884-r.html (дата обращения: 11.09.2026).

4 ГОСТ 32698-2014. Скрепление рельсовое промежуточное железнодорожного пути. Требования безопасности и методы контроля. – Введ. 01.03.2015. – М. : Стандартинформ, 2015. – 10 с.

5 ГОСТ 34078-2017. Прокладки рельсовых скреплений железнодорожного пути. Технические условия. – Введ. 01.01.2018. – М. : Стандартинформ, 2017. – 26 с.

6 ГОСТ 33186-2014. Клеммы пружинные прутковые для крепления рельсов. Технические условия. – Введ. 01.07.2015. – М. : Стандартинформ, 2015. – 5 с.

7 Pull out and pre-tightening force tests for plastic dowel of the railway sleeper considering the influence of installing torque and frost force / Wei Chen, Zhou Wu, Zhihui Zhu [et al.] // Construction and Building Materials. – 2021. – № 267. – URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061820329536 (date of access: 11.09.2026). – DOI: 10.1016/j.-conbuildmat.2020.120948.

8 ГОСТ 34008-2016. Железнодорожная техника. Правила подготовки обоснования безопасности. – Введ. 01.08.2017. – М. : Стандартинформ, 2017. – 15 с.

9 Технический отчет по результатам стендовых циклических (эксплуатационных) испытаний промежуточных рельсовых скреплений ЖБР-40 и ИЦВ 5 на рельсовой плите для ВСМ в составе фрагмента БВСП с рекомендациями по совершенствованию конструкции скреплений : отчет о НИР / АО «ВНИКТИ». – Коломна, 2026. – 99 с

УДК 656.08:656.132

ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК НА ОСНОВЕ ТОПОГРАФИЧЕСКОГО АНАЛИЗА АВАРИЙНОСТИ

А. С. СЕМЧЕНКО
КУП «Брестский общественный транспорт», Республика Беларусь

М. А. КИЛОЧИЦКАЯ
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Безопасность пассажирских перевозок является одним из ключевых условий устойчивого функционирования транспортной системы и важнейшим элементом социальной политики государства. В Республике Беларусь в 2023–2025 гг. сохранялась сложная динамика аварийности: согласно данным Национального статистического комитета Республики Беларусь [1] после роста числа ДТП в 2024 г. на 8,8 % в 2025 г. отмечено снижение лишь на 5,5 %, при этом уровень травматизма остается выше показателей 2023 г. Наиболее аварийно-опасным регионом страны является Минская область (рисунок 1), где в 2025 г. зафиксировано 742 ДТП.

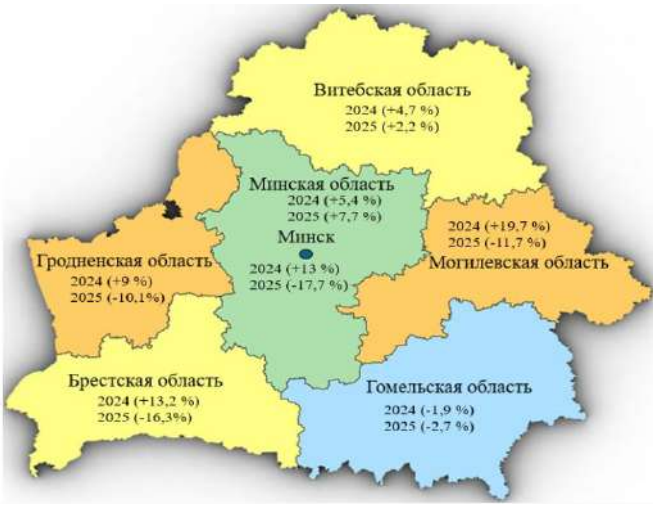


Рисунок 1 – Региональная динамика изменения количества дорожно-транспортных происшествий в Республике Беларусь за 2023–2025 гг.

Особую роль в обеспечении безопасности несут крупные транспортные предприятия, эксплуатирующие подвижной состав на регулярных маршрутах, поскольку от их работы напрямую зависят жизнь и здоровье пассажиров. Для обоснования мероприятий по повышению безопасности пассажирских перевозок на основе топографического анализа аварийности и оценки эффективности инженерных решений объектом исследования было выбрано ОАО «Брестоблавтотранс» – предприятие с более чем 70-летней историей, девятью филиалами и развитой маршрутной сетью, охватывающей практически всю территорию Брестской области. В состав предприятия входят автовокзал г. Бреста, восемь автомобильных парков (г. Береза, Каменец, Лунинец, Пружаны, Столин, Ивацевичи, Дрогичин, Кобрин), а также три зависимых акционерных общества (ОАО «Грузовой автомобильный парк № 4», ОАО «Автобусный парк г. Барановичи», ОАО «Пинский автобусный парк»). Предприятие выполняет широкий спектр услуг: пассажирские и грузовые перевозки, включая международные, государственный технический осмотр, техническое обслуживание и ремонт транспортных средств, предрейсовый технический и медицинский контроль и др. Анализ возрастной структуры автобусного парка (рисунок 2) выявил высокую степень износа подвижного состава. Доля транспортных средств, выпущенных более 10 лет назад, со-

ставляет от 41,8 % (филиал «Автомобильный парк № 16 г. Кобрина») до 64,9 % (филиалы «Автомобильный парк № 8 г. Береза» и «Автомобильный парк № 10 г. Лунинца»).

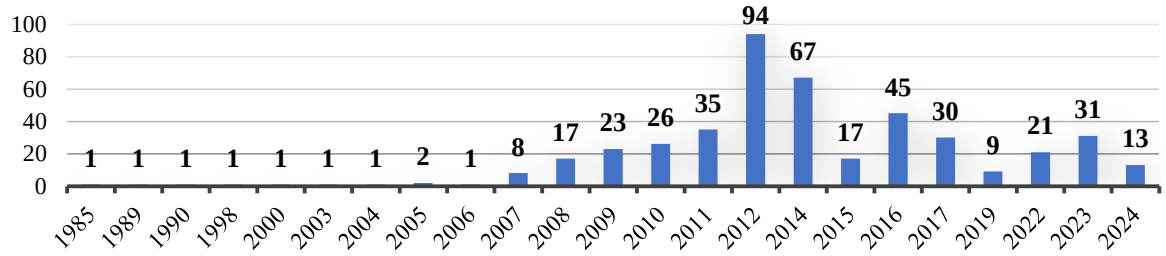


Рисунок 2 – Возрастная структура транспортных средств филиалов ОАО «Брестоблавтотранс»

За период 2023–2025 гг. наблюдается устойчивая негативная тенденция роста аварийности с участием транспорта предприятия: количество ДТП возросло с 10 случаев в 2023 году до 35 случаев в 2025 году. В 2024 году зафиксировано 25 ДТП, что более чем в два раза превышает уровень 2023 года. Рост продолжился в 2025 году – еще на 36 %. Наиболее неблагополучным филиалом по совокупности показателей признан «Автомобильный парк № 10 г. Лунинца», вторым по уровню аварийности – филиал «Автовокзал г. Бреста», который на протяжении всех анализируемых лет входит в число лидеров по количеству нарушений ПДД.

Анализ нарушений по видам показал, что преобладающим является нарушение скоростного режима, фиксируемое приборами фотофиксации: в 2024 году – 239 нарушений, в 2025 году – 238. Среди нарушителей преобладают водители грузовых автомобилей (72,3 %), на втором месте – водители автобусов (22,3 %).

Для выявления мест концентрации происшествий на маршрутах регулярных пассажирских перевозок применен топографический метод, включающий очаговый анализ. Очаг аварийности – место концентрации не менее трех ДТП в год (суммарно с пострадавшими и материальным ущербом). Приведенное число ДТП, прив. ДТП/год, рассчитывалось по формуле

$$n_a'' = n_{ам}K_{пам} + n_{ар}K_{пар} + n_{ас}K_{пас},$$

где $n_{ам}$, $n_{ар}$, $n_{ас}$ – число ДТП в год соответственно с материальным ущербом, с ранением и со смертельным исходом; $K_{пам}$, $K_{пар}$, $K_{пас}$ – коэффициент приведения ДТП соответственно с материальным ущербом, с ранением и со смертельным исходом, $K_{пам} = 1$, $K_{пар} = 2{,}5$, $K_{пас} = 75$.

По суммарной тяжести последствий очаги подразделяются на лёгкие ($3 \le n_a'' \le 10$), средние ($10 \le n_a'' \le 100$) и тяжелые ($n_a'' \ge 100$).

Наивысшие показатели приведенного числа ДТП зафиксированы в г. Лунинце (84,5 прив. ДТП/год) и г. Бресте (76 прив. ДТП/год), что относит данные очаги к категории средней тяжести. В г. Кобрине показатель составил 10,5 прив. ДТП/год, в г. Пинске – 8,5, в г. Барановичи – 25, в г. Дрогичине – 3, в г. Ивацевичи – 2,5 (рисунок 3).



Рисунок 3 – Очаговый анализ филиалов ОАО «Брестоблавтотранс»

В качестве объекта детального исследования выбран нерегулируемый перекресток улиц Красногвардейская и Карасева в г. Бресте, где зафиксированы три ДТП. Данный перекресток имеет главную дорогу (ул. Красногвардейская, входы *A* и *C*) и второстепенную (ул. Карасева, входы *B* и *D*). На каждом входе – по одной полосе движения в каждом направлении шириной 3,5 м.

В ходе натурного обследования выявлен комплекс недостатков, влияющих на безопасность пассажирских перевозок:

– на второстепенных входах *B* и *D* состояние покрытия неудовлетворительное, имеются трещины, бордюры имеют сколы и находятся в разных уровнях по отношению к проезжей части;

– тротуары на входе *B* отсутствуют, на входе *D* с левой стороны также отсутствуют;

– обзорность дорожных знаков на отдельных подходах снижена из-за ветвей деревьев;

– освещенность в темное время суток недостаточна;

– треугольники боковой видимости «транспорт – транспорт» и «транспорт – пешеход» не соблюдаются из-за близко расположенной застройки.

Интенсивность движения транспорта в час пик через вход *A* составляет 252 авт./ч, через вход *C* – 262,8 авт./ч, через второстепенные входы *B* и *D* – 43,2 и 64,8 авт./ч соответственно. Интенсивность пешеходных потоков в час пик достигает 117,1 чел./ч на входе *A* и 121 чел./ч на входе *D*. Значительную часть пешеходов составляют дети и подростки, поскольку в непосредственной близости расположена школа № 16.

По результатам анализа фабул ДТП установлено, что происшествия возникали из-за несоблюдения водителями безопасной дистанции, нарушения скоростного режима и недостаточного контроля дорожной обстановки при подъезде к пешеходному переходу. Дополнительным фактором риска является неосторожное поведение пешеходов: использование мобильных телефонов при переходе, пересечение дороги по диагонали, внезапный выход на переход без оценки дорожной обстановки.

На основании выявленных факторов риска разработан комплекс инженерно-технических мероприятий по повышению безопасности пассажирских перевозок на исследуемом участке:

1 Устройство последовательно расположенных искусственных неровностей конструкции ИН1 на всю ширину проезжей части с расстоянием 30 м между ними, что исключает возможность разгона транспортных средств. Крайние неровности совмещаются с наземными пешеходными переходами. На поверхность наносится разметка 1.26, подходы обозначаются разметкой 1.25.

2 Обновление горизонтальной дорожной разметки 1.14.1 («зебра») и 1.34 (обозначение приближения к школе), что повышает информативность пешеходного перехода и улучшает зрительное восприятие водителями дорожной обстановки.

3 Установка дополнительного консольного светодиодного светильника на существующей железобетонной опоре, что обеспечивает нормативный уровень освещенности проезжей части и подходов к ней.

4 Санитарная обрезка ветвей зеленых насаждений для восстановления нормативных треугольников видимости и обеспечения своевременного обнаружения пешеходов.

Экономическая оценка предлагаемых мероприятий выполнена на основе величины ВВП на душу населения Республики Беларусь (10 282 дол./(чел·г.)) и удельных стоимостей потерь от ДТП различной тяжести последствий. Текущие аварийные затраты при существующей организации движения для трех ДТП на исследуемом участке составили 321 900 дол./г. С учетом прогнозируемого снижения аварийности от устройства искусственных неровностей ($\Delta\alpha = 0{,}48$ для ДТП с пострадавшими) и модернизации освещения ($\Delta\alpha = 0{,}60$) расчетный коэффициент снижения аварийности составил 0,792.

Капитальные вложения на реализацию мероприятий определены в размере 3338,63 дол. (изготовление и установка дорожных знаков, нанесение разметки, устройство искусственных неровностей, монтаж светильника). После внедрения мероприятий аварийные затраты сократятся до 66 955,2 дол./г., годовая экономия составит 254 944,8 дол./год, чистый экономический эффект – 254 444 дол./г., коэффициент экономической эффективности – 76,21. Ожидаемое снижение количества ДТП с пострадавшими на исследуемом участке – с 1 до 0,208 ДТП/г. Устройство искусственных неровностей исключает режим движения с резкими разгонами и торможениями, что снижает динамические нагрузки на транспортные средства и гарантирует минимальную тяжесть последствий при ДТП. Модернизация освещения позволяет снизить риск возникновения ДТП на 45–50 %.

Применение топографического метода позволяет обоснованно выявлять очаги аварийности на маршрутах пассажирского транспорта и разрабатывать эффективные инженерные решения. Реализация предложенных мероприятий способствует повышению безопасности перевозок пассажиров, снижению травматизма и социально-экономического ущерба. Полученные результаты подтверждают высокую экономическую целесообразность предложенных решений и их практическую значимость для автотранспортных предприятий.

Список литературы

1 Национальный статистический комитет Республики Беларусь : [сайт]. – Минск, 1998–2026. – URL: https://www.belstat.gov.by/ (дата обращения: 19.04.2026).

2 **Аземша, С. А.** Обеспечение безопасности дорожного движения и перевозок : учеб. пособие / С. А. Аземша, В. А. Марковцев, Д. В. Рожанский. – Гомель : БелГУТ, 2011. – 259 с.

УДК 656.22:656.072

ИНФРАСТРУКТУРНЫЕ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ АСПЕКТЫ БЕЗОПАСНОСТИ РАЗВИТИЯ МЕЖРЕГИОНАЛЬНОГО ПАССАЖИРСКОГО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО СООБЩЕНИЯ

А. А. СИДРАКОВ
Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва

С. И. ИВАНОВ-ТОЛМАЧЕВ, А. Н. СИДРАКОВА
Мосгипротранс, г. Москва, Российская Федерация

Развитие межрегиональной связанности Московской агломерации с административными центрами Центрального федерального округа закреплено в послании Президента Российской Федерации Федеральному Собранию от 29.02.2024 и поручении Первого заместителя Председателя Правительства РФ от 01.03.2024 № АБ-П50-40пр. Под межрегиональным сообщением понимается связь московских вокзалов с крупными агломерациями Московской и соседних областей [1]. В отличие от дальнего следования и высокоскоростных магистралей (далее – ВСМ), межрегиональное сообщение (далее – МРС) ориентировано на ежедневные маятниковые и деловые поездки и требует тактового движения с интервалом 60 мин на I этапе (до 2030 г.) и 30 мин на II этапе (до 2035 г.). Именно регулярность и предсказуемость расписания становятся ключевыми факторами безопасности: пассажиры не скапливаются на платформах в ожидании поезда, а распределяются равномерно, что снижает риск давки и травматизма в часы пик.

Целью данного исследования является оценка инфраструктурных и эксплуатационных решений, обеспечивающих освоение перспективных размеров движения в МРС при условии соблюдения требований безопасности пассажирских перевозок. Теоретической базой исследования послужили фундаментальные труды отечественных ученых в области организации пассажирских перевозок и развития транспортных узлов [2, 3].

Проект охватывает Киевское (Москва – Калуга I), Курское (Москва – Тула I-Курская), Горьковское (Москва – Владимир – Иваново – Ковров), Смоленское (Москва – Смоленск) и Ярославское (Москва – Ярославль – Кострома) направления (рисунок 1). Разгрузка Тверского направления (Москва – Тверь – Торжок) обеспечивается проектом ВСМ Москва – Санкт-Петербург, что снимает необходимость усиления существующей инфраструктуры для МРС. Взаимодействие с аэропортами Московского авиационного узла (Внуково, Домодедово, Шереметьево, Жуковский) рассматривается как элемент мультимодальной связанности, однако в рамках МРС прямого влияния на размеры движения по радиальным направлениям не оказывает [4]. Также на рисунке 1 приведены суммарные размеры движения в МРС к 2035 г. в парах поездов в сутки.

Оценка достаточности инфраструктуры выполнялась путём сопоставления наличной и потребной пропускной способности в соответствии с действующей Инструкцией по расчёту пропускной и провозной способностей железных дорог ОАО «РЖД» [5]. По результатам расчётов для I сценария выявлены лимитирующие перегоны Александров – Пост 81 км (Ярославское направление) и

Москва-Пассажирская-Курская – Нижегородская (Курское/Горьковское). Устранение этих ограничений требует строительства дополнительных главных путей и реконструкции горловин станций.

С точки зрения безопасности «узкие места» опасны не только задержками, но и отсутствием резервов для восстановления графика при сбоях: любой отказ технических средств или внештатная ситуация на перегруженном участке быстро перерастает в цепочку задержек, вынуждая диспетчерский аппарат принимать решения в условиях дефицита времени, что повышает вероятность ошибочных действий [6].



Рисунок 1 – Схема развития межрегиональных связей

На станциях, где выявлен дефицит пропускной способности, предусмотрены мероприятия, напрямую влияющие на безопасность:

– Калуга I: зонирование приёмоотправочного пути маршрутным светофором, электрификация главного пути, строительство тупикового пути длиной не менее 276 м; к 2035 г. – реконструкция трёх тупиковых путей, двух платформ длиной 276 м и вынос экипировки составов МРС на ст. Азарово;

– Тула I-Курская: электрификация и изменение специализации пути, строительство двух дополнительных приёмоотправочных и двух тупиковых путей длиной не менее 276 м, высоких платформ;

– Ярославль: строительство двух высоких платформ длиной 276 м, изменение специализации путей с реконструкцией горловины;

– Кострома-Новая: удлинение двух путей до 600 м с электрификацией, строительство платформы с переходом в разных уровнях.

Все новые платформы проектируются длиной не менее 276 м, что соответствует длине перспективного подвижного состава и обеспечивает безопасную посадку и высадку. Устройства железнодорожной автоматики и телемеханики, а также централизация стрелок, предусмотренные проектом, снижают влияние человеческого фактора – одного из основных источников нарушений безопасно-

сти движения [6]. Формирование культуры безопасности на транспорте [7] неразрывно связано с техническим перевооружением, что подтверждается практикой реализации подобных инфраструктурных проектов.

Для освоения тактового движения требуется дополнительный парк моторвагонного подвижного состава. Расчёты по графикам движения на 2031 г. показали потребность: Киевское направление – 7 составов в обороте, Курское – 9, Горьковское – 6 (до Владимира), Смоленское – 10. Ещё по одному составу на каждый маршрут предусмотрено в резерве на техническом обслуживании.

Принята двухуровневая система обслуживания: ТО-3 и текущие ремонты выполняются в существующих депо (Апрелевка, Перерва, Железнодорожная, Александров I), а ТО-1 и ТО-2 переносятся в новые специализированные пункты вблизи конечных станций МРС. Это исключает непроизводительные пробеги и повышает техническую готовность парка. Предусмотрены следующие мероприятия:

– Азарово (Киевское): восстановление пути длиной 600 м с электрификацией, смотровой эстакадой и дополнительным съездом;

– Тула I-Курская: два дополнительных тупиковых пути длиной не менее 276 м с подъездом автотранспорта;

– Ярославль: парк отстоя на перегоне Ярославль – Дунайка (6 путей длиной не менее 600 м, 1 ходовой путь);

– Владимир, Иваново, Ковров I, Фрязево: изменение специализации и восстановление существующих путей.

Электроснабжение – критический элемент безопасности. Проектом предусмотрено резервирование преобразовательных агрегатов на тяговых подстанциях Нара, Малоярославец, Суходрев, Бужаниново, Столбовая. Отказ одного агрегата не приводит к прекращению движения, так как резерв вводится автоматически, что исключает обесточивание участка и вынужденную эвакуацию пассажиров.

Реализация проекта МРС в Центральном транспортном узле обеспечивает не только рост транспортной доступности, но и системный эффект для безопасности пассажирских перевозок. Тактовое движение с интервалом 60 и 30 мин снижает скопление пассажиров на платформах; высокие платформы и разноуровневые переходы исключают наиболее травмоопасные пересечения потоков; маршрутные светофоры, централизация стрелок и АЛС уменьшают влияние человеческого фактора; резервирование преобразовательных агрегатов на тяговых подстанциях предотвращает отказы электроснабжения; вынос ТО-1/ТО-2 к конечным станциям повышает техническую готовность подвижного состава. Расчётные коэффициенты загрузки станций после мероприятий не превышают допустимых значений, что обеспечивает резерв для безопасного управления движением. Общий объём инвестиций на два этапа оценивается в 1047,5 млрд руб., прирост ВВП – 1520,8 млрд руб. [4].

Полученные результаты могут быть использованы при развитии пассажирского сообщения в Республике Беларусь. Согласно Закону Республики Беларусь от 15.07.2026 № 168-З, межрегиональное сообщение определено как перевозки между Минском и областными центрами, а также между областными центрами [8]. В графике движения на 2025/2026 г. предусмотрено 24 пары поездов межрегиональных линий бизнес-класса и 35 пар экономкласса [9]. Белорусский опыт организации межрегиональных линий (в том числе ускоренных экономкласса) может быть дополнен российскими подходами к тактовому движению и созданию специализированных пунктов ТО-1/ТО-2 на конечных станциях, что особенно актуально для направлений Минск – Гомель, Минск – Брест, Минск – Витебск, где уже используются электропоезда Stadler FLIRT (ЭПг, ЭПр и ЭПм). В перспективе развитие МРС в Центральном транспортном узле и странах СНГ требует не только строительства новых путей, но и внедрения современных систем управления движением, что подтверждается исследованиями в области высокоскоростного транспорта [10].

Список литературы

1 Концепция развития железнодорожной инфраструктуры Центрального транспортного узла на период до 2040 года. – М., 2024.

2 Железнодорожные пассажирские перевозки (избранные главы) : учеб. пособие / Ю. О. Пазойский, М. Ю. Савельев, А. А. Сидраков [и др.] ; под ред. Ю. О. Пазойского. – М. : РУТ (МИИТ), 2020. – 407 с.

3 Особенности развития железнодорожных узлов : учеб. пособие / И. А. Иванов-Толмачев, А. А. Сидраков, Е. А. Середов, В. С. Колмыков. – М. : РУТ (МИИТ), 2024. – 134 с.

4 Организация движения поездов для повышения транспортной доступности регионов с Московской агломерацией в увязке с развитием грузового движения. – М. : ИЭРТ, 2024.

5 Инструкция по расчету пропускной и провозной способностей железных дорог ОАО «РЖД» : утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 04.03.2022 № 545/р. // КонсультантПлюс. Россия : справ. правовая система (дата обращения: 10.09.2026).

6 **Овчинникова, Е. А.** Повышение эффективности экономической деятельности железнодорожного транспорта за счет снижения влияния человеческого фактора на безопасность движения / Е. А. Овчинникова, Н. В. Попова, А. А. Сидраков // Проблемы безопасности на транспорте : материалы XIV Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. пятилетке качества, Гомель, 20–21 нояб. 2025 г. : в 2 ч. Ч. 2. – Гомель : БелГУТ, 2025. – С. 224–227.

7 Культура безопасности на железнодорожном транспорте : учеб. пособие / Е. А. Овчинникова, М. Ю. Савельев, Р. А. Ефимов [и др.]. – М. : УМУ ЖДТ, 2026. – 110 с.

8 Об изменении законов по вопросам железнодорожного транспорта : Закон Респ. Беларусь от 15.07.2026 № 168-З // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=-H12600168 (дата обращения: 11.09.2026).

9 Белорусской железной дорогой с 14 декабря 2025 года вводится график движения поездов на 2025–2026 год. – URL: https://www.rw.by/corporate/press_center/news_of_passengers/2025/11/belorusskoy-zheleznoy-dorogoy-s-14-dekabrya-2025-goda-vvoditsya-grafik-dvizheniya-poezdov-na-2025-20/ (дата обращения: 11.09.2026).

10 Перспективы применения инновационных систем управления движением поездов высокоскоростного железнодорожного транспорта в Российской Федерации / С. П. Вакуленко, М. Ю. Савельев, А. А. Сидраков, К. В. Хаустов // Проблемы безопасности на транспорте : материалы XIV Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. пятилетке качества, Гомель, 20–21 нояб. 2025 г. : в 2 ч. Ч. 2. – Гомель : БелГУТ, 2025. – С. 6–9.

УДК 656.13.08

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СРЕДСТВ ПЕРСОНАЛЬНОЙ МОБИЛЬНОСТИ НА БЕЗОПАСНОСТЬ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ В ГОРОДЕ МИНСКЕ

С. В. СКИРКОВСКИЙ, Д. Л. БУГАЁВА
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

В современных условиях развития городской транспортной системы особую актуальность приобретает проблема обеспечения безопасности дорожного движения при одновременном распространении традиционных и альтернативных способов передвижения. Одним из наиболее заметных направлений трансформации городской мобильности стало широкое использование средств персональной мобильности (СПМ), к которым относятся электросамокаты, моноколёса, гироскутеры, сигвеи и другие электрические устройства, предназначенные для индивидуального передвижения. Их популярность обусловлена компактностью, относительной доступностью, возможностью быстрого перемещения на небольшие расстояния и интеграцией с общественным транспортом. Для города Минска развитие данного направления имеет особое значение в связи с высокой плотностью городской застройки, наличием крупных транспортных магистралей, интенсивным пешеходным движением и значительной концентрацией объектов общественного назначения.

Распространение средств персональной мобильности способствует формированию новых транспортных связей и позволяет частично снизить зависимость населения от использования личных автомобилей. Электрические самокаты могут применяться для преодоления расстояний между остановками общественного транспорта, жилыми районами, местами работы и объектами социальной инфраструктуры. При этом их использование потенциально способствует снижению нагрузки на улично-дорожную сеть, сокращению количества коротких автомобильных поездок и уменьшению негативного воздействия транспорта на окружающую среду. Однако положительный эффект от внедрения микромобильности сопровождается возникновением дополнительных рисков, связанных с увеличением количества участников дорожного движения, различиями в скоростных характеристиках транспортных потоков и недостаточной адаптацией городской инфраструктуры к новым способам передвижения.

Особенностью средств персональной мобильности является сочетание относительно небольших габаритов, высокой манёвренности и способности развивать скорость, сопоставимую со скоростью велосипедного движения. В то же время устойчивость таких устройств в значительной степени зависит от качества дорожного покрытия, состояния колёс, опыта пользователя и погодных условий. Наличие неровностей, выбоин, бордюров, люков и других препятствий может привести к потере равновесия и падению. Дополнительную опасность представляет движение по участкам, где одновременно находятся пешеходы, велосипедисты и пользователи СПМ. В подобных условиях возни-

кает необходимость учитывать не только индивидуальную безопасность пользователя электрического устройства, но и безопасность всех остальных участников дорожного движения.

Для Минска проблема взаимодействия средств персональной мобильности с существующей транспортной инфраструктурой имеет комплексный характер. Городская улично-дорожная сеть включает автомобильные дороги различной категории, тротуары, пешеходные зоны и велосипедные дорожки. При этом качество и непрерывность велосипедной инфраструктуры неодинаковы в различных районах города. На отдельных участках велосипедные дорожки пересекаются с пешеходными маршрутами, проходят через остановочные пункты общественного транспорта или располагаются в непосредственной близости от автомобильных проездов. Такая организация движения может создавать конфликтные ситуации, особенно в часы пик, когда интенсивность передвижения различных категорий участников достигает максимальных значений.

Одним из наиболее существенных факторов риска является движение пользователей СПМ по тротуарам с высокой интенсивностью пешеходного потока. Пешеходы, в особенности дети, пожилые граждане и лица с ограниченными возможностями, не всегда способны своевременно оценить скорость приближающегося электрического самоката и изменить направление движения. В результате даже незначительная ошибка в управлении может привести к столкновению. Опасность увеличивается в местах пересечения пешеходных маршрутов, возле остановок общественного транспорта, торговых объектов, учебных заведений и станций метрополитена. Дополнительным фактором риска выступает использование мобильных телефонов и наушников во время движения, а также недостаточная видимость пользователей СПМ в тёмное время суток.

Другой важной проблемой является взаимодействие средств персональной мобильности с автомобильным транспортом. Особую опасность представляют пересечения с проезжей частью, выезды с дворовых территорий, регулируемые и нерегулируемые пешеходные переходы. Водители автомобилей могут не заметить пользователя СПМ из-за небольших габаритов устройства, ограниченной обзорности или наличия препятствий. В свою очередь, пользователь электросамоката не всегда способен правильно оценить тормозной путь автомобиля и скорость приближения транспортного средства. В 2024 году сообщалось о 69 ДТП с участием СПМ за период с января по сентябрь: в таких происшествиях погибли три человека, 71 человек получил травмы. При этом статистика включала только случаи столкновений с механическим транспортом, не учитывая столкновения с пешеходами и другие инциденты. Однако в 2025 году отмечалось, что после изменений в ПДД (ограничение скорости до 25 км/ч, обязанность спешиваться на пешеходных переходах и другие меры) число дорожно-транспортных происшествий с участием пользователей СПМ сократилось. По данным на ноябрь 2025 года число ДТП с участием велосипедистов уменьшилось на 46 %, а с пользователями электросамокатов – на 64 %.

Для снижения рисков важно продолжать работу по повышению культуры поведения на дороге, соблюдению правил дорожного движения и использованию защитной экипировки (шлемы, наколенники, налокотники и т. д.). Также необходимо продолжать совершенствование нормативной базы и контроль за её соблюдением.

Список литературы

1 О мерах по повышению безопасности дорожного движения : Указ Президента Респ. Беларусь от 28 нояб. 2005 г. № 551 (с последующими изменениями и дополнениями) // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: https://pravo.by/ (дата обращения: 02.09.2026).

2 О дорожном движении : Закон Респ. Беларусь от 5 янв. 2008 г. № 313-З (с последующими изменениями и дополнениями) // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: https://pravo.by/ (дата обращения: 02.09.2026).

3 Республика Беларусь, 2025: статистический ежегодник / Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – Минск : Национальный статистический комитет Республики Беларусь, 2025. – 305 с.

4 Статистический ежегодник города Минска, 2024 / Национальный статистический комитет Республики Беларусь, Главное статистическое управление г. Минска. – Минск : Главное статистическое управление г. Минска, 2024. – 216 с.

5 Государственная автомобильная инспекция Министерства внутренних дел Республики Беларусь : официальный информационный ресурс. – URL: https://mvd.gov.by/ (дата обращения: 02.09.2026).

6 Управление Государственной автомобильной инспекции ГУВД Мингорисполкома : официальный информационный ресурс. – URL: https://t.me/gaiminsk (дата обращения: 02.09.2026).

7 Анализ состояния дорожно-транспортной аварийности с участием велосипедистов и лиц на средствах персональной мобильности в Республике Беларусь / Д. В. Капский, А. В. Коржова, В. П. Иванов, Д. В. Мозалевский // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В, Промышленность. Прикладные науки. – 2026. – № 2. – С. 20–27. – DOI: 10.52928/2070-1616-2026-54-2-20-27.

УДК 656.072–056.26

ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА МАЛОМОБИЛЬНЫХ ПАССАЖИРОВ В СТРУКТУРЕ ДОСТУПНОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СРЕДЫ

Ф. Р. СКОМАРОВСКИЙ, С. И. МОЛЧАН, М. И. ПУХТЕЕВ
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Доступность железнодорожного транспорта принято оценивать, прежде всего, по физическим параметрам: есть ли на вокзале пандус, совпадает ли высота платформы с уровнем пола вагона, оборудовано ли купе для пассажира на кресле-коляске. Однако опыт перевозчиков показывает, что даже полностью приспособленная инфраструктура остается недоступной, если человек не знает о ней, не может заранее спланировать маршрут или не получает вовремя сведений об изменении пути отправления поезда. Информация становится тем ресурсом, без которого физическая доступность не превращается в реальную возможность поехать.

Под маломобильными пассажирами в российской нормативной практике понимают не только людей с инвалидностью, но и более широкую группу: пожилых пассажиров, людей с временными нарушениями здоровья, пассажиров с детскими колясками и крупногабаритным багажом, беременных женщин. Потребности этой группы в информации различаются принципиально. Незрячему пассажиру нужен звуковой и тактильный канал, неслышащему – визуальный и текстовый, человеку с нарушениями опорно-двигательного аппарата – точные сведения о маршрутах без лестниц и о времени, которое потребуется на пересадку, а людям с ментальными особенностями – простой и предсказуемый язык сообщений. В связи с этим информационную поддержку маломобильного пассажира целесообразно рассматривать как целостную систему, которая охватывает всю поездку, а не отдельные её элементы. В этой системе можно выделить пять этапов, краткая характеристика которых приведена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Краткая характеристика этапов поездки маломобильных пассажиров

На этапе планирования пассажир выясняет, доступен ли нужный вокзал, какие поезда имеют специализированные места и какую помощь можно заказать. На этапе бронирования он приобретает билет и оформляет заявку на сопровождение. На вокзале ему требуется навигация до кассы, зала ожидания и платформы, а также своевременное объявление о посадке. В поезде важны сведения о станциях, остановках и нештатных ситуациях. Наконец, после прибытия пассажиру нужны помощь при высадке и сведения о возможностях пересадки на другой вид транспорта. Разрыв на любом из этапов обесценивает остальные. Если заявка на сопровождение принята, но сотрудник вокзала не получил сведений об изменении времени прибытия поезда, пассажир на кресле-коляске может оказаться на платформе без помощи. Если посадку перенесли на другую платформу, а звуковое объявление не продублировано текстом на экране смартфона, неслышащий пассажир рискует опоздать. Именно поэтому современный подход смещает внимание с отдельных технических средств на согласованность информационных потоков между пассажиром, перевозчиком, владельцем инфраструктуры и персоналом. В связи с этим важно различать два типа информации: статическую и ди-

намическую. Так, статическая информация описывает постоянные характеристики объектов: наличие лифтов, ширину дверных проёмов, расположение тактильных указателей, перечень услуг, а динамическая отражает текущее состояние: задержку поезда, смену платформы, неисправность лифта, назначенного сопровождающего (см. рисунок 1). Исторически основные усилия направлялись на статическую составляющую, тогда как динамическая остаётся наименее развитой и одновременно наиболее ценной для пассажира.

Выполненный анализ показал, что для обширной информационной поддержки маломобильных пассажиров имеются следующие системные ограничения:

1) фрагментарность каналов, из-за которых пассажир получает сведения из разных источников (сайта перевозчика, приложения, колл-центра, сайтов пригородных компаний и вокзалов), не всегда согласованных между собой по составу и актуальности данных;

2) преобладание статической информации над динамической, при которой сведения о постоянной оснащённости вокзала доступны, а о временной неисправности лифта или эскалатора пассажир чаще всего узнаёт уже на месте;

3) зависимость от голосового канала, которая создаёт барьер для неслышащих и слабослышащих пассажиров;

4) длительные сроки подачи заявок, которые ограничивают спонтанные поездки и фактически закрепляют неравенство возможностей по сравнению с другими пассажирами;

5) «последняя миля» информации, когда информацию доводят до персонала на платформе или в вагоне. При этом даже корректно оформленная заявка теряет ценность, если проводник или дежурный по вокзалу не получил вовремя сведений о пассажире и его потребностях. Эта проблема носит организационный характер и решается не столько техническими средствами, сколько регламентами взаимодействия и обучением персонала.

Таким образом, вышеназванные ограничения могут быть минимизированы или исключены при использовании и реализации следующих направлений развития информационной поддержки для маломобильных пассажиров:

1) переход от заявочной модели к сквозному цифровому сервису, при котором пассажир должен иметь возможность один раз заполнить профиль с описанием своих потребностей и затем при покупке каждого билета одним действием заказывать нужную помощь, получая подтверждение и сведения о назначенном сотруднике;

2) персонализированное информирование в реальном времени, например уведомления о смене платформы, задержке поезда, неисправности лифта на маршруте пассажира или о том, что сопровождающий ожидает у определённого входа, что позволит снять значительную часть тревоги, связанной с поездкой. Для неслышащих пассажиров такие уведомления фактически заменяют звуковые объявления, а для незрячих становятся дополнительным каналом, совместимым с экранным диктором;

3) развитие мультисенсорной навигации на вокзалах и в поездах в соответствии с принципом о задействовании не менее двух органов чувств, т. е. возможности дублирования звуковых объявлений бегущей строкой, об установке тактильно-звуковых мнемосхем и звуковых маяков у ключевых точек, а также цифровых решениях внутренней навигации, которые ведут пассажира от входа до вагона. Отдельного внимания заслуживает видеосвязь с переводчиком русского жестового языка в кассах и справочных службах;

4) установление единых стандартов для данных о доступности, что позволит использовать их не только на сайте перевозчика, но и в городских навигационных сервисах и картографических приложениях, выстраивая мультимодальные маршруты «от двери до двери»;

5) сокращение сроков подачи заявок и расширение возможности получить помощь без предварительного уведомления, как это закреплено в европейском регулировании. Выполнение такой задачи напрямую зависит от того, насколько хорошо персонал вокзалов видит поток обращений в режиме реального времени, поэтому цифровые инструменты для сотрудников следует развивать одновременно с пассажирскими сервисами.

Следует отметить, что перечисленные предложения стоит применять с участием самих маломобильных пассажиров и общественных организаций людей с инвалидностью. Зарубежный опыт показывает, что именно такое участие позволяет избежать ситуации, когда формально доступный сервис оказывается неудобным для тех, кому он предназначен.

Таким образом, наблюдается смещение акцентов от статической информации к динамической, от телефонной заявки к сквозному цифровому сервису, от отдельных технических средств к согласованной системе, в которой пассажир, перевозчик, владелец инфраструктуры и персонал обмениваются актуальными данными на всём протяжении поездки. Именно согласованность информационных потоков, а не количество установленного оборудования в конечном счёте определяет, сможет ли маломобильный пассажир пользоваться железной дорогой так же свободно, как остальные пассажиры.

Список литературы

1 **Власюк, Т. А.** Организация безбарьерной среды для маломобильных пассажиров на железнодорожном транспорте в Российской Федерации на основе государственной программы «доступная среда» / Т. А. Власюк // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2021. – № 1 (42). – 2022. – С. 90–92.

2 О правах инвалидов и их социальной интеграции : Закон Респ. Беларусь от 30 июня 2022 г. № 183-З. – URL: https://www.mintrud.gov.by/ru/zakon-o-pravah-invalidov-i-ih-socialnoi-integracii-ru (дата обращения: 29.09.2026).

3 Конвенция о правах инвалидов: принята резолюцией 61/106 Генеральной Ассамблеи ООН от 13 декабря 2006 г. // Организация Объединённых Наций. – URL: https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/disability.shtml (дата обращения: 29.09.2026).

УДК 656.25+06

МЕРОПРИЯТИЯ, НАПРАВЛЕННЫЕ НА ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК В ЮЖНОМ РЕГИОНЕ РОССИИ

И. А. СОЛОП, В. В. ЧЕБОТАРЕВ
Ростовский государственный университет путей сообщения,
г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

П. В. КУРЕНКОВ
Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва

Южный регион России играет значительную роль в организации пассажирских перевозок, так как является важным направлением туристических маршрутов на курорты Черноморского побережья, Крыма и Кавказа. Благодаря своему географическому положению, транспортная инфраструктура южного направления обеспечивает доступность отдыха и лечения для многих людей, что подтверждается возрастающим пассажиропотоком в целом (таблица 1) и на крупных вокзалах Юга России (рисунок 1).

Таблица 1 – **Количество перевезенных пассажиров в Южном регионе России**

Показатель, млн пас.	2024 год	2025 год	Динамика, %
Всего отправлено пассажиров	55,8	60,1	+7,7
Пригородное сообщение	38,7	40,8	+5,4
Дальнее сообщение	17,8	19,3	+8,4

В 2025 году с крупнейших вокзалов железнодорожного транспорта в границах Южного региона в обоих сообщениях было отправлено более 40 млн пассажиров, что говорит о востребованности данного направления, а также об увеличении нагрузки на транспортную инфраструктуру региона, которая достигла огромных масштабов. Поэтому обеспечение безопасности пассажирских перевозок в Южном регионе играет первостепенное значение, так как это является гарантией сохранения жизни миллионам пассажиров, а не только задачей соблюдения технических норм. Указанный вопрос следует рассматривать комплексно с позиций выполнения требований безопасности движения и правил технической эксплуатации, транспортной безопасности (защита от незаконного вмешательства и досмотровые мероприятия на вокзалах и в поездах), экологической безопасности, охраны труда и промышленной безопасности, а также личной безопасности пассажиров и граждан.

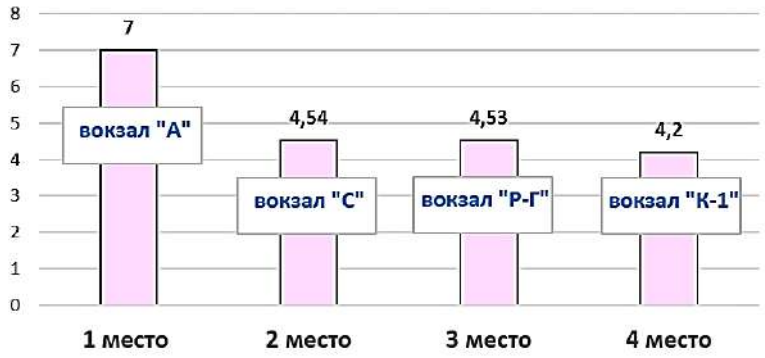


Рисунок 1 – Количество отправленных пассажиров с крупных вокзалов в 2025 г., млн чел.

Актуальность рассматриваемой темы конкретно для Южного региона подтверждается некоторыми факторами.

1 **Сложные природные и климатические условия.** Ряд участков рассматриваемой железной дороги располагается вблизи береговой зоны Черноморского побережья и подвержен влиянию оползней и селевым активностям, особенно в период обильных дождей. Возникающие стихии приводят к остановке пассажирских поездов. Температурный режим оказывает также негативное влияние на верхнее строение пути и может вызывать деформацию рельсов, что в свою очередь может привести к крушению поездов. Поэтому нужно оценивать риски в случае снижения инвестиций на обновление путевого хозяйства.

2 **Большое количество железнодорожных переездов, высокая плотность автомобильных дорог.** Наличие большого количества переездов вызывает риски транспортных происшествий. Только за исследуемый период (8 месяцев 2026 года) на рассматриваемой железной дороге в Южном регионе зафиксировано 32 случая, в результате которых погибли 6 человек, а 13 получили травмы.

3 **Летняя «пиковая» нагрузка на транспортную инфраструктуру.** В сезонный период ряд участков рассматриваемого направления имеет ограничения в пропускной способности по ряду факторов, то же касается пассажирских станций в части обработки и пропуска пассажирских поездов.

4 **Большие риски актов незаконного вмешательства.** Такие типы угроз связаны с возможными террористическими атаками, диверсионной деятельностью, что требует повышенного внимания к обеспечению безопасности при перевозке пассажиров, особенно в период объявления беспилотной и других видов опасностей. Особую роль в снижении таких рисков играет обучение персонала вокзальных комплексов и других работников пассажирского комплекса.

Таким образом, обеспечение безопасности пассажирских перевозок в Южном регионе становится важнейшей задачей бесперебойной работы транспортного комплекса в целом. Сформируем основные мероприятия и рекомендации по обеспечению безопасности организации пассажирских перевозок для Южного региона, которые также могут быть универсальными и для других регионов (таблица 2).

Таблица 2 – **Основные мероприятия и рекомендации по обеспечению безопасности организации пассажирских перевозок**

Мероприятия	Предложения по реализации
Инфраструктурные меры	Обеспечение устойчивого и стабильного финансирования путевого хозяйства, в первую очередь участков с интенсивным пассажирским движением
	Развитие двухпутных участков и ликвидация «барьерных мест». Увеличение пропускной способности на участке «Т-А»
	Модернизация систем СЦБ и связи
Технические средства обеспечения безопасности	Установка дополнительных систем видеонаблюдения
	Внедрение интеллектуальных систем с функцией видеоаналитики на переездах
	Оснащение скоростных поездов системами «машинного зрения»
Организационно-управленческие меры	Активизация проведения профилактической работы на переездах
	Усиление транспортной безопасности на вокзалах и в поездах
	Обмен опытом в схожих транспортных направлениях
	Регулярная подготовка работников по обеспечению транспортной и других видов безопасности
	Проведение информационной работы с пассажирами для соблюдения правил безопасного поведения на вокзалах и в поездах и реагирования на различные виды угроз

Данные мероприятия и рекомендации могут быть дополнены инструментами, рассмотренными в научной литературе, в том числе исследованиях [1, 2].

Список литературы

1 **Солоп, И. А.** Актуальные вопросы обеспечения безопасности движения в железнодорожных транспортно-технологических системах / И. А. Солоп, Е. А. Чеботарева // Транспорт и логистика: Развитие в условиях глобальных изменений потоков : сб. науч. тр. VII Междунар. науч.-практ. конф., Ростов-на-Дону, 1–2 февр. 2023 г. – Ростов н/Д : Ростовский государственный университет путей сообщения, 2023. – С. 355–359. – EDN IBVGOM.

2 **Куренков, П. В.** Развитие инструментов поддержки культуры безопасности у работников в области эксплуатации железнодорожного транспорта / П. В. Куренков, И. А. Солоп, Е. А. Чеботарева // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. – 2023. – № 11. – С. 36–42. – DOI: 10.36535/0236-1914-2023-11-5. – EDN UNDPTE.

УДК 656.08

ИССЛЕДОВАНИЕ СОЦИАЛЬНОГО РИСКА КАК ОТНОСИТЕЛЬНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ АВАРИЙНОСТИ НА ПРИМЕРЕ г. ГОМЕЛЯ И ГОМЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

Д. П. ХОДОСКИН
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

О. А. ДОВГУЛЕВИЧ
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Анализируя динамику изменения относительных показателей оценки дорожно-транспортной аварийности, многие исследователи отмечают, что эти показатели имеют устойчивую тенденцию к снижению, и, исходя из этого, делают вывод о повышении безопасности дорожного движения. Подобное утверждение является принципиально неверным. Относительные показатели могут и должны применяться для сопоставления уровня аварийности в определенные периоды времени для выявления отстающих направлений работы. Однако состояние работ по обеспечению безопасности дорожного движения должно оцениваться прежде всего по снижению абсолютных показателей аварийности. Нельзя признавать работу удовлетворительной, если число пострадавших в ДТП увеличивается, но за счет быстрого роста парка транспортных средств происходит снижение относительного показателя. Именно поэтому относительные показатели не должны являться решающими для оценки деятельности по обеспечению безопасности дорожного движения (или как минимум применяться в комплексе). Поэтому для сравнительной оценки состояния безопасности дорожного движения в Республике Беларусь в ходе исследований использовался такой относительный показатель аварийности, как социальный риск – количество погибших в ДТП на 1 млн населения.

Для оценки динамики изменения социального риска использовалась методика, описанная в источнике [1] и состоящая из следующих укрупненных этапов: 1) формирование информационной базы исходных данных для проведения анализа; 2) математическая обработка данных и анализ показателей и индикаторов дорожно-транспортной аварийности; 3) группировка по динамике показателей и индикаторов дорожно-транспортной аварийности.

Для оценки динамики изменения социального риска были рассчитаны следующие оценочные показатели: социальный риск погибнуть пешеходу, велосипедисту, возчику и уязвимым участникам по Гомельской области, социальный риск погибнуть в ДТП пешеходу, велосипедисту и уязвимым участникам по г. Гомелю.

Для расчета социального риска погибнуть в ДТП с уязвимыми участниками необходима численность населения [2] (с 2014 по 2025 год наблюдается снижение численности населения Гомельской области на 101 470 человек, а в г. Гомеле снижение на 20 772 человека), а также статистика дорожно-транспортной аварийности по Гомельской области и по г. Гомелю за анализируемый период (ГАИ УВД города Гомеля).

В таблице 1 представлены результаты расчета показателей оценки динамики изменения социального риска по показателю «погибнуть в ДТП с уязвимыми участниками» в период с 2014 по 2025 год в г. Гомеле, а также тенденция и наличие (отсутствие) тренда по приведенной методике исследования.

Таблица 1 – **Динамика изменения социального риска по показателю «погибнуть в ДТП» в г. Гомеле**

Показатель, участник		2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	Δ_a	Δ_o, %	t_Y	Тренд
Социальный риск (R_c) по показателю «погибнуть в ДТП»	Пешеход	15,33	41,8	26,35	46,71	18,67	26,07	15,68	7,88	9,85	11,96	5,99	9,98	–5,35	–34,91	–2,47	Нет
	Велосипедист	0	0	0	0	0	3,72	0	0	5,91	0	0	3,99	3,99	0	0,243	Нет
	Уязвимый участник	15,33	41,8	26,35	46,71	18,67	29,8	15,68	7,88	15,76	11,96	5,99	13,97	–1,36	–8,87	–2,23	Нет

На рисунке 1 представлен график изменения динамики социального риска по показателям «погибнуть в ДТП с уязвимыми участниками дорожного движения», «погибнуть будучи пешеходом, велосипедистом» в г. Гомеле с 2014 по 2025 год.

Динамика социального риска по показателям «погибнуть в ДТП, используя средство персональной мобильности и управляя гужевой повозкой» не представлена, так как погибшие за исследуемый период отсутствуют.

Анализ данных графика на рисунке 1 показал, что социальный риск по показателю «погибнуть в ДТП с уязвимыми участниками дорожного движения» имеет общую тенденцию к снижению на протяжении длительного периода, что подтверждается отрицательными коэффициентами в уравнениях линейной регрессии ($t_y = –2{,}23$ и $t_y = –2{,}47$). Максимальное значение данная величина имела в 2017 году (около 46–47 единиц). После этого пика наблюдается волнообразный спад. Наименьшие значения социального риска для уязвимых участников и пешеходов наблюдаются в 2024 году.

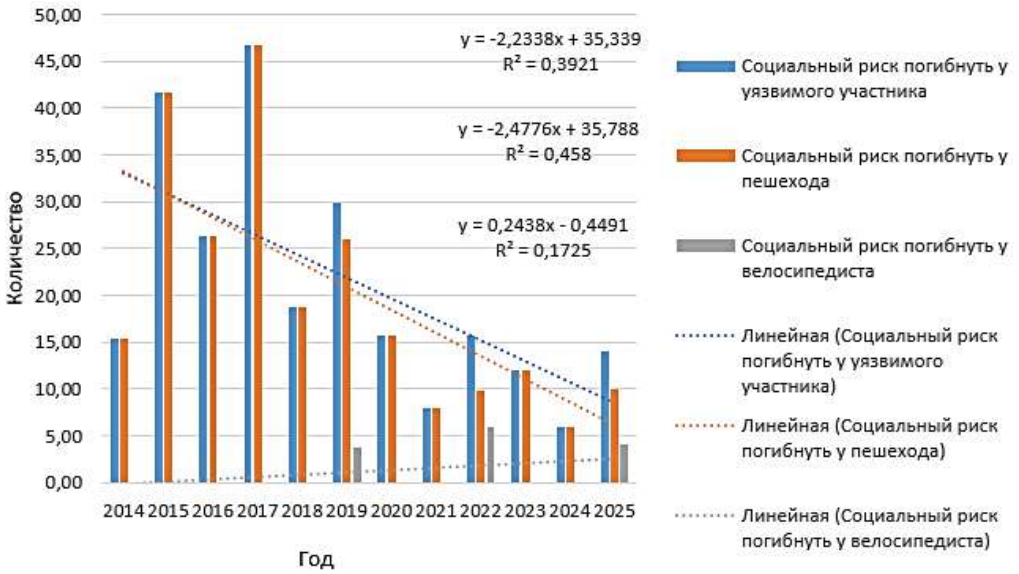


Рисунок 1 – График изменения социального риска по показателю «погибнуть в ДТП с уязвимыми участниками дорожного движения» в г. Гомеле за период с 2014 по 2025 год

Что касается категории велосипедистов, то данные появляются нерегулярно, начиная с 2019 года. Уравнение тренда для этой категории ($t_y = 0{,}243$) имеет положительный наклон, что указывает на незначительную тенденцию к росту риска, однако абсолютные значения остаются существенно ниже, чем у категории пешеходов. В 2025 году наблюдается локальный рост показателя по сравнению с 2014–2018, 2020–2021 и 2023–2024 годами, но не превышен уровень 2019 и 2022 годов.

В таблице 2 представлены результаты расчета показателей оценки динамики изменения социального риска по показателю «погибнуть в ДТП» в Гомельской области в период с 2014 по 2025 год, а также тенденция и наличие (отсутствие) тренда по используемой методике [1].

Таблица 2 – **Динамика изменения социального риска по показателю «погибнуть в ДТП» в Гомельской области**

Показатель, участник		2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	Δ_a	Δ_o, %	t_Y	Тренд
Социальный риск (R_c) по показателю «погибнуть в ДТП»	Пешеход	30,35	60,82	56,72	47,70	32,92	37,40	21,72	16,83	16,26	19,36	22,50	12,10	–18,25	60,14	3,60	Нет
	Велосипедист	9,18	16,97	11,34	5,70	4,29	14,38	5,79	4,39	3,70	5,96	5,25	3,02	–6,15	–67,04	–0,80	Нет
	Возчик	1,41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,72	0,00	0,00	0,00	0,75	0,00	–1,41	–100	–0,03	Нет
	Уязвимый участник	40,94	77,80	68,07	53,40	37,21	51,78	28,24	21,22	19,96	25,32	28,50	15,12	–25,82	–63,06	–4,43	Нет

На рисунке 2 представлен график изменения динамики социального риска по показателю «погибнуть в ДТП с уязвимыми участниками дорожного движения», социального риска по показателю «погибнуть будучи пешеходом, велосипедистом и возчиком» в Гомельской области с 2014 по 2025 год. Динамика социального риска по показателю «погибнуть в ДТП, используя средство персональной мобильности» не представлена, так как погибшие за исследуемый период отсутствуют.

Анализ данных графика, представленного на рисунке 2, показал, что для всех основных категорий (уязвимые участники, пешеходы, велосипедисты) уравнения линейных трендов имеют отрицательный наклон ($t_y = –4{,}42$, $t_y = –3{,}55$ и $t_y = –0{,}80$ соответственно), что свидетельствует об общей тенденции снижения социального риска. Категория «возчик» зафиксирована лишь в 2014 году с минимальным значением и в дальнейшей динамике прослеживается лишь в 2020 и 2024 годах с минимальными значениями. Наименьшие значения риска для всех категорий наблюдаются в 2025 году.

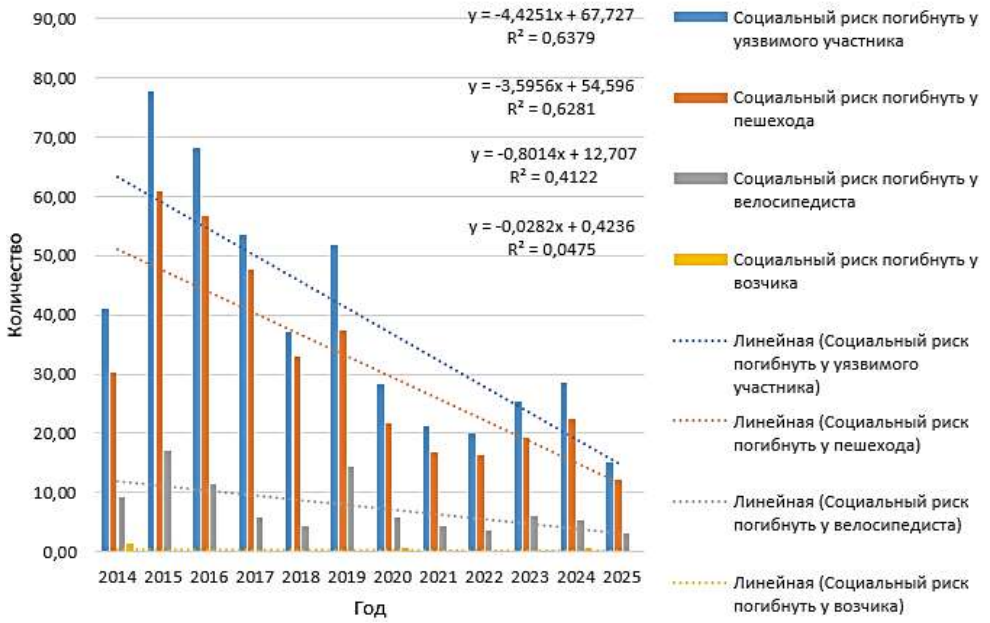


Рисунок 2 – График изменения социального риска по показателю «погибнуть в ДТП с уязвимыми участниками дорожного движения» в Гомельской области за период с 2014 по 2025 год

Таким образом, полученные результаты указывают на доступность, актуальность и достоверность использованной методики: 1) абсолютное значение показателя R_c за исследуемый период снизилось по всем видам участников, кроме велосипедистов; 2) снижение показателя Δ_o (относительного изменения социального риска) особенно ощутимо по Гомельской области и составляет более 60 %; 3) отрицательные значения t_Y для всех категорий участников, кроме велосипедистов, говорят о снижении величины социального риска. Исследование абсолютных показателей аварийности за исследуемый период подтвердило полученные результаты.

Список литературы

1 Применение научных методов в повышении безопасности дорожного движения : монография / С. А. Аземша, А. Н. Старовойтов ; М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2017. – 191 с.

2 Численность населения Гомельской области // Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – URL: https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/ssrd-mvf_2/ (дата обращения: 03.06.2026).

УДК 656.08

АНАЛИЗ ПРОБЛЕМАТИКИ УЯЗВИМЫХ УЧАСТНИКОВ ДВИЖЕНИЯ В СТРУКТУРЕ МИРОВОЙ ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНОЙ АВАРИЙНОСТИ

Д. П. ХОДОСКИН
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

О. А. ДОВГУЛЕВИЧ, К. С. ЮХТИКОВА
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Автомобильный транспорт играет важную роль в функционировании современной городской экономики. От эффективности транспортной системы зависят и устойчивость работы предприятий, и доступность объектов социальной инфраструктуры, и возможности перемещения населения. Однако активный рост автомобилизации сопровождается рядом негативных последствий: увеличением интенсивности движения, возникновением заторов, ускоренным износом дорожного покрытия и ростом расходов на его содержание. Высокая транспортная нагрузка также способствует увеличению расхода топлива, ухудшению экологической обстановки и повышению уровня психоэмоционального напряжения среди водителей, пешеходов и жителей городов. Одним из наиболее серьезных последствий является сохранение высокого уровня дорожно-транспортной аварийности. При этом официальная статистика не всегда отражает реальный масштаб проблемы, поскольку часть происшествий может оставаться неучтенной. В связи с этим безопасность дорожного движения следует рассматривать не только как транспортную, но и как социально-экономическую задачу. Снижение аварийности позволяет уменьшить потери населения, сократить расходы, связанные с лечением и восстановлением пострадавших, а также повысить доступность рабочих мест, образовательных учреждений и других объектов городской среды. Особое значение это имеет для формирования устойчивой и безопасной мобильности населения.

Разработка эффективных мер по предупреждению дорожно-транспортных происшествий (ДТП) невозможна без изучения факторов, влияющих на их возникновение и тяжесть последствий. Для этого требуется анализ значительного массива статистических данных, включающего сведения о характеристиках аварий, состоянии инфраструктуры, поведении участников движения и технических параметрах транспортных средств.

По данным Всемирной организации здравоохранения, ДТП ежегодно приводят примерно к 1,3 млн смертей и десяткам миллионов травм. Наиболее уязвимой группой являются дети и молодые люди [1].

За последнее десятилетие число погибших в ДТП в мировом масштабе уменьшилось примерно на 5 % и составило около 1,19 млн человек в год. Несмотря на положительную динамику, дорожная аварийность остается одной из наиболее серьезных глобальных проблем общественного здоровья. Для пешеходов, велосипедистов, пользователей двухколесного транспорта и средств персональной мобильности риск получения тяжелых травм по-прежнему остается высоким.

Более чем наполовину сократить смертность на дорогах за рассматриваемый период удалось ряду государств – членов ООН. В числе таких стран указывается и Республика Беларусь. Опыт всех этих стран показывает, что последовательная государственная политика в сфере дорожной безопасности способна обеспечить заметное снижение числа погибших. Примерно девять из десяти смертельных исходов в результате ДТП регистрируются в странах с низким и средним уровнем дохода. Уровень риска в государствах с низким доходом примерно втрое выше, чем в странах с высоким доходом. Это особенно существенно с учетом того, что на государства с низким уровнем дохода приходится лишь около 1 % мирового парка автомобилей. Совокупные экономические потери от ДТП оцениваются более чем в 500 млрд долларов ежегодно [1].

Наиболее тяжелые последствия ДТП наблюдаются среди участников движения, которые практически не защищены конструкцией транспортного средства. К ним относятся пешеходы, велосипедисты, водители мотоциклов и другого двух- и трехколесного транспорта, а также пользователи средств персональной мобильности. На уязвимых участников приходится около 53 % всех смертельных случаев на дорогах. В эту группу входят: пешеходы – около 23 %; водители двух- и трехколесных транспортных средств – около 21 %; велосипедисты – примерно 6 %; пользователи средств персональной мобильности – около 3 %. Для сравнения: на пассажиров легковых автомобилей и других легких четырехколесных транспортных средств приходится около 30 % смертельных случаев.

В городской среде опасность для уязвимых участников формируют высокая интенсивность движения, значительная разница в скорости между автомобилями и немоторизованными участниками, недостаточная видимость, отсутствие физической защиты и пересечение транспортных потоков в ограниченном пространстве. Особенно сложной является ситуация в часы пик.

Снижение риска возможно при пространственном и временном разделении различных потоков: обустройство изолированных велосипедных дорожек, создание безопасных пешеходных переходов, снижение скорости движения в местах концентрации пешеходов, улучшение освещения и применение средств принудительного успокоения трафика.

Одной из причин высокого уровня травматизма остается недостаточная приспособленность дорожной инфраструктуры к потребностям уязвимых участников движения. По данным ВОЗ, велосипедные дорожки имеются лишь на небольшой части дорог мира. Во многих населенных пунктах отсутствуют полноценные тротуары, безопасные переходы и непрерывные маршруты для велосипедистов.

Дополнительной проблемой является отсутствие комплексной государственной политики, направленной на развитие пешего и велосипедного передвижения. Менее трети стран располагают национальными документами, стимулирующими использование этих видов мобильности.

Анализ причин ДТП показывает, что значительная часть аварий связана с ошибочными действиями водителей. Наиболее распространенными факторами являются превышение или неправильный выбор скорости с учетом дорожной обстановки – около 32 %; нарушение очередности проезда перекрестков – около 18 %; неправильный выбор дистанции – около 8 %; выезд на полосу встречного движения – около 8 % [2–5]. Ответственность за безопасность нельзя возлагать исключительно на водителей. Аварийность формируется под воздействием всей транспортной системы, включающей дорожную инфраструктуру, техническое состояние автомобилей, организацию движения, уровень подготовки участников и качество контроля за соблюдением правил.

Предупреждение ДТП требует комплексного подхода. Важную роль играет создание инфраструктуры, которая учитывает особенности перемещения пешеходов, велосипедистов и пользователей средств персональной мобильности. Не менее значимым является поддержание дорог, тротуаров, переходов и элементов регулирования в исправном состоянии.

Безопасность транспортных средств также оказывает непосредственное влияние на тяжесть последствий аварий. Для защиты уязвимых участников необходимо сочетать безопасную конструкцию транспортных средств с ограничением скорости, улучшением видимости, организацией обособленных маршрутов и контролем конфликтных зон.

Отдельного внимания требуют ситуации взаимодействия пешеходов и пользователей средств персональной мобильности. Конфликты между ними возникают не только из-за нарушения правил, но и вследствие отсутствия четкого распределения пространства.

Таким образом, снижение аварийности среди уязвимых участников движения предполагает одновременное воздействие на несколько факторов: поведение участников, скорость транспортных потоков, устройство дорожной инфраструктуры и техническую безопасность транспортных средств. Только системное сочетание этих мер позволит уменьшить число погибших и пострадавших и сформировать более безопасную городскую транспортную среду.

Список литературы

1 Дорожно-транспортный травматизм // Всемирная организация здравоохранения. – URL: https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/road-traffic-injuries (дата обращения: 05.07.2026).

2 Обеспечение безопасности дорожного движения // Всемирная организация здравоохранения. – URL: https://www.who.int/ru/news/item/13-12-2023-despite-notable-progress-road-safety-remains-urgent-global-issue (дата обращения: 01.09.2026).

3 Bicyclists and Other Cyclists // Traffic Safety Facts. – URL: https://crashstats.nhtsa.dot.gov/Api/Public/ViewPublication/813739.pdf (дата обращения: 03.06.2026).

4 Средство персональной мобильности // ПДД.BY. – URL: https://pdd.by/pdd/ru/156/ (дата обращения: 03.08.2026).

5 Глобальный план десятилетия действий по обеспечению безопасности дорожного движения 2021–2030. – URL: https://cdn.who.int/media/-docs/default-source/documents/health-topics/road-traffic-injuries/21321-russian-global-plan-for-road-safety.pdf (дата обращения: 15.05.2026).

УДК 341.1/8+347.463

РОЛЬ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЩЕСТВЕННОГО ТРАНСПОРТА В ОБЕСПЕЧЕНИИ ПРАВ ЛЮДЕЙ С ИНВАЛИДНОСТЬЮ: МЕЖДУНАРОДНО-ПРАВОВОЙ АСПЕКТ

Н. М. ШЕВКО
Белорусский государственный университет, г. Минск

Безопасность является одной из наиболее важных потребностей всех людей, особенно людей с инвалидностью, которые ежедневно сталкиваются со всевозможными препятствиями. Очевидно, что по мере увеличения численности пользующихся сетями транспортных средств, числа их водителей и пассажиров, а также в связи с ростом объемов внутренней и международной торговли и грузовых перевозок задачи обеспечения безопасности дорожного движения во всем мире приобретают критически важное значение [1, с. 49]. В свою очередь, общественный транспорт играет жизненно важную роль для всех без исключения людей, независимо от их социального статуса, возраста, профессии и состояния здоровья [2, с. 9]. Согласимся с тем, что безопасность общественного транспорта – очень широкое понятие, включающее в себя множество аспектов: технических, социально-экономических, юридическо-правовых и др. [3, с. 89]. Несмотря на то, что транспортная безопасность на всех видах транспорта является одним из основных требований всех его пользователей, потребности пользователей с инвалидностью в этой области не всегда учитываются. Принимая во внимание тот факт, что к 2050 году в городах и поселках будет проживать 1 миллиард людей с инвалидностью, обеспечение доступности и безопасности общественного транспорта для этой категории граждан является одним из ключевых направлений развития устойчивой и доступной городской мобильности и сетей общественного транспорта с целью улучшения их качества жизни [4, с. 3].

Представляется очевидным, что безопасное передвижение людей с инвалидностью наравне с другими является неотъемлемым условием мобильности и выступает базовым условием реализации практически всех прав человека этой категории граждан. С одной стороны, обеспечение безопасности общественного транспорта способствует реализации таких прав людей с инвалидностью, как право на жизнь [5, с. 3], право на здоровье [6, п. 3] и право на передвижение [5, с. 13]. С другой стороны, не являясь однородной группой, люди с разными видами нарушений сталкиваются с различными барьерами и угрозами в процессе обеспечения безопасности общественного транспорта. Как отмечают зарубежные авторы, угрозы безопасности на общественном транспорте можно разделить на две группы: угрозы, возникающие из-за поведения пользователей, и угрозы, возникающие из-за состояния транспортной системы. Первая группа включает поведение путешественников, водителей или случайных прохожих. Ко второй группе относятся недостаточное оснащение транспортных средств, их плохое состояние или низкий технический уровень инфраструктуры. Сущность указанных угроз сводится к тому, что они не только препятствуют использованию людьми с инвалидностью различных видов транспорта, но и значительно снижают их чувство безопасности [7, п. 2], что, с позиции подхода к инвалидности в рамках Конвенции о защите прав инвалидов 2006 г. (далее Конвенция) расценивается как нарушение равенства и дискриминация по признаку инвалидности. Отметим, что содержащееся в Конвенции определение дискриминации по признаку инвалидности основано на юридических определениях дискриминации в международных правозащитных договорах. Однако оно выходит за рамки этих определений в двух аспектах: во-первых, в качестве одной из форм дискриминации по признаку инвалидности оно предусматривает «отказ в разумном приспособлении»; во-вторых, новым в нем является слово-

сочетание «наравне с другими» [8, п. 17]. Так, отсутствие в общественном транспорте вспомогательных подъемных устройств, откидных или выдвижных рамп, удерживающих систем крепления людей с инвалидностью, использующих при передвижении кресло-коляску представляет собой дискриминацию, не ограничивающуюся признаком инвалидности, поскольку указанные модификации являются необходимыми и надлежащими для инвалидов-колясочников в их равном и безопасном использовании общественного транспорта.

В продолжение отметим, что препятствование использованию людьми с инвалидностью общественного транспорта влечет за собой нарушение такого принципа Конвенции, как доступность (статья 3 (f)) [9]. Доступность является предварительным условием для обеспечения людям с инвалидностью возможности вести независимый образ жизни и всесторонне участвовать в жизни общества наравне с другими [10, п. 1]. В силу того, что доступ к общественному транспорту является ключевым фактором мобильности и социальной интеграции, физическая доступность общественного транспорта способствует реализации таких прав людей с инвалидностью, как право на индивидуальную мобильность (ст. 20 Конвенции), право на образование (ст. 24 Конвенции), право на здоровье (ст. 25 Конвенции), право на труд и занятость (ст. 27 Конвенции).

Таким образом, обеспечение безопасности общественного транспорта неразрывно связано с реализацией прав людей с инвалидностью наравне с другими. В этой связи всеобщий доступ к безопасным транспортным системам с особым вниманием к нуждам людей с инвалидностью будет способствовать обеспечению открытости, безопасности, жизнестойкости и экологической устойчивости городов и населенных пунктов (ЦУР 11.2) [11]. Поэтому обеспечение доступного и безопасного общественного транспорта должно стать основным направлением устойчивой городской мобильности, особенно с учётом роста числа людей с инвалидностью, чтобы гарантировать их независимую жизнь и полное включение в общество.

Список литературы

1 **Хотько, О. А.** Регулятивная и охранительная функции права при обеспечении безопасности транспортной деятельности и устойчивости транспортной системы / О. А. Хотько, Н. М. Шевко // Проблемы безопасности на транспорте : материалы XIV Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. пятилетке качества, Гомель, 20–21 нояб. 2025 г. : в 2 ч. Ч. 1 / М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Бел. ж. д., Белорус. гос. ун-т трансп. ; под общ. ред. Н. Н. Казакова. – Гомель : БелГУТ, 2025. – С. 49–50.

2 **Бессчетнова, О. В.** Общественный транспорт глазами лиц с инвалидностью / О. В. Бессчетнова, Д. А. Матвеев // Человек. Общество. Инклюзия. – 2023. – № 1 (53). – С. 8–16. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/obschestvennyy-transport-glazami-lits-s-invalidnostyu-agressivnaya-sreda-vs-inklyuziya/viewer (дата обращения: 10.09.2026).

3 **Медведев А. В.** Безопасность в общественном транспорте как фактор привлекательности общественного мнения / А. В. Медведев, Р. А. Медведев // Социология. – 2022. – № 6. – С. 89–97. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/bezopasnost-v-obschestvennom-transporte-kak-faktor-privlekatelnosti-obschestvennogo-mneniya/viewer (дата обращения: 10.09.2026).

4 Safe and accessible public transport for all // UITP. – URL: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.hi.org/sn_uploads/document/190518-sdgs_uitpHI_REPORT_LRes.pdf (date of access: 10.09.2026).

5 Всеобщая декларация прав человека 1948 г., принята резолюц. 217 А (III) Ген. Ассамбл. ООН от 10 дек. 1948 г. // ООН. – URL: https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/declarations/declhr.shtml (дата обращения: 10.09.2026).

6 Замечание общего порядка № 14 (2000) Право на наивысший достижимый уровень здоровья (Статья 12 Международного пакта об экономических, социальных и культурных правах) // ООН. – URL: https://docs.un.org/ru/E/C.12/2000/4 (дата обращения: 10.09.2026).

7 **Beczkowska, S. A.** Safety of People with Special Needs in Public Transport / S. A. Beczkowska, Z. Zysk // Sustainability. – 2021. – № 13, 10733. – P. 1–18. – URL: https://www.mdpi.com/2071-1050/13/19/10733 (date of access: 10.09.2026).

8 Замечание общего порядка № 6 (2018) по вопросу равенства и недискриминации. Комитет по правам инвалидов // ООН. – URL: https://docs.un.org/ru/CRPD/C/GC/6. (дата обращения: 10.09.2026).

9 Конвенция о правах инвалидов, принята резолюцией 61/106 Ген. Ассамбл. от 13 декабря 2006 г. // ООН. – URL: https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/disability.shtml (дата обращения: 10.09.2026).

10 Замечание общего порядка № 2 (2014), Статья 9: Доступность // ООН. – URL: https://www.ohchr.org/ru/documents/general-comments-and-recommendations/general-comment-no-2-article-9-accessibility-adopted (дата обращения: 10.09.2026).

11 Преобразование нашего мира. Повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030 г., принята Ген. Ассамбл. 25 сентября 2015 г. // ООН. – URL: https://docs.un.org/ru/A/RES/70/1 (дата обращения: 10.09.2026).

8 ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ В ОБЕСПЕЧЕНИИ БЕЗОПАСНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

УДК 624.21.037:625.42

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КРИТИЧЕСКОГО СЕЧЕНИЯ ОПОРЫ ЭСТАКАДЫ МЕТРОПОЛИТЕНА И ВЕРИФИКАЦИЯ ЛОКАЛЬНЫХ РАСЧЕТНЫХ МОДЕЛЕЙ

Ф. Э. АБДУКАДИРОВ. Т. М. ХАСАНОВ
Ташкентский государственный транспортный университет, Республика Узбекистан

Эксплуатационная надежность и безопасность опор эстакад метрополитена определяются не только прочностью, но и деформативностью, трещиностойкостью и схемой армирования. Комбинированное применение стальной и базальтокомпозитной арматуры (БКА) в функциональных зонах элемента требует экспериментальной оценки и проверки адекватности расчетной модели [2–6]. Цель работы – исследовать процессы местного изгиба и трещинообразования, характерные для критического сечения опоры, на локальных эквивалентных образцах и количественно верифицировать соответствующие локальные модели LIRA-SAPR по экспериментальным данным.

Для эксперимента изготовлено шесть локальных эквивалентных образцов из бетона класса B30 размером 250×250×1500 мм. Поперечное сечение принято в геометрическом отношении 1:8 к номинальному сечению прототипа 2000×2000 мм [1]; длина 1500 мм не являлась полной геометрической копией и назначалась из условий четырехточечного изгиба. Расстояние между осями опор составило 1400 мм, от опоры до оси нагрузки a = 550 мм, длина зоны чистого изгиба – 300 мм. Продольная арматура разделена на группы AU (4Ø8 мм по углам сечения) и AS (4Ø6 мм в серединах сторон). Первая буква кода серии относится к AU, вторая – к AS; P обозначает стальную арматуру, B – БКА: PP – сталь/сталь, PB – сталь/БКА, BP – БКА/сталь. Во всех сериях номинальная площадь продольной арматуры составляла 314,16 мм², геометрический коэффициент армирования – 0,503 % (рисунок 1).

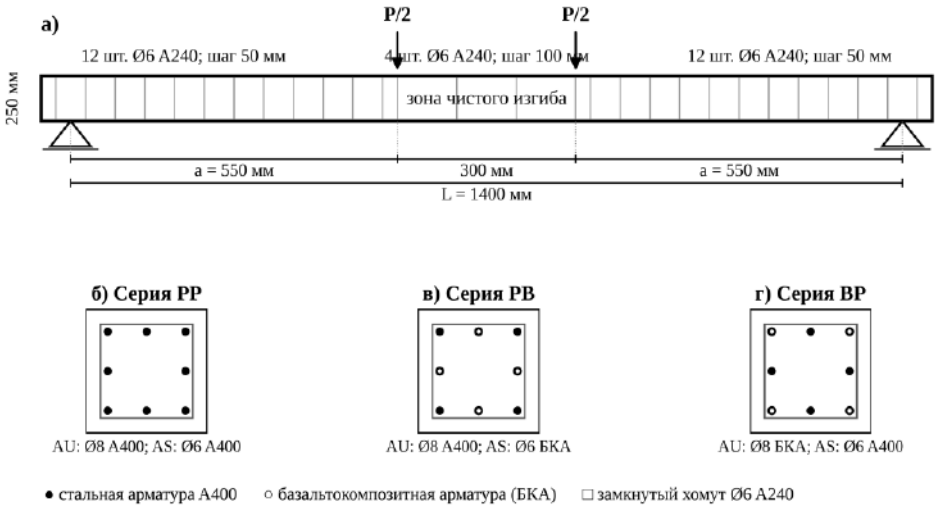


Рисунок 1 – Схема нагружения образца и варианты армирования серий PP, PB и BP

По индивидуальным скорректированным результатам контрольных кубов средняя прочность бетона B30 в возрасте 28 суток составила 38,10 МПа, а прочность серии по ГОСТ 10180-2012 – 38,41 МПа. Образцы испытывали в возрасте 35 суток на гидравлическом прессе UTC-5727FPR по схеме четырехточечного статического изгиба. Центральный прогиб корректировали с учетом локальных перемещений опор; регистрировали зависимость «нагрузка – прогиб», развитие трещин и

нагрузку, соответствующую ширине раскрытия w = 0,10 мм. Максимальная зарегистрированная нагрузка пресса не отождествлялась с предельной несущей способностью, поскольку единый физический критерий разрушения не задавался.

Средняя нагрузка, соответствующая w = 0,10 мм, во всех сериях составила 29,91 кН. При контрольной нагрузке 58,84 кН средний скорректированный прогиб для РР, РВ и ВР составил соответственно 14,02; 10,78 и 13,02 мм; для РВ он был на 23,13 % меньше, чем для РР. Однако в диапазоне 24,52–49,03 кН кривая РВ располагалась между РР и ВР, поэтому результат при 58,84 кН не трактовался как абсолютное преимущество по жесткости на всей истории нагружения.

Средние максимальные ширины трещин к завершению испытаний составили 3,90; 1,08 и 0,53 мм соответственно; поскольку значения получены при разных конечных нагрузках, они использовались только как характеристика конечного состояния (рисунок 2).

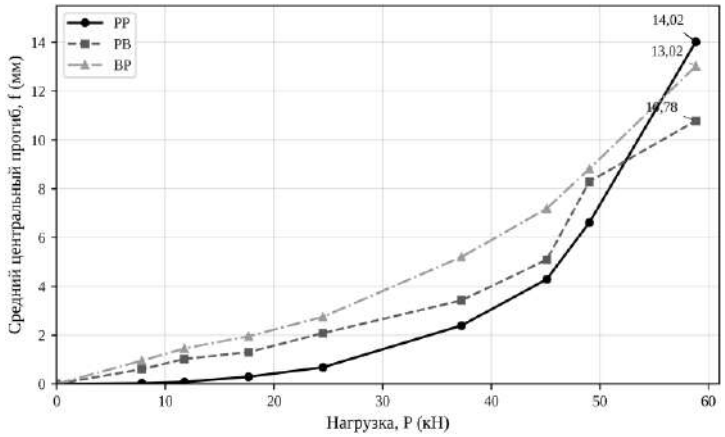


Рисунок 2 – Средние экспериментальные диаграммы «нагрузка – прогиб» серий РР, РВ и ВР

Соответствие расчетных и экспериментальных прогибов оценивали по среднеквадратической ошибке RMSEf (Root Mean Square Error, мм) и нормализованной среднеквадратической ошибке NRMSEf (Normalized Root Mean Square Error, %). RMSEf характеризует абсолютное интегральное расхождение прогибов, NRMSEf – то же расхождение, нормированное на диапазон экспериментальных прогибов, поэтому NRMSEf не является прямой «процентной ошибкой» модели. Для РР получено RMSEf = 0,101 мм и NRMSEf = 1,54 % по шести общим точкам; для РВ – 1,179 мм и 16,03 % по трем точкам; для ВР – 1,448 мм и 19,67 % по шести точкам. Из-за различий диапазонов и числа точек значения РВ и ВР не использовались как межсерийный рейтинг точности.

По трещинообразованию для РР и РВ сопоставлялись экспериментальная нагрузка первого визуального трещинообразования и первый расчетный этап с $a_{crc} > 0$; расхождения составили соответственно 13,3 и 25,90 %, при этом критерии физически не полностью идентичны. Для ВР в эксперименте и расчете использован одинаковый критерий $w = a_{crc}$ = 0,10 мм: 29,91 и 28,96 кН, расхождение – 3,18 %. Модель РР в устойчивом диапазоне показала высокое количественное соответствие эксперименту; для РВ и ВР согласование было ограниченным, что указывает на необходимость дальнейшего уточнения деформационной модели БКА и эффективной жесткости трещиноватого сечения. Полученная верификация относится к локальному механизму критического сечения и не является экспериментальным подтверждением глобальной модели всей опоры эстакады.

Список литературы

1 **Седов, Л. И.** Методы подобия и размерности в механике / Л. И. Седов. – 8-е изд. – М. : Наука, 1977. – 440 с.

2 **Абдусаттаров, А.** Моделирование процессов деформирования, повреждаемости и прочности элементов конструкций / А. Абдусаттаров, Ф. Э. Абдукадиров. – Ташкент : Узбекистон, 2020. – 164 с.

3 ГОСТ 31938-2022. Арматура композитная полимерная для армирования бетонных конструкций. Общие технические условия. – Введ. 01.09.2022. – М. : Рос. ин-т стандартизации, 2022. – 19 с.

4 ШНҚ 2.03.14-18. Композит полимер арматурали бетон конструкциялар. – Тошкент, 2018. – 82 с.

5 **Razzakov, S. J.** Strength and Crack Resistance of Hybrid Steel-BFRP Reinforced Concrete Beams / S. J. Razzakov, R. A. Mavlonov // Miasto Przyszłości. – 2024. – Vol. 50. – P. 337–343.

6 Flexural Behaviors of Hybrid Concrete Beams Reinforced with BFRP Bars and Steel Bars / W. Ge, J. Zhang, D. Cao, Y. Tu // Construction and Building Materials. – 2015. – Vol. 87. – P. 28–37.

УДК 517.9:539.3

МОДЕЛИ УПРУГОГО И ФИЗИЧЕСКИ НЕЛИНЕЙНОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ ТРЁХСЛОЙНЫХ ПЛИТ – ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ

А. АБДУСАТТАРОВ, Ф. Э. АБДУКАДИРОВ, С. Ш. ХОЖАХМАТОВ
Ташкентский государственный транспортный университет, Республика Узбекистан

Функционирование большинства несущих элементов конструкции происходит на фоне выхода материалов за пределы упругости. При действии циклических нагрузок это приводит к возникновению ряда дополнительных явлений, таких как возникновение вторичных пластических деформаций, изменение диаграмм деформирования от цикла к циклу, проявление свойств циклического упрочнения-разупрочнения, накопление повреждений, приводящих к разрушению материалов.

В работах [1, 2] отмечено, что слоистые конструкции, в частности трехслойные, выполненные из материалов с существенно отличающимися физико-механическими и прочностными свойствами, обладают широким спектром новых качеств: высокой несущей способностью и изгибной жесткостью, стойкостью к тепловым воздействиям, сравнительно малым удельным весом по сравнению с традиционными однослойными конструкциями.

Повышение прочности, снижение материалоемкости, анализ и оценка напряженно-деформированного состояния (НДС) трехслойных плит – дорожных покрытий с учетом повреждаемости и трещин – наиболее важные условия повышения их применения в отраслях дорожного строительства. В монографии [3] изложено современное представление о составе, структуре, физико-механических и реологических свойств материалов, а также системы оценки качества дорожных асфальтобетонов различных типов, видов и назначения. В работе [4] анализируется методика определения напряженно-деформированного состояния в дорожных одеждах на основе плоской задачи теории упругости. Представлен схематический вид дорожной конструкции и физико-механические и геометрические размеры характеристики материалов конструктивных элементов. Приведен анализ напряженно-деформированного состояния слоистых элементов. В работе [4] представлен схематический вид дорожной конструкции и физико-механические и геометрические размеры конструктивных элементов. В таблице 1 приведены геометрические размеры конструктивных слоев и физико-механические характеристики материалов.

Таблица 1

Материал слоя	h слоя, см	Расчет по допустимому упругость прогибу E, МПа	Расчет по условию сдвигоустойчивости E, Па	Расчет на растяжение при изгибе			
				E, МПа	R_o, МПа	α	m
Асфальтобетон плотный на БНД марки 60/90	6	3200	1800	4500	9,80	5,2	5,5
Асфальтобетон пористый на БНД марки 60/90	9	2000	1200	2800	8,0	5,9	4,3
Асфальтобетон высокопористый на БНД марки 60/90	12	2000	1200	2100	5,65	6,3	4,0
Гравийная смесь	40	205	205	205	–	–	–
Супесь пылеватая $W_п = 0{,}7W_т$	–	46	46	46	–	–	–

Согласно [3, 4] поставлена задача и определена методика расчета элементов дорожных конструкций типа несимметричных по толщине трехслойных пластин на упругом основании. Система координат связывается со срединной плоскостью плиты. На плиту действуют внешние распределенные поверхностные нагрузки q, P_x, P_y и реакция упругого основания по Винклеру. В соответствии с известными геометрическими гипотезами продольные перемещения в слоях $u^{(k)}$ выражаются через искомые функции u_x, u_y, ψ_x, ψ_y, w:

$$u_x^{(1)} = u_x + c\psi_x - cw,_x, \quad u_y^{(1)} = u_y + c\psi_y - cw,_y \qquad (c \le z \le c + h_1);$$
$$u_x^{(3)} = u_x + z\psi_x - zw,_x, \quad u_y^{(1)} = u_y + z\psi_y - zw,_y \qquad (-c \le z \le c); \qquad (1)$$
$$u_x^{(2)} = u_x - c\psi_x - zw,_x, \quad u_y^{(1)} = u_y - c\psi_y - zw,_y \qquad (-c - h_2 \le z \le -c).$$

где z – расстояние от рассматриваемого волокна до срединной плоскости заполнителя; запятой в нижнем индексе обозначается операция дифференцирования по следующей за ней соответствующей координате.

Для связи напряжений и деформации в слоях используются уравнения состояния на основе теории малых упругопластических деформаций Ильюшина:

$$S_{ij}^{(k)} = 2G_k(1-\omega_k(\varepsilon_u^{(k)}))\vartheta_{ij}^{(k)}, \quad \sigma^{(k)} = 3K_k\varepsilon^{(k)}, \tag{2}$$

где $S_{ij}^{(k)}, \sigma^{(k)}, \vartheta_{ij}^{(k)}, \varepsilon^{(k)}$ – девиаторные и шаровые части тензора напряжений и деформаций; G_k, K_k – модуль сдвиговой и объемной деформации k-го слоя; $\varepsilon_u^{(k)}$ – интенсивность деформации; $\omega_k(\varepsilon_u^{(k)})$ – функция пластичности, описывающая физическую нелинейность материала.

Для функции пластичности принимаются следующие выражения:

$$\omega^{(k)}(\varepsilon_u^{(k)}) = \begin{cases} 0, & \varepsilon_u^{(k)} \le \varepsilon_y^{(k)}, \\ A\left(1-\dfrac{\varepsilon_y^{(k)}}{\varepsilon_u^{(k)}}\right)^{\alpha} & \varepsilon_u > \varepsilon_{y0} \end{cases} \qquad \omega^{(3)}(\varepsilon_u^{(3)}) = \begin{cases} 0, & \varepsilon_u^{(3)} \le \varepsilon_{u0}^{(3)} \\ A_1\left(1-\dfrac{\varepsilon_{u0}^{(3)}}{\varepsilon_u^{(3)}}\right)^{\alpha_1} \end{cases}.$$

Для вывода уравнения равновесия трехслойной плиты воспользовались вариационным принципом Лагранжа

$$\delta(A - \Pi) = 0, \tag{3}$$

где δA – вариация работы внешних сил;

$$\delta A = \iint_S (P_x\delta u_x + P_y\delta u_y + (q+q_A)\delta w)dS, \tag{4}$$

δA – вариация потенциальной энергии, имеющая вид

$$\delta\Pi = \iint_S \left\{ \sum_{k=1}^{3} \int_{h_k} \left(\sigma_{xx}^{(k)}\delta\varepsilon_{xx}^{(k)} + \sigma_{yy}^{(k)}\delta\varepsilon_{yy}^{(k)} + \sigma_{xy}^{(k)}\delta\varepsilon_{xy}^{(k)}\right)dz + 2\int_{h_k}\left(\sigma_{xz}^{(k)}\delta\varepsilon_{xz}^{(k)} + \sigma_{yz}^{(k)}\delta\varepsilon_{yz}^{(k)}\right)dz \right\} dxdy. \tag{5}$$

В результате введения обобщенных внутренних усилий и моментов при использовании соотношения [1] из вариационного уравнения получена система дифференциальных уравнений равновесия трехслойных плит с учетом физической нелинейности материалов слоев с соответствующими граничными условиями:

$$\begin{aligned} &N_{xx,x}^{e} + Q_{xy,y}^{e} = -P_x + P_{x\omega}; \quad N_{yy,y}^{e} + Q_{xy,y}^{e} = -P_y + P_{y\omega}; \\ &M_{xx,xx}^{e} + 2M_{xy,xy}^{e} + M_{yy,yy}^{e} = q + q_R + q_\omega; \end{aligned} \tag{6}$$

здесь нелинейные свойства слоев учитываются дополнительными слагаемыми в правых частях уравнений с индексом ω,

$$P_{x\omega} = N_{xx,x}^{\omega} + Q_{xy,y}^{\omega}; \quad P_{y\omega} = N_{yy,y}^{\omega} + Q_{xy,x}^{\omega}; \quad q_\omega = M_{xx,xx}^{\omega} + 2M_{xy,xy}^{\omega} + M_{yy,yy}^{\omega}. \tag{7}$$

К системе уравнений (6) следует добавить граничные условия для плиты вдоль линии $y = 0$; b и $x = 0$; a с учетом величины с индексом ω.

Следуя [1, 2], решение ищется в двойных тригонометрических рядах. Например,

$$w = \sum_{n=m=0}^{\infty} w_{mn}\sin\frac{\pi nx}{a}\sin\frac{\pi my}{b}, \ ..., \psi_y = \sum_{n=m=0}^{\infty}\psi_{mn}\sin\frac{\pi nx}{a}\cos\frac{\pi my}{b}, \tag{8}$$

$$q = \sum_{n=m=0}^{\infty} q_{mn}\sin\frac{\pi nx}{a}\sin\frac{\pi my}{b}, \ ..., q_{mn} = \frac{4}{ab}\int_0^a\int_0^b q(x,y)\sin\frac{\pi nx}{a}\cos\frac{\pi my}{b}dxdy. \tag{9}$$

После подстановки перемещений (8) и нагрузки (9) в уравнение равновесия (6) получим систему алгебраических уравнений для определения искомых амплитуд перемещений.

В качестве иллюстрации приведены результаты расчета цилиндрического изгиба упругого асфальтобетонного покрытия на упругом основании. На рисунке 1 показано изменение прогиба w и относительного сдвига – ψ_x. Кривые соответствуют различным по величине коэффициентам жесткости основания k. Согласно таблице 1 приняты следующие значения модулей упругости материалов слоев, 10^{-3} МПа, $G_1 = 1{,}28$, $G_2 = 0{,}80$, $G_3 = 0{,}54$; $K_1 = 2{,}13$, $K_2 = 1{,}33$, $K_3 = 1{,}17$; толщины слоев, м, $h_1 = 0{,}05$, $h_2 = h_3 = 0{,}10$; $a = b = 1$, $q = 1$ МПа. Жесткости основания, МПа/м: 1 – $k = 1$; 2 – $k = 100$; кривые 2, 3 соответствуют значению жесткости основания: –$k = 1$, k =100, $k = 500$.

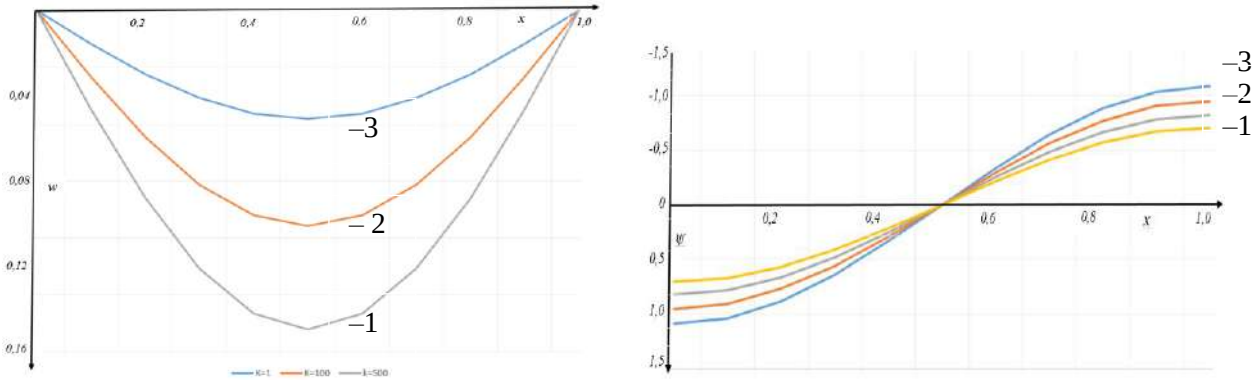


Рисунок 1

Рассмотрена методика решения данной задачи при повторном и знакопеременном нагружении трехслойной плиты из асфальтобетонного покрытия с учетом накопления повреждаемости [5].

Список литературы

1 **Старовойтов, Э. И.** Вязкоупругопластические слоистые пластины и оболочки / Э. И. Старовойтов. – Гомель : БелГУТ, 2002. – 344 с.

2 **Старовойтов, Э. И.** Изгиб трехслойной пластины в температурном поле знакопеременной кольцевой нагрузкой / Э. И. Старовойтов, Д. В. Леоненко, А. Абдусаттаров // Механика композиционных материалов и конструкций. – 2022. – Т. 28, № 3. – С. 339–358.

3 **Золоторёв, В. А.** Избранные труды. Т. 3. Дорожные асфальтобетоны / В. А. Золоторёв. – СПб. : Славутич, 2015. – 184 с.

4 **Телтаев, Б. Б.** Закономерность самоорганизации асфальтобетонного покрытия при низкотемпературном трещинооброзовании / Б. Б. Телтаев // Вестник КазДорНИИ, 2016. – 104 с.

5 К моделированию расчета деформирования плиты (асфальтобетонных покрытий) с учетом повреждаемости материалов / А. Абдусаттаров, Ф. Э. Абдукадиров, А. М. Карабаев, С. Ш. Хожахматов // Железнодорожный транспорт: актуальные задачи и инновации. – 2023. – № 1. – С. 71–77.

УДК 539.3

РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ ФИЗИЧЕСКИ НЕЛИНЕЙНОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ ПРИ ЦИКЛИЧЕСКИХ НАГРУЖЕНИЯХ С УЧЕТОМ ПОВРЕЖДАЕМОСТИ

А. АБДУСАТТАРОВ, Н. Б. РУЗИЕВА

Ташкентский государственный транспортный университет, Республика Узбекистан

Введение. Проблема оценки напряженно-деформированного состояния магистральных трубопроводов при различных режимах нагружения определяется необходимостью учета физически нелинейных свойств материала труб, видами эксплуатационных нагрузок и взаимодействием с окружающей средой. Это направление получило развитие в исследованиях [1–4], где напряженно-деформированное состояние трубопроводов рассматривается с учетом сложных инженерно-геологических условий и взаимодействия системы «трубопровод – грунт».

Важным фактором формирования напряженного состояния является внутреннее давление. В работе [3] исследованы режимы нагружения магистральных нефтепроводов внутренним давлением. При длительной эксплуатации воздействие давления носит повторно-циклический характер, что обусловливает развитие пластических деформаций и накопление повреждений. Экспериментальная оценка работоспособности труб при циклическом нагружении выполнена в работе [4], что подтверждает необходимость учета циклической составляющей при оценке ресурса трубопроводов.

В публикациях [3–5] отмечается, что традиционные исследования и расчеты на прочность оказываются недостаточными для оценки эксплуатационной надежности магистральных трубопроводов. Одним из таких факторов является повторно-статический, циклический характер их нагружения внутренним давлением и повреждаемости материала трубопровода. Отмеченное делает актуальным проведение исследований, связанных с выявлением факторов, существенно влияющих на напряженно-деформированное состояние и малоцикловую прочность трубопроводов, разработку критериев оценки повреждаемости и разрушения [5]. Прочность магистрального трубопровода зависит от надежности и ритмичности работы каждого элемента. Особенностью работы элементов линейной части трубопроводов (водопроводов, нефтепроводов) является нестационарный режим нагружения их внутренним давлением. За время расчетного срока службы нефтепровода суммарное число циклов нагружения внутренним давлением составляет примерно 10^3–10^4 циклов и в соответствии с условной границей является не статическим, а малоцикловым нагружением. Отсюда следует, что при расчете трубопроводов нужно учитывать циклические свойства материалов на прочность и долговечность при малоцикловом нагружении [4, 5].

Как известно, в настоящее время строительство магистральных трубопроводов характеризуется непрерывным увеличением геометрических размеров и рабочих давлений. Это, в свою очередь, накладывает высокую степень ответственности при эксплуатации магистральных трубопроводных систем. На рисунке 1 приведен анализ основных показателей разрушения трубопроводных систем (газонефтепроводах). Данные указывают на сложность и необходимость решения научно-технических проблем, без решения которых дальнейшее активное развитие магистральных трубопроводов, обеспечение гарантированной надежности и безопасности невозможны.

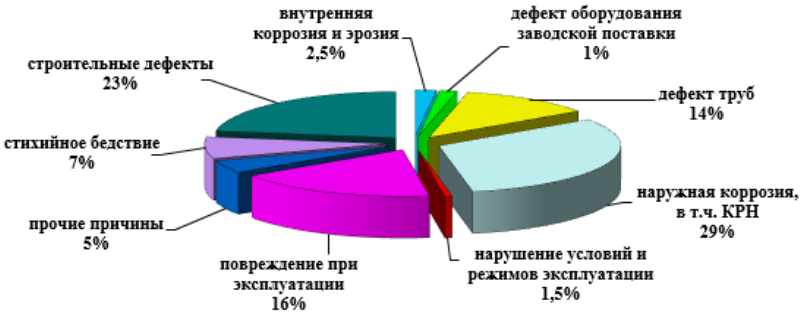


Рисунок 1

Таким образом, существующие исследования охватывают отдельные аспекты рассматриваемой проблемы: прочность трубопроводов, циклическое нагружение, упругопластическое деформирование, повреждаемость и взаимодействие с грунтом. Однако их комплексный учет в единой расчетной модели, позволяющей оценивать накопление повреждений и изменение напряженно-деформированного состояния магистрального трубопровода при однократных и циклических нагрузках, остается актуальной научной задачей.

Постановка задач. Приведены постановка задачи и схема расчета магистральных трубопроводов при пространственно-переменном нагружении на основе теории малых упругопластических деформаций А. А. Ильюшина и уточненной теории стержней, в предложенный в [1]. Рассмотрим трубопровод произвольного сечения при воздействии внешних переменных сил. Ось *ox* направим по длине трубы, а оси *oz* и *oy* – по поперечному сечению. Следуя теории В. В. Москвитина [6], введем разности

$$\overline{u}_i^{(n)} = (-1)^n (u_i^{(n-1)} - u_i^{(n)}); \quad \overline{e}_{ij}^{(n)} = (-1)^n (e_{ij}^{(n-1)} - e_{ij}^{(n)}); \quad \overline{\sigma}_{ij}^{(n)} = (-1)^n (\sigma_{ij}^{(n-1)} - \sigma_{ij}^{(n)}). \qquad (1)$$

Перемещения точек трубопровода при переменном нагружении представим в следующем виде (в цилиндрических координатах):

$$\bar{u}_1^{(n)}(x,r,\gamma,t)=\bar{u}^{(n)}(x,t)-\bar{\alpha}_1^{(n)}(x,t)r\cos\gamma-\bar{\alpha}_2^{(n)}(x,t)r\sin\gamma+\varphi\bar{v}^{(n)}(x,t)+a_1\beta_1^{(n)}(x,t)+a_2\beta_2^{(n)}(x,t),$$
$$\bar{u}_2^{(n)}(x,r,\gamma,t)=\bar{\upsilon}^{(n)}(x,t)-\bar{\theta}^{(n)}(x,t)r\sin\gamma,\ \bar{u}_3^{(n)}(x,r,\gamma,t)=\bar{w}^{(n)}(x,t)+\bar{\theta}^{(n)}(x,t)r\cos\gamma, \qquad (2)$$

где $\bar{u}^{(n)}$, $\bar{v}^{(n)}$, $\bar{w}^{(n)}$ – компоненты перемещений; $\bar{\alpha}_1^{(n)}, \bar{\alpha}_2^{(n)}$ – углы поворота сечения при чистом изгибе; $\bar{\beta}_1^{(n)}, \bar{\beta}_2^{(n)}$ – углы поперечного сдвига; $\bar{\theta}^{(n)}$ – угол кручения; $\bar{\nu}^{(n)}$ – погонная закрутка при *n*-м нагружении; φ – функция кручения Сен-Венана (далее знак черты опускаем). Считаем, что при циклическом нагружении компоненты напряжений связаны через деформации следующим образом [1]:

$$\sigma_{11}^{(k)}=3G\left\{e_{11}^{(k)}-\left[\omega^{(k)}e_{11}^{(k)}+\sum_{m=1}^{k-1}\omega^{0(k-m)}\bar{\varepsilon}_{11}^{0(k-m)}\right]\right\},\ \sigma_{13}^{(k)}=G\left\{e_{13}^{(k)}-\omega^{(k)}\bar{\varepsilon}_{13}^{(k)}-\sum_{m=1}^{k-1}\omega^{0(k-m)}\bar{\varepsilon}_{13}^{0(k-m)}\right\},$$
$$\sigma_{12}^{(k)}=G\left\{e_{12}^{(k)}-\omega^{(k)}\bar{\varepsilon}_{12}^{(k)}-\sum_{m=1}^{k-1}\omega^{0(k-m)}\bar{\varepsilon}_{12}^{0(k-m)}\right\}. \qquad (3)$$

При линейном упрочнении функция пластичности принимает вид (рисунок 2)

$$\omega^{(n)}=\begin{cases}0, & \text{при } \bar{\varepsilon}_u^{(n)}\le\bar{\varepsilon}_s^{(n)}(\eta)\\ \lambda_n\left[1-\dfrac{\bar{\varepsilon}_s^{(n)}(\eta)}{\bar{\varepsilon}_u^{(n)}}\right], & \text{при } \bar{\varepsilon}_u^{(n)}>\bar{\varepsilon}_s^{(n)}(\eta)\end{cases}.$$

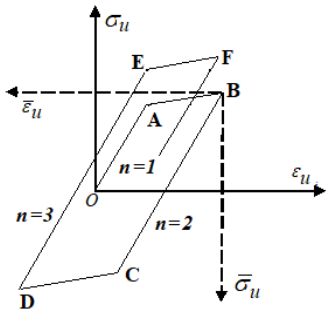


Рисунок 2

В случае учета накопления повреждений

$$\bar{\varepsilon}_s^{(n)}(\eta)=\alpha_1^{n-z}(1+\alpha_1)\varepsilon_s+(3G)^{-1}B^{1/\alpha}\times$$
$$\times\left[1-0{,}5(1+\alpha_1)\alpha_1^{n-2}\right]\left[1-(1-\eta)^{1+\alpha}\right]^{1/\alpha}(n-1)^{-1/\alpha},$$

где функция повреждаемости η определяется из кинетического уравнения [6]:

$$\frac{d\eta}{dn}=f(\bar{\sigma}_u^{(n)},\eta_n)\quad\text{или}\quad\eta=\int_0^n F(n-m)\psi\left(\bar{\sigma}_u^{(n)}\right)dm\,. \qquad (4)$$

При $\eta(0)=0;\quad\eta(N)=1,$ где N – число полуциклов нагружения.

Для вывода уравнений движения (равновесия) магистральных трубопроводов при пространственном нагружении с учетом упругопластических деформаций используем вариационный принцип Гамильтона – Остроградского [5]

$$\delta\int_t(T-\Pi+A)dt=0\,. \qquad (5)$$

Выполняя операции интегрирования по частям для определения кинетической энергии, имеем соотношение

$$\delta\int_t Tdt=\int_V\rho\sum_{i=1}^3\left[\frac{\partial u_i^{(n)}}{\partial t}\cdot\delta u_i^{(n)}\right]dv\Big|_t-\int_t\int_V\rho\sum_{i=1}^3\left[\frac{\partial^2u_i^{(n)}}{\partial t^2}\cdot\delta u_i^{(n)}\right]dvdt. \qquad (6)$$

В данной постановке выражения потенциальной энергии имеет вид

$$\delta\int_t\Pi dt=\int_t\int_v\left(\sum_{i=1}^3\sigma_{i1}^{(n)}\delta\varepsilon_{i1}^{(n)}\right)dVdt=\int_t\int_V\left[\sigma_{11}^{(n)}\delta\varepsilon_{11}^{(n)}+\sigma_{12}^{(n)}\delta\varepsilon_{12}^{(n)}+\sigma_{13}^{(n)}\delta\varepsilon_{13}^{(n)}\right]dVdt. \qquad (7)$$

Вариации работы внешних сил приняты в виде

$$\delta A=\int_V\sum_{i=1}^3 p_i^{(n)}\delta u_i^{(n)}d\upsilon+\int_s\sum_{i=1}^3 q_i^{(n)}\delta u_i^{(n)}ds+\int_{s_1}\sum_{i=1}^3 f_i^{(n)}\delta u_i^{(n)}ds_1\Big|_x\,. \qquad (8)$$

В случае учета силы взаимодействия трубопровода с грунтом в вариации работы внешних сил (8) [1]

$$q_i^{(n)} = -k_i^{(n)}(u_i^{(n)} - u_i^{0(n)}) + \overline{q}_i^{(n)}; \qquad f_i^{(n)} = -k_i^{zp(n)}(u_i^{(n)} - u_i^{0(n)}) + \overline{f}_i^{(n)}, \tag{9}$$

где $q_i^{(n)}$, $f_i^{(n)}$ – поверхностные и торцевые силы.

Из приведенных систем уравнений при повторно-статическом нагружении получена система дифференциальных уравнений равновесия трубопровода с граничными условиями в векторной форме, которая решается методом прогонки. В качестве примера [1] расмотрен расчет упругопластического трубопровода, защемленного по торцам при знакопеременном нагружении. Получены численные значения расчетных величин $M_y^{(k)}, M_z^{(k)}, Q_1^{(k)}, Q_2^{(k)}$ при однократном и циклическом упругопластическом нагружении (k = 1,5). Максимальные значения расчетных величин с учетом повреждаемости отличаются на 7–10 %, количество итераций γ находится в интервале $3 \le \gamma \le 5$. Приведены результаты исследования напряженно-деформированного состояния магистрального трубопровода с учетом обобщенного принципа Мазинга и повреждаемости материала.

Список литературы

1 **Старовойтов, Э. И.** Деформирование и повреждаемость упругопластических элементов конструкций при циклических нагружениях : монография / Э. И. Старовойтов, А. Абдусаттаров, Н. Б. Рузиева. – Ташкент : IDEAL PRESS, 2023. – 381 с.

2 **Зарипов, Р. М.** Научные основы расчета напряженно-деформированного состояния трубопроводов, проложенных в сложных инженерно-геологических условиях : дис. … д-ра. техн. наук / Р. М. Зарипов. – Уфа, 2005. – 344 с.

3 **Аистов, А. С.** Исследования режимов нагружения магистральных нефтепроводов внутренним давлением / А. С. Аистов, М. Ф. Фокин // Транспорт и хранение нефти и нефтепродуктов. – 1981. – № 4. – С. 9–12.

4 **Зорин, Н. Е.** Экспериментальная оценка работоспособности труб магистральных газопроводов при циклическом нагружении: автореф. дис…. канд. техн. наук / Н. Е. Зорин. – М., 2010. – 23 с.

5 **Гусенков А. П.** Малоцикловая прочность оболочечных конструкций / А. П. Гусенков, Г. В. Москвитин, В. Н. Хорошилов. – М. : Наука, 1989. − 254 с.

6 **Москвитин, В. В.** Циклические нагружения элементов конструкций / В. В. Москвитин. – М. : URSS, 2019. – 344 с.

УДК 539.3

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСЧЕТА ДЕФОРМИРОВАНИЯ УПРУГИХ ТРЕХСЛОЙНЫХ СТЕРЖНЕЙ ПРИ ПРОСТРАНСТВЕННОМ НАГРУЖЕНИИ

А. АБДУСАТТАРОВ, С. Ш. ХОЖАХМАТОВ

Ташкентский государственный транспортный университет, Республика Узбекистан

Исследование процессов упругого и физически нелинейного деформирования элементов конструкций, разработка методов и алгоритмов расчета, анализа НДС элементов конструкций и сооружений за пределами упругости при пространственном нагружении с учетом накопления повреждений приобрели особую актуальность. Теория многослойных конструкций, в том числе трехслойных, получила свое развитие в работах С. А. Амбарцумяна, Н. А. Алфутова, Э. И. Григолюка, В. В. Болотина, Я. М. Григоренко, А. Г. Горшкова, Э. И. Старовойтова, Д. В. Леоненко и др.

В работах [1–3] изложены постановка и методы решения задач статики и динамики упругих, упругопластических трехслойных стержней, пластинок и оболочек с учетом тепловых, радиационных воздействии и повреждаемости материалов при однократных и циклических нагружениях.

В данной статье приведены постановка задачи и расчетная модель для анализа деформированного состояния трехслойных упругих стержней при пространственных нагрузках с изотропным сжимаемым заполняющим слоем, симметричным по толщине. Для несущих элементов принимается гипотеза Бернулли, а для заполнителя применимы точные соотношения теории упругости. Перемещения точек вдоль высоты стержня учитываются с помощью линейной аппроксимации. На границах соединения применяются условия непрерывности перемещений. Материалы верхнего и нижнего слоев считаются несжимаемыми в поперечном направлении. Координатная система *xyz* связана с срединной плоскостью заполнителя.

Искомыми считаются прогибы и продольные перемещения срединных поверхностей несущих слоев $w_k(x,t)$ и $u_k(x,t),(k=1,2)$. Продольные и поперечные перемещения в слоях $u^{(k)}(x,z)$ и $w^{(k)}(x,z)$ можно выразить через искомые функции следующими соотношениями [3]:

– в несущих слоях

$$u_1^{(1)} = u_1 - \left(z - c - \frac{h_1}{2} \right) \frac{\partial w_1}{\partial x}, w^{(1)} = w_1, \left(c \le z \le c + h_1 \right),$$

$$u_1^{(2)} = u_2 - \left(z + c + \frac{h_2}{2} \right) \frac{\partial w_2}{\partial x}, w^{(2)} = w_2, \left(-c - h_2 \le z \le -c \right); \tag{1}$$

– в заполнителе

$$u_1^{(3)} = \left(1 + \frac{z}{c} \right) - \left(\frac{1}{2} u_1 + \frac{h_1}{4} \frac{\partial w^{(1)}}{\partial x} \right) + \left(1 - \frac{z}{c} \right) \left(\frac{1}{2} u_2 - \frac{h_2}{4} \frac{\partial w^{(2)}}{\partial x} \right);$$

$$w^{(3)} = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{z}{c} \right) w_1 + \frac{1}{2} \left(1 - \frac{z}{c} \right) w_2, \left(-c \le z \le c \right). \tag{2}$$

Здесь $u^{(1)}, u^{(2)}, u^{(3)}$ – продольные перемещения в слоях; $w^{(1)}, w^{(2)}, w^{(3)}$ – поперечные перемещения в слоях; h_1, h_2, h_3 – высоты слоев, $h_3 = 2$ с.

Введем следующие обозначения:

$$\alpha^{(1)} = \frac{\partial w_1}{\partial x}, \alpha^{(2)} = \frac{\partial w_2}{\partial x}. \tag{3}$$

Подставляя формулы (2) в (1), получаем [4]

$$\begin{cases} u_1^{(1)} = u^{(1)} - z\alpha^{(1)} + \left(c + \frac{h_1}{2} \right) \alpha^{(1)}, w^{(1)} = w_1, \left(c \le z \le c + h_1 \right); \\ u_1^{(2)} = u^{(2)} - z\alpha^{(2)} + \left(c + \frac{h_2}{2} \right) \alpha^{(2)}, w^{(2)} = w_2, \left(-c - h_2 \le z \le -c \right); \\ u_1^{(3)} = \left(1 + \frac{z}{c} \right) \left(\frac{1}{2} u_1 + \frac{h_1}{4} \alpha^{(1)} \right) + \left(1 - \frac{z}{c} \right) \left(\frac{1}{2} u_2 - \frac{h_2}{4} \alpha^{(2)} \right); \\ w^{(3)} = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{z}{c} \right) w_1 + \frac{1}{2} \left(1 - \frac{z}{c} \right) w_2, \left(-c \le z \le c \right). \end{cases} \tag{4}$$

Геометрические соотношения Коши, закон Гука и вариационный принцип Гамильтона – Остроградского используются при разработке математических моделей данной задачи.

Для вывода уравнений движения трехслойного стержня при пространственном нагружении используем вариационный принцип Гамильтона – Остроградского [2]:

$$\int_t \left(\delta T - \delta \Pi + \delta A \right) dt = 0). \tag{5}$$

При определении вариации кинетической, потенциальной энергии и работы внешних сил используются следующие соотношения:

$$\int_t \delta A dt = \int_t \int_v \sum_{i=1}^{3} \rho_i^{(k)} \delta u_i^{(k)} dv + \int_t \int_s \sum_{i=1}^{3} q_i^{(k)} \delta u_i^{(k)} ds dt + \int_t \int_{s_1} \sum_{k=1}^{3} f_i^{(k)} \delta u_i^{(k)} ds_1 dt; \tag{6}$$

$$\int_t \delta \Pi dt = \int_t \int_v \sigma_{ij}^{(k)} \varepsilon_{ij}^{(k)} dv dt; \tag{7}$$

$$\int_t \delta A dt = \int_t \int_v \sum_{i=1}^{3} P_i^{(k)} \delta u_i^{(k)} dv + \int_t \int_s \sum_{i=1}^{3} q_i^{(k)} \delta u_i^{(k)} ds dt + \int_t \int_{s_1} \sum_{k=1}^{3} f_i^{(k)} \delta u_i^{(k)} ds_1 dt.$$

Здесь P_i – объемные силы; q_i – силы, действующие на поверхность; f_i – торцевая сила; k – номер слоя.

Подставляя векторные выражения вариации кинетической (6), потенциальной энергии и работы внешних сил (7) в вариационный принцип (5), получим следующую краевую задачу с начальными и граничными условиями [2, 4]:

$$\bar{A}\frac{d^2U}{dt^2} + A\frac{d^2U}{dx^2} + B\frac{dU}{dx} + CU + DF = 0, \tag{8}$$

$$\bar{A}U\Big|_t = 0, \left[\bar{A}\frac{\partial U}{\partial \bar{t}}\right]\Big|_t = 0, \tag{9}$$

$$\left[\bar{B}\frac{\partial U}{\partial \bar{x}} + \bar{C}U + \bar{D}F_{\text{гр}}\right]\Big|_x = 0, \tag{10}$$

где $U(t, x)$ – вектор перемещения; A, B, C, D – квадратичная матрица шестого порядка, $F^{\text{гр}}$ – вектор внешних сил, действующих на стержень при пространственных нагрузках.

Для нахождения неизвестных системы уравнений (8)–(10) применяется неявная схема центральных конечных разностей, которая сводится к трехдиагональной системе уравнений, имеющей следующий вид:

$$\tilde{A}_i\vec{U}_{i+1,j+1} - \tilde{B}_i\vec{U}_{i,j+1} + C_i\vec{U}_{i-1,j+1} = \vec{F}_i. \tag{11}$$

После определения коэффициентов прогонки находим последний член неизвестных по формуле $\vec{U}_{N,j+1} = \left(\vec{F} - B_n\beta_n\right)/\left(A_n + B_n\alpha_n\right)$. После расчета $\vec{U}_{i,j+1}$ все оставшиеся решения ($i = \overline{N-1,0}$) находятся по рекуррентной формуле

$$\vec{U}_{i,j+1} = \vec{\alpha}_{i+1}\vec{U}_{i+1,j+1} + \beta_{i+1}. \tag{11}$$

Список литературы

1 **Старовойтов, Э. И.** Деформирование трехслойных элементов конструкции на упругом основании / Э. И. Старовойтов, А. В. Яровая, Д. В. Леоненко. – М. : Физматлит, 2006. – 379 с.

2 **Абдусаттаров, А.** Деформирование и повреждаемости упругопластических элементов инженерных конструкций при циклических нагружениях / А. Абдусаттаров, Н. Б. Рузиева, Э. И. Старовойтов. – Ташкент : Узбекистан, 2023. – 301 с.

3 **Леоненко, Д. В.** Динамическое нагружение трехслойного стержня на упругом основании локальной импульсной нагрузкой / Д. В. Леоненко // Механика, сейсмостойкость, машиностроение : сб. материалов Междунар. конф. – Ташкент, 2024. – С. 391–395.

4 **Анарова, Ш. А.** Вычислительный алгоритм расчёта трёхслойных стержней при пространственных нагрузках / Ш. А. Анарова, Д. А. Шокиров // Проблемы вычислительной и прикладной математики. Научный журнал. – 2024. – № 3 (57). – С. 57–66.

УДК 539.4:678.067

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ НАПРЯЖЕНИЙ В ПЛАСТИНАХ ИЗ УГЛЕПЛАСТИКА С ДВУМЯ ОТВЕРСТИЯМИ РАЗЛИЧНЫХ ДИАМЕТРОВ

А. В. АКСЕНОВ
ПАО «Яковлев», г. Москва, Российская Федерация

Л. Н. РАБИНСКИЙ, М. И. МАРТИРОСОВ
Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация

Несущие конструкции транспортных средств из полимерных композиционных материалов (ПКМ), например из углепластиков, содержат отверстия различного назначения: конструктивные, технологические, монтажные, которые являются концентраторами напряжений. При наличии двух

близкорасположенных отверстий поля напряжений взаимодействуют, что может как снижать, так и увеличивать пиковые значения по сравнению с изолированным отверстием. В отличие от металлов, в хрупких ПКМ пластическое перераспределение напряжений отсутствует, поэтому точная количественная оценка необходима для оценки взаимного влияния отверстий в конструкциях из ПКМ.

Рассмотрена прямоугольная пластина $W \times L$ с двумя круговыми отверстиями диаметрами D_1 (10 мм) и D_2, нагруженная одноосным растяжением σ (рисунок 1). Расстояние между центрами отверстий S варьировалось при $S / D_1 = 2; 3; 4; 6$, отношение диаметров $D_2 / D_1 = 0{,}25; 0{,}50; 0{,}75; 1{,}00$; угол θ между линией центров и направлением нагружения составлял 0, 45 и 90° [1]. Размеры пластины выбраны с соблюдением требований ASTM D5766 [2] с учётом двух отверстий: во всех конфигурациях обеспечена минимальная перемычка от контура каждого отверстия до края пластины. Использованы характеристики, типичные для UD-углепластика ($E_1 = 145$ ГПа, $E_2 = 9$ ГПа, $G_{12} = 5{,}7$ ГПа, $\nu_{12} = 0{,}32$) при трёх схемах укладки: $[0]_8$, $[\pm 45]_{4s}$ и $[0/90]_{2s}$.

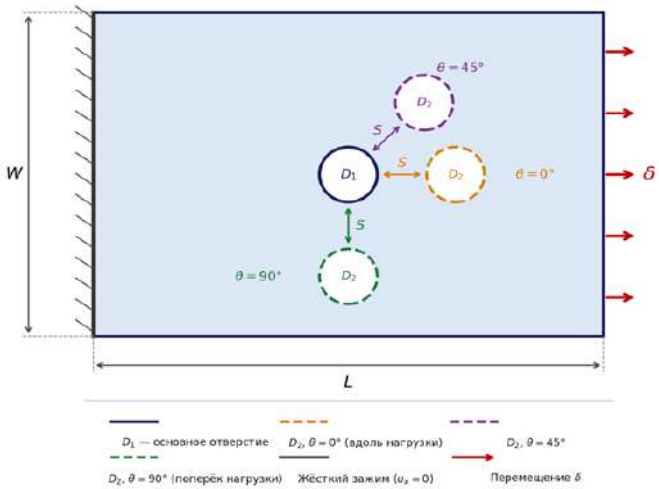


Рисунок 1 – Расчётная схема: пластина с $D_1 = 10$ мм, три положения D_2 при θ = 0, 45, 90°

Численное моделирование выполнено методом конечных элементов (МКЭ) в пакете MSC Nastran с препроцессором MSC Patran; применены элементы плоского напряжённого состояния. Верификация проведена на задаче одиночного кругового отверстия: расчётные значения K_t совпадают с решением Лехницкого [3] с погрешностью 1,5 % для укладок $[0]_8$ и $[0/90]_{2s}$ и 8 % для $[\pm 45]_{4s}$ (обусловлено высоким эффективным $\nu_{xy} = 0{,}76$ данного ламината).

Результаты показали три качественно различных режима взаимодействия (рисунки 2–4). При θ = 0° наблюдается эффект экранирования: коэффициент концентрации K_t снижается с уменьшением S / D_1 – силовые линии огибают пару отверстий как единое препятствие, кривые $K_t(S / D_1)$ выходят на уровень одиночного отверстия только при $S / D_1 \geq 6$. При θ = 45° проявляется эффект усиления: при $S / D_1 < 4$ пиковые значения K_t превышают значение для одиночного отверстия; наибольший $K_t = 6{,}96$ зафиксирован для укладки $[0]_8$ при $S / D_1 = 2$, $D_2 / D_1 = 1{,}0$. При θ = 90° взаимодействие минимально для укладки $[0/90]_{2s}$: поля напряжений затухают перпендикулярно нагрузке быстрее, чем у других укладок. Наименьшие значения K_t во всех конфигурациях характерны для $[\pm 45]_{4s}$ ($K_t \approx 2{,}1$).

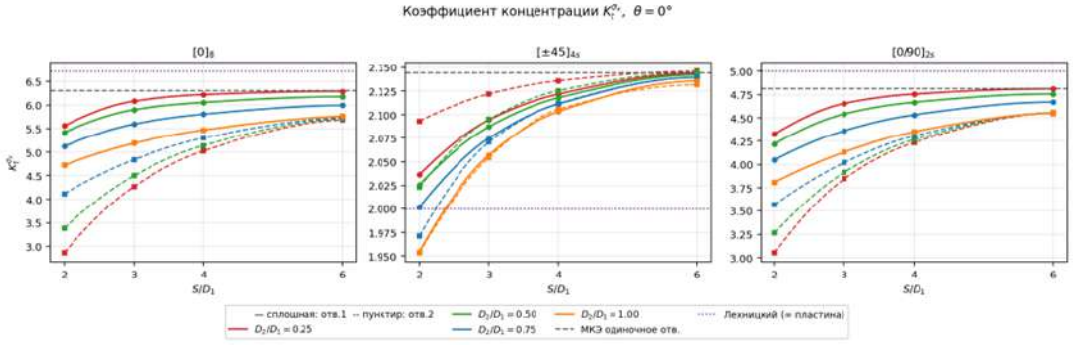


Рисунок 2 – $K_t(\sigma x)$ при θ = 0°: экранирование отверстий; горизонтали – МКЭ одиночное отверстие (серый) и Лехницкий (фиолетовый)

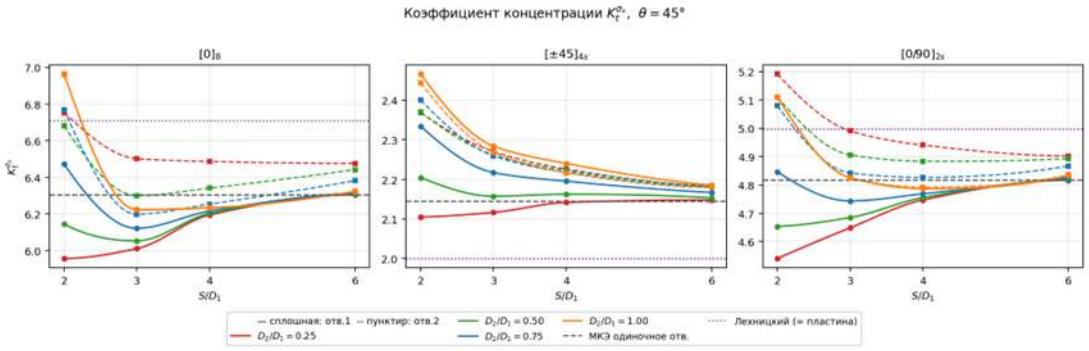


Рисунок 3 – $K_t(\sigma x)$ при θ = 45°: усиление напряжений при S / D_1 < 4

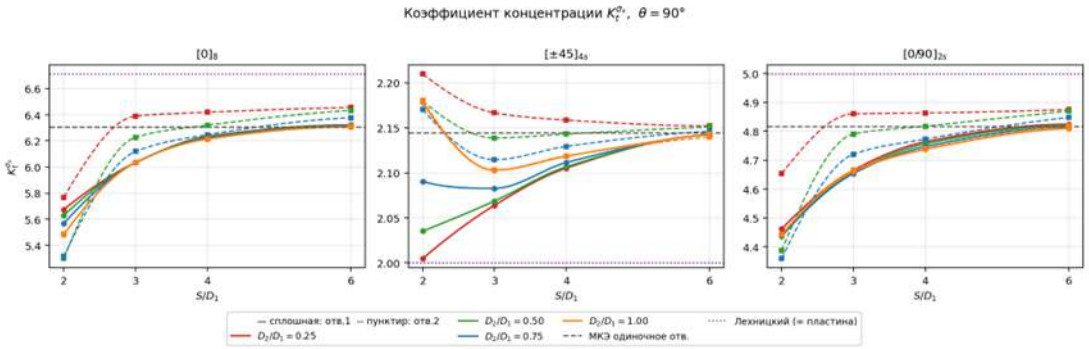


Рисунок 4 – $K_t(\sigma x)$ при θ = 90°: слабое взаимодействие для укладки $[0/90]_{2s}$

Проведено систематическое параметрическое МКЭ-исследование концентрации напряжений у пары круговых отверстий разных диаметров в ортотропной пластине, охватывающее влияние шага S / D_1, отношения диаметров D_2 / D_1, ориентации θ и схемы укладки. Показано, что критическое расстояние S / $D_1 \geq 6$, при котором отверстия можно рассматривать как независимые концентраторы, инвариантно к типу укладки. Полученные зависимости могут применяться при проектировании конструктивных элементов транспортных средств из ПКМ с отверстиями.

Список литературы

1 Tensile Behavior of Double-Hole CFRP Composite with Different Holes Position / J. Zhang, Y. He, G. Zhang, L. Wang // Applied Composite Materials. – 2024. – Vol. 31, № 3. – P. 983–1005.

2 ASTM D5766/D5766M-23. Standard Test Method for Open-Hole Tensile Strength of Polymer Matrix Composite Laminates. – ASTM International, 2023. – 6 p.

3 **Лехницкий, С. Г.** Теория упругости анизотропного тела / С. Г. Лехницкий. – М. : Наука, 1977. – 416 с.

УДК 666.762.8; 666.762.92; 620.193.5

РАЗРАБОТКА КОМПОЗИТОВ $C_f/C–HfB_2–SiC$, $C_f/C–ZrB_2–SiC$ И ИССЛЕДОВАНИЕ ИХ СТОЙКОСТИ К АБЛЯЦИИ ПРИ 2300 °С В СКОРОСТНОМ ВЫСОКОЭНТАЛЬПИЙНОМ ПОТОКЕ ВОЗДУХА

А. Н. АСТАПОВ, В. А. БРЫКИН, А. А. ДИДЕНКО, Н. С. ОКОРОКОВА
Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация

Углерод-керамические композиционные материалы (УККМ) рассматривают как наиболее перспективные для конструкций и систем тепловой защиты планеров многоразовых возвращаемых космических аппаратов, гиперзвуковых самолетов гражданского назначения, беспилотных изделий ракетной техники и проточных трактов их двигательных установок.

Перспективная технология изготовления УККМ – предварительная инфильтрация порошков (Powder Pre-Infiltration), в которой исходными материалами являются углеродные наполнители с отсутствием связности структуры (непрерывные или рубленые волокна, войлок, вискеры, нити, ленты) и порошки / прекурсоры ультравысокотемпературных керамик, а заготовки получают непосредственно в процессе изготовления. Подход, предложенный нами в [1, 2] и развиваемый в настоящем исследовании, является расширением данной технологии и предусматривает использование тканых углеродных материалов, в межфиламентном и межслоевом пространствах которых формируются углерод-керамические матрицы. Инновационная особенность подхода состоит в том, что вслед за получением слоистых углепластиковых заготовок, наполненных частицами керамик или их прекурсорами, все последующие стадии технологического передела (карбонизация, высокотемпературная обработка и пироуплотнение) полностью реализуются в рамках стандартного техпроцесса изготовления изделий из углерод-углеродных композиционных материалов.

Изготовлены слоистые УККМ составов C_f/C–HfB_2–20об.%SiC и C_f/C–ZrB_2–20об.%SiC. Значения открытой пористости, предела прочности и модуля упругости при изгибе составили 10–12 %, 98–104 МПа и 6,5–7,0 ГПа соответственно. Тип разрушения смешанный – трещинообразование в области сжатия и последующее межслоевое расслоение.

Проведены огневые испытания композитов при радиационно-равновесной температуре поверхности T_w = 2300 °C в течение 500 с в воздушно-газопламенном потоке, набегающем со скоростью 300 м/с при абсолютном давлении 0,11 МПа. Средняя скорость линейного уноса C_f/C–HfB_2–20об.%SiC и C_f/C–ZrB_2–20об.%SiC в результате абляции за всё время испытания составила 1,2 и 2,8 мкм/с соответственно.

Установлены механизмы абляционной стойкости композитов. При $T_w \leq$ 1800…1850 °C формируются трехслойные оксидные пленки, представленные поверхностным слоем модифицированного боросиликата с отдельно расположенными частицами $MeSiO_4$/MeO_2 (Me–Hf или Zr), подслоем из частично спеченных зерен MeO_2/$MeSiO_4$, содержащим стеклофазу, и пористым подслоем на основе матричных фаз с обеднением по SiC и C. При T_w > 1850…1880 °C происходит оголение пористого каркаса на основе MeO_2 в результате испарения и термомеханического уноса стекла. Это увеличивает каталитичность и снижает излучательную способность и теплопроводность пленок, что формирует градиент температуры по толщине, уменьшает интенсивность разложения фазы $MeSiO_4$ и испарение боросиликата изнутри. Дальнейшее окисление композитов лимитируется встречной диффузией реагентов через дефекты и каналы в MeO_2/$MeSiO_4$ и расплав Si–Me–B–$O_{(ж)}$.

Замена HfB_2 на ZrB_2 в матрице композита ускоряет встречный массоперенос реагентов через оксидную пленку и снижает стойкость к абляции. Негативное влияние ZrB_2 в сравнении с HfB_2 главным образом обусловлено следующими факторами: (i) – ростом доли генерируемых газов, приводящих к разрыхлению структуры пленки и увеличению скорости окисления; (ii) – увеличением газопроницаемости пленки в результате снижения склонности к апвеллингу стеклофазы и ее залечивающих свойств; (iii) – большей долей дефектов кристаллического строения в ZrO_2 по сравнению с HfO_2, что вызывает увеличение анионной проводимости; (iv) – большей летучестью ZrO_2 в сравнении с HfO_2; (v) снижением доли жаростойкой фазы $MeSiO_4$ с высокой плотностью упаковки атомов в кристаллической решетке в толще пленки; (vi) – меньшей теплопроводностью ZrB_2 в сравнении с HfB_2, что обуславливает большее накопление тепла в окрестности пленки.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-19-00818, https://rscf.ru/project/25-19-00818/.

Список литературы

1 Development of C_f/C-UHTC composite and study of its resistance to oxidation and ablation in high-speed high-enthalpy air plasma flow / A. N. Astapov, V. A. Pogodin, I. V. Sukmanov [et al] // International Journal of Lightweight Materials and Manufacture. – 2024. – Vol. 7, № 3. – P. 362–377.

2 Получение, механические свойства и абляционная стойкость углерод-керамических композиционных материалов, содержащих карбиды и бориды гафния, титана и ниобия / И. В. Сукманов, А. Н. Астапов, Е. А. Антипов [и др.] // XXV Всероссийское совещание по неорганическим и органосиликатным покрытия : сб. тезисов докладов Всерос. конф., Санкт-Петербург, 01–05 июня 2026 г. – СПб. : ЛЕМА, 2026. – С. 57–59.

УДК 629.322

ОЦЕНКА СОПРОТИВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЮ ПЕРЕДНЕГО КРЫЛА ВЕЛОСИПЕДА

Н. А. АХРАМЕНКО
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

В современной индустрии проектирования велотранспорта и велоспорта ключевым фактором повышения эффективности движения является преодоление сил сопротивления. На скоростях свыше 25 км/ч основным физическим препятствием для велосипедиста становится аэродинамическое сопротивление (сила лобового сопротивления), на долю которого приходится более 70 % энергозатрат велосипедиста. Понимание природы этого явления необходимо как для оптимизации повседневного экологичного транспорта, так и для улучшения спортивных результатов.

Главная сложность в изучении аэродинамики велосипеда заключается в том, что движущийся объект представляет собой не монолитное тело, а сложную систему. До 80 % общего аэродинамического следа создает тело самого велосипедиста, геометрия которого постоянно меняется в процессе педалирования. Это делает расчеты воздушных потоков нестационарными и требующими комплексного анализа.

Каждый, кто хоть раз катался на велосипеде в ветреную погоду, знает, насколько тяжело крутить педали против встречного ветра. На малых скоростях мы боремся с трением в подшипниках и сопротивлением качению шин, но стоит разогнаться быстрее 25 км/ч, как воздух превращается в плотную стену. А на профессиональных трассах аэродинамическое сопротивление забирает до 90 % сил гонщика. При этом оптимизация воздушного обтекания важна не только в спорте, но и в дизайне современных городских и электрических велосипедов для снижения затрат энергии.

Велосипедный транспорт и велоспорт представляют собой уникальный объект для исследования, поскольку движущая сила здесь генерируется непосредственно мускульными усилиями человека, ресурсы которых строго ограничены физиологическими возможностями организма. В отличие от автомобилей или мотоциклов, где дефицит мощности можно компенсировать увеличением объема двигателя, в велосипедном движении каждый сэкономленный ватт энергии напрямую конвертируется в прирост скорости или сохранение выносливости.

При движении велосипедиста на него воздействует комплекс сил сопротивления: трение в узлах трансмиссии, сопротивление качению шин по опорной поверхности и гравитационная сила (при движении в гору). Однако по мере роста скорости соотношение этих сил резко меняется. Механические потери в подшипниках и цепной передаче остаются относительно стабильными и составляют лишь малую долю от общих энергозатрат. В то же время аэродинамическое сопротивление (сила лобового сопротивления) существенно возрастает.

Для защиты велосипедиста от брызг и грязи на велосипедах устанавливают переднее и заднее крылья. Причем переднее крыло конструктивно располагается так, что оно не является обтекаемым, а наоборот, захватывает воздушные потоки (рисунок 1).

В основе исследования движения велосипедиста в воздушной среде лежат законы классической гидроаэромеханики. Воздух, несмотря на свою кажущуюся невесомость, обладает плотностью и вязкостью. Когда велосипед с велосипедистом движется вперед, он непрерывно сталкивается с молекулами воздуха, раздвигая их, ускоряя и создавая за собой области турбулентности.

Основным соотношением для расчета силы, препятствующей движению, является уравнение лобового (аэродинамического) сопротивления:

$$F_d = \frac{1}{2}\rho v^2 C_d A, \tag{1}$$

где F_d – сила аэродинамического сопротивления, Н; ρ – плотность воздуха, кг/м^3; v – скорость движения относительно воздушного потока, м/с; C_d – безразмерный коэффициент лобового сопротивления (обтекаемости); A – фронтальная площадь объекта или площадь миделевого сечения, м^2.



Рисунок 1 – Переднее крыло велосипеда

Анализ формулы (1) показывает квадратичную зависимость силы сопротивления от скорости. Если велосипедист увеличивает скорость в два раза (например, с 5 до 10 м/с), то сила сопротивления воздуха возрастает в четыре раза.

Мощность P_d равна произведению силы на скорость:

$$P_d = F_d v\,. \tag{2}$$

Соотношение (2) с учетом выражения (1) можно переписать в виде

$$P_d = \frac{1}{2}\rho v^3 C_d A. \tag{3}$$

Из формулы (3) следует кубическая зависимость мощности от скорости. Это означает, что для удвоения скорости потребуется приложить в восемь раз большую мощность, Вт.

Плотность как функцию давления p и температуры T можно записать в виде [1, с. 16]

$$\rho = \frac{\mu p}{RT}\,, \tag{4}$$

где μ – молярная масса; R – универсальная газовая постоянная.

С учетом выражения (4) соотношение (3) примет вид

$$P_d = \frac{1}{2}\frac{\mu p}{RT} v^3 C_d A\,. \tag{5}$$

Подставив в соотношение (5) $\mu = 29\cdot10^{-3}$ кг/моль, $p = 101\cdot10^3$ Па, $v = 10$ м/с, $C_d = 1$, $A = 0{,}03$ м^2, $R = 8{,}31$ Дж/(моль·К), получим $P_d \sim 18$ Вт. Эта мощность является дополнительной нагрузкой для велосипедиста, учитывая также, что генерируемая им мощность весьма ограничена. Переднее крыло защищает велосипедиста от брызг и грязи, но если нет условий их образования (в хорошую погоду), то необходимость в переднем крыле отпадает. Поэтому целесообразно было бы, чтобы переднее крыло можно было безинструментально легко снимать и устанавливать обратно.

Список литературы

1 **Ахраменко, Н. А.** Молекулярная физика и термодинамика : лаб. практикум по курсу «Физика» / Н. А. Ахраменко, Е. И. Доценко, И. И. Проневич. – Гомель : БелГУТ, 2016. – 58 с.

УДК 539.3

НЕСТАЦИОНАРНОЕ КОНТАКТНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ НЕРАВНОМЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ НА ИЗОТРОПНЫЕ И ОРТОТРОПНЫЕ ПЛАСТИНЫ

А. В. БАБАЙЦЕВ
Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация

Работа посвящена исследованию механизмов разрушения каплеударной эрозии обшивки летательных аппаратов, работающих в условиях высокоскоростноого полета во время дождя [1–5]. Исследование данного процесса позволит существенно повысить безопасность полетов летательных аппаратов. Разрабатываются математические модели для анализа волнового процесса воздействия капель жидкости с деформируемыми изотропными и ортотропными композитными пластинами.

Для решения предлагается использовать метод разделения переменных. Однако этот метод решения двумерных задач имеет дополнительные ограничения на классы анизотропии среды. Поэтому для симметрии среды необходимо ввести дополнительные условия, с учетом критерия Сильвестра. Подобными свойствами обладает ортотропная среда, что как раз и будет являться тем самым дополнительным ограничением, связанным с методом решения двумерных задач с помощью разложений ряды Фурье. Решение проводилось в безразмерных величинах.

Сформулированная постановка задачи комплексно учитывает ограниченность контактной зоны, интерференцию и отражение волн, а также конечную длительность взаимодействия. Кроме того, модель может учитывать асимметрию внешнего воздействия и плавный характер изменения давления.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках Государственного задания МАИ (шифр FSFF-2025-0001).

Список литературы

1 Damage Behavior of Aircraft Radome under High-speed Jet Impact / Sun Ying, A. Babaytsev, Li Yulong [et al.] // Chinese Journal of Aeronautics. – 2026. – № 39 (2). – 103703.

2 Affecting Factors of Rain Erosion Resistance and Damage Mechanisms of the Aircraft Skin Coating Impacted by High Dynamic Raindrops / Ying Sun, A. Babaytsev, G. Fedotenkov [et al.] // Surface Technology. – 2025. – Vol. 54 (10). – P. 82–95.

3 Evaluation and mechanism of Highly Dynamic Rain Corrosion Damage to Aircraft Windward Side Skin Coatings / Ying Sun, Li Ming, Wei Zheng, A. Babaytsev [et al.] // Surface Technology. – 2025. – Vol. 55 (02). – P. 1–14.

4 Damage Mechanism on Aircraft Coatings of Different Thicknesses under High-speed Water Jet Impact / M. Sha, Z. Hui, Y. Sun [et al.] // Surface Technology. – 2026. – Vol. 55 (14). – P. 17–32.

5 Experimental study on solid particle erosion of protective aircraft coatings at different impact angles / Y. Sun, Y. Liu, A. Mednikov // Reviews on Advanced Materials Science. – 2025. – Vol. 64, № 1. – P. 20250100.

УДК 539.42

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ДЕФОРМАЦИОННОГО УПРОЧНЕНИЯ И РАЗРУШЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СПЛАВОВ ПРИ СЛОЖНОМ НАПРЯЖЕННОМ СОСТОЯНИИ НА БАЗЕ ОПТИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

А. В. БАБАЙЦЕВ, Т. М. КУДЕЛЯ
Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация

Задачи динамического деформирования и предельного пластического формоизменения элементов транспортных конструкций требуют достоверного описания механического поведения конструкционных сплавов вплоть до момента потери сплошности. Традиционный подход, использующий диаграммы одноосного растяжения стандартных гладких образцов, не обеспечивает адекватного определения параметров материала на стадии локализации пластической деформации и в условиях пространственного напряженного состояния. В настоящей работе представлена расчетно-экспериментальная методика параметрической идентификации определяющих соотношений пластического течения и критериев разрушения, сочетающая механические испытания при варьируемой жесткости напряженного состояния, бесконтактную регистрацию полей деформаций и инвариантное моделирование предельных состояний.

Экспериментальный раздел работы направлен на исследование влияния трехосности напряжений и сдвиговой компоненты, характерных для нестационарных и аварийных режимов нагружения элементов транспорта. Проведена серия квазистатических испытаний на одноосное растяжение гладких образцов, осесимметричных и плоских образцов с выточками различного радиуса, а также образцов с локализованной зоной сдвига. Регистрация деформационных полей в рабочей зоне выполнена методом цифровой корреляции изображений. Непрерывный оптический контроль кинематики деформирования позволил исключить податливость элементов испытательного стенда, точно зафиксировать переход в закритическую область и определить изменение геометрических параметров сечения в очаге локализации.

Блок математического моделирования инвариантен к выбору аналитического закона пластического течения и обеспечивает прямую адаптацию к специфике исследуемого материала. Экстраполяция диаграммы деформирования в закритическую область реализована путем корректировки истинных напряжений на гидростатическую составляющую с использованием оптических данных о геометрии шейки для осесимметричного и плоского случаев. На основе сопутствующего численного анализа кинематики очага деформации определена эволюция коэффициента трехосности и нормированного параметра Лоде, что позволило откалибровать феноменологическую модель и построить предельную поверхность пластичности, учитывающую влияние гидростатического растяжения и сдвиговых деформаций.

Разработанный алгоритм демонстрирует соответствие расчетных и экспериментальных кинематических характеристик. Идентифицированные определяющие соотношения пластичности и параметры предельного состояния предназначены для импорта в явные расчетные модули современных пакетов численного моделирования механики деформируемого твердого тела при расчетах элементов транспортных конструкций.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках Государственного задания МАИ (шифр FSFF-2025-0001).

УДК 531.383:532.516

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ТРЕХСЛОЙНОЙ КОМПОЗИТНОЙ ВИБРООПОРЫ С ВЯЗКОЙ СЖИМАЕМОЙ ЖИДКОСТЬЮ

О. В. БЛИНКОВА
Саратовская государственная юридическая академия, Российская Федерация

Д. В. КОНДРАТОВ
Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю. А., Российская Федерация
Институт проблем точной механики и управления Российской академии наук (ИПТМУ РАН), г. Саратов
Саратовский национальный исследовательский государственный университет им. Н. Г. Чернышевского, Российская Федерация

Постоянное развитие таких отраслей промышленности, как машиностроение, космическая промышленность, авиапромышленность, привело к тому, что всё большую актуальность приобретает моделирование и исследование задач на исследование взаимодействия двух упругих пластин, пространство между которыми заполнено вязкой жидкостью или газом. Наряду с исследованием и использованием в конструировании элементов на основе однослойных элементов конструкций всё чаще рассматриваются и изучаются задачи с использованием различных слоистых материалов, которые получают широкое применение в машино- и агрегатостроении [1–5]. В большинстве исследований такие конструкции ориентированы на описание взаимодействия упругих многослойных конструкций с вязкой несжимаемой жидкостью [1, 6], в настоящее время встречаются также практические задачи, где жидкость считается сжимаемой [7], как и в данном исследовании.

Исследуется представленная на рисунке 1 физическая модель механической системы, состоящей из абсолютно жесткой пластины I (вибратора), трехслойной упругой пластины II (статора), пространство между которыми заполнено вязкой сжимаемой жидкостью III (рисунок 1). Предполагаем, что вибратор прикреплен к упругому подвесу, а внутренняя поверхность вибратора считается

плоской и является одной из стенок щелевого канала. В жидкости постоянно пульсирует давление, возникают гармонические колебания вибратора в вертикальном направлении.

Математическая модель описана связанной системой уравнений, состоящей из уравнений динамики движения вязкой сжимаемой жидкости, уравнений динамики упругого композитного статора [5], состоящего из двух несущих слоев и заполнителя, и соответствующих граничных условий.

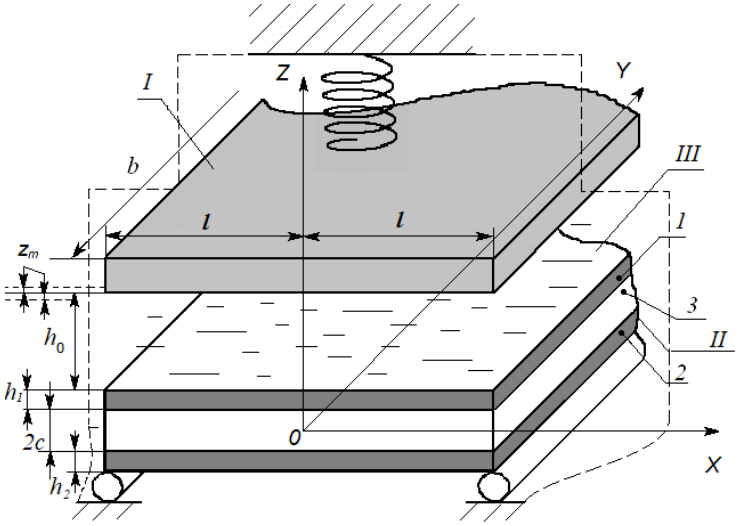


Рисунок 1 – Физическая модель

Исследования и вычисления проводились с помощью методов возмущений по малым параметрам, что позволило линеаризовать уравнения гидродинамики. Аналитическое выражение для прогиба упругого трехслойного композита получено с помощью метода Бубнова – Галеркина в первом приближении. Этот метод применялся одновременно и к уравнениям гидродинамики, и к уравнениям упругости с соответствующими граничными условиями [8].

Полученные выражения для прогиба статора позволили получить выражения для амплитудных частотных характеристик (АЧХ) прогиба композита, создана расчётная программа, основанная на аналитических вычислениях, с помощью которой произведены исследования изменения АЧХ упругой трехслойной пластины в зависимости от изменений начальных параметров системы.

Например, на рисунке 2 представлен график изменения АЧХ при уменьшении слоя жидкости в логарифмическом масштабе для пластины из дюралюминия. Можем сделать вывод, что большая ширина слоя вязкой сжимаемой жидкости оказывает большее демпфирование колебаний упругой трехслойной пластины.

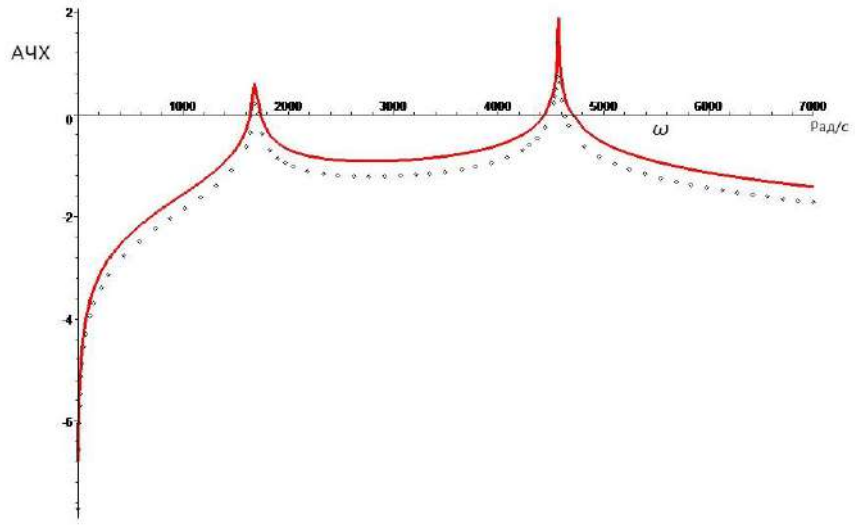


Рисунок 2 – Изменение АЧХ при уменьшении ширины слоя жидкости.

Таким образом, осуществлены постановка задачи и исследование модели взаимодействия упругой пластины, трехслойной пластины с легким несжимаемым заполнителем и вязкой сжимаемой жидкости на примере виброопоры. Исследование указанной математической модели при изменении различных исходных параметров системы, расчеты и оценки поведения упругих трехслойных композитов, взаимодействующих с вязкой жидкостью, необходимы для конструирования современных изделий машиностроительной и авиакосмической промышленности.

Список литературы

1 **Агеев, Р. В.** Математическое моделирование гидроупругих колебаний жестко защемленной пластины на упругом основании / Р. В. Агеев, А. А. Попова, А. В. Христофорова // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ. – 2017. – Т. 3. – С. 29–34.

2 **Зеленая, А. С.** Изгиб упругой трехслойной прямоугольной пластины со сжимаемым заполнителем / А. С. Зеленая // Математическое моделирование, компьютерный и натурный эксперимент в естественных науках. – 2017. – № 3. – mathmod.esrae.ru/15-52.

3 **Фабрикант, Н. Я.** Аэродинамика: Общий курс / Н. Я. Фабрикант. – М. : Наука, 1964. – 815 с.

4 **Kramer, M. R.** Free vibration of cantilevered composite plates in air and in water / M. R. Kramer, Z. Liu, Y. L. Young // Composite Structures. – 2013. – vol. 95. – P. 254–263. – DOI: 10.1016/j.compstruct.2012.07.017.

5 **Горшков, А. Г.** Механика слоистых вязкоупругопластических элементов конструкций / А. Г. Горшков, Э. И. Старовойтов, А. В. Яровая. – М. : Физматлит, 2005. – 576 с.

6 **Могилевич, Л. И.** Динамика сдавливаемого слоя вязкой несжимаемой жидкости, взаимодействующего с упругой пластиной / Л. И. Могилевич, В. С. Попов, Е. С. Скородумов // Математическое моделирование, компьютерный и натурный эксперимент в естественных науках. – 2017. – № 1. – С. 53–63.

7 **Блинкова, О. В.** Задача динамики взаимодействия сдавливаемого слоя вязкого сжимаемого газа с упругой пластиной / О. В. Блинкова, Д. В. Кондратов // Труды МАИ. – 2020. – № 110. – С. 21.

8 **Блинкова, О. В.** Моделирование динамики взаимодействия сдавливаемого слоя вязкой сжимаемой жидкости с упругим трехслойным статором / О. В. Блинкова, Д. В. Кондратов // Труды МАИ. – 2024. – № 134. – EDN HUZOPQ.

УДК 536.02:004.8

ПРИМЕНЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИ ИНФОРМИРОВАННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ НЕСТАЦИОНАРНОЙ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ В ЭЛЕМЕНТАХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

К. А. БОБЫЛЕВА, Я. А. ВАХТЕРОВА
Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация

Обеспечение безопасности транспортных систем требует достоверного прогнозирования тепловых процессов в ответственных элементах конструкций: тормозных устройствах, двигателях, системах теплозащиты, токоведущих элементах. При импульсных и высокоскоростных воздействиях классическая модель теплопроводности Фурье, предполагающая бесконечную скорость распространения тепла, даёт существенные погрешности. Если длительность процесса сопоставима со временем релаксации теплового потока (импульсный нагрев, фрикционный контакт) расчёт по закону Фурье предсказывает мгновенный отклик во всём объёме тела, тогда как реальный тепловой фронт движется с конечной скоростью [1]. Непротиворечивое описание таких режимов даёт теория Грина – Нагди [2], тип III которой содержит одновременно диссипативный и волновой механизмы переноса и включает классическую теорию как предельный случай. Однако численное решение уравнения Грина – Нагди III типа сопряжено с необходимостью сгущения сетки и подбора устойчивых схем. Альтернативой выступают физически информированные нейронные сети (PINN) [3], не требующие сеточной дискретизации и естественно обобщаемые на параметрические и обратные задачи. Практическая пригодность подхода определяется, однако, двумя обстоятельствами, которые исследуются ниже количественно: способом наложения начальных и граничных условий и поведением погрешности при удлинении интервала наблюдения.

Рассматривается тонкая квадратная пластина из изотропного материала. В безразмерных переменных $x = X / l$, $y = Y / l$, $t = \dfrac{t^{*} c_T}{l}$, $\theta = T / T_0$, где l – сторона пластины, а $c_T = \sqrt{\dfrac{\tilde{\kappa}^{*}}{\rho c_\varepsilon}}$ – скорость второго звука; задача на единичном квадрате $\Omega = (0, 1)^2$ записывается в виде

$$\frac{\partial^2 \theta}{\partial t^2} - \kappa\left(\frac{\partial^3 \theta}{\partial x^2 \partial t} + \frac{\partial^3 \theta}{\partial y^2 \partial t}\right) - \left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2}\right) = \frac{\partial q}{\partial t}, \qquad (1)$$

при $\theta|_{\partial\Omega} = 0$, $\theta(x,y,0) = \sin(\pi x)\sin(\pi y)$, $\left.\frac{\partial\theta}{\partial t}\right|_{t=0} = 0$. Здесь ρ – плотность; c_ε – удельная теплоёмкость при постоянной деформации, κ^* и $\tilde{\kappa}^*$ – диссипативный и волновой коэффициенты теории, q – приведённая плотность источников тепла. Безразмерный коэффициент $\kappa = \frac{\kappa^*}{\rho c_\varepsilon c_T l}$ здесь считается известным: для дюралюминия Д16Т ($\rho = 2780$ кг/м³; $c_\varepsilon = 920$ Дж/(кг·К); $\kappa^* = 134$ Вт/(м·К); $\tilde{\kappa}^* = 5\cdot10^5$ Вт/(м·с·К), $l = 1$ м) $c_\mathrm{T} \approx 0{,}44$ м/с и $\kappa \approx 1{,}2\cdot10^{-4}$. При таком κ решение однородной задачи ($q = 0$) представляет собой почти незатухающие колебания основной моды с частотой $\omega_0 = \pi\sqrt{2} \approx 4{,}443$; вариант $q = 2xt$ добавляет вынужденную многомодовую составляющую.

Сравниваются два способа выполнения начальных и граничных условий. При *жёстком наложении* они встроены в само представление решения:

$$\theta(x,y,t) = \sin(\pi x)\sin(\pi y)\cos(\omega_0 t) + d(x,y)\left(\frac{t}{T_{\max}}\right)^2 N(x,y,t;\vartheta), \tag{2}$$

где N – выход сети с весами ϑ, а $d(x, y) = x(1 - x)y(1 - y)$ обращается в ноль на $\partial\Omega$. Множитель $(t/T_{\max})^2$ зануляется вместе со своей первой производной при $t = 0$, поэтому оба начальных условия и условие Дирихле выполняются тождественно при любых ϑ. Множитель $\cos\omega_0 t$ задаёт колебание основной моды явно, оставляя сети лишь медленно меняющуюся огибающую: это нейтрализует спектральную предвзятость полносвязных сетей [4], которая иначе не позволяет воспроизвести частоту ω_0 за разумное число итераций. Той же цели служит Fourier-кодирование времени на входе [5] – вектор синусов и косинусов кратных ω_0 частот. При *мягком наложении* сеть выдаёт θ напрямую, а условия входят в функцию потерь штрафными слагаемыми:

$$L(\vartheta) = w_{pde}L_{pde} + w_{ic1}L_{ic1} + w_{ic2}L_{ic2} + w_{bc}L_{bc}, \tag{3}$$

где L_{pde} – среднеквадратичная невязка уравнения (1); L_{ic1}, L_{ic2}, L_{bc} – невязки начальных условий по значению и по скорости и граничного условия; весовые множители хранятся в логарифмической форме и настраиваются вместе с весами сети. Во всех прогонах использована одна и та же сеть – 2 остаточных блока по 64 нейрона (17 473 параметра); невязка вычисляется автоматическим дифференцированием в 15 000 коллокационных точках, разыгрываемых заново на каждой итерации; обучение – до 8 000 итераций NAdam с ранней остановкой по плато и до 200 шагов L-BFGS.

Проведено 36 прогонов: два источника × два способа наложения условий × три интервала наблюдения $T \in \{3, 30, 100\}$ × 3 инициализации сети; точность измерялась относительной L_2-погрешностью поля (таблица 1).

Таблица 1 – **Относительная L_2-погрешность поля температуры**

В процентах

Интервал T	$q = 0$		$q = 2xt$	
	жёсткое	мягкое	жёсткое	мягкое
3	0,12	69,52	1,00	47,56
30	2,00	85,07	10,61	71,71
100	6,63	85,31	15,35	70,27

Мягкое наложение не сошлось ни в одной из шести конфигураций: погрешность 48–85 % отвечает решению, в котором колебательная составляющая практически отсутствует. Жёсткое наложение сходится на всех интервалах, и различие между способами значимо по критерию Уэлча во всех шести парах ($p \le 6\cdot10^{-4}$ при 3 инициализациях); разброс по инициализациям не превышает 0,4 процентного пункта. Погрешность жёсткого наложения монотонно растёт с длиной интервала – от 0,12 % при $T = 3$ до 6,63 % при $T = 100$ для однородного источника и от 1,00 до 15,35 % для неоднородного: накопление фазовой ошибки идёт тем быстрее, чем больше мод участвует в решении.

Чтобы выяснить, ограничена ли точность размером сети, на интервале $T = 30$ при $q = 0$ перебраны все 16 комбинаций ширины (16–64 нейронов) и глубины (1–4 блоков) – от 753 до 34 113 пара-

метров. Все конфигурации дали практически одну и ту же погрешность – от $1{,}96\cdot10^{-2}$ до $2{,}10\cdot10^{-2}$: 45-кратное различие в числе параметров меняет результат на 8 %. Подбор скорости обучения (10 испытаний TPE в диапазоне $[1\cdot10^{-4}, 3\cdot10^{-3}]$) улучшил её лишь до $1{,}94\cdot10^{-2}$, а финальные прогоны лучшей по качеству (32 нейронов, 3 блока) и лучшей по соотношению качество/время (16 нейронов, 1 блок; 326 с против 545 с) схем дали $1{,}98\cdot10^{-2}$ и $2{,}01\cdot10^{-2}$.

Следовательно, достигнутая точность определяется не размером сети и не параметрами оптимизации, а структурой представления решения: постоянная амплитуда носителя $\cos \omega_0 t$ воспроизводит частоту основной моды, но не её медленное затухание, и именно этот остаток формирует наблюдаемый предел порядка $2\cdot10^{-2}$. Для гиперболических моделей теплопроводности жёсткое наложение условий с явным частотным носителем оказывается, таким образом, не приёмом ускорения, а условием сходимости вообще, тогда как запас по точности следует искать в конструкции самого представления, например, вводя в носитель обучаемый декремент затухания.

Список литературы

1 **Green, A. E.** On undamped heat waves in an elastic solid / A. E. Green, P. M. Naghdi // Journal of Thermal Stresses. – 1992. – Vol. 15, № 2. – P. 253–264.

2 **Green, A. E.** Thermoelasticity without energy dissipation / A. E. Green, P. M. Naghdi // Journal of Elasticity. – 1993. – Vol. 31, № 3. – P. 189–208.

3 **Raissi, M.** Physics-informed neural networks / M. Raissi, P. Perdikaris, G. E. Karniadakis // Journal of Computational Physics. – 2019. – Vol. 378. – P. 686–707.

4 On the spectral bias of neural networks / N. Rahaman, A. Baratin, D. Arpit [et al.] // Proceedings of the 36th International Conference on Machine Learning. – 2019. – Vol. 97. – P. 5301–5310.

5 Fourier features let networks learn high frequency functions in low dimensional domains / M. Tancik, P. P. Srinivasan, B. Mildenhall [et al.] // Advances in Neural Information Processing Systems. – 2020. – Vol. 33. – P. 7537–7547.

УДК 629.4.015:62-752:681.5

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ПАРАМЕТРОВ ЖЕСТКОСТИ И ДЕМПФИРОВАНИЯ ГРУЗОВОГО ВАГОНА

Р. С. БОЛЬШАКОВ

Иркутский государственный университет путей сообщения, Российская Федерация

Безопасность транспортных процессов представляет собой, по существу, один из параметров надежности железнодорожного транспорта как сложной технической системы. В данном контексте особое значение имеет надежность элементов подвески тягового и нетягового подвижного состава [1–3]. Так как к каждому узлу присоединено различное количество демпферов и пружин, то необходим учет их влияния не только на рассматриваемую часть, но и на всю конструкцию в целом.

Определение коэффициентов демпфирования и жесткости реализуется на основе известных теоретических положений, характерных как для исследований в области энергетических машин, так и при использовании понятия «сложный виброизолятор» [4–6].

В предлагаемом докладе рассматривается использование интегральных преобразований при определении эквивалентных коэффициентов жесткости и демпфирования грузового вагона.

Железнодорожный подвижной состав обладает комплексной системой подвески и в составе поезда представляет собой сложную многоосную техническую систему, поэтому учет и контроль динамических процессов в нынешних условиях особенно важны (рисунок 1).

Составные части вагона представляют собой упруго-массовую структуру, состоящую из связей различной физической природы: рычажные связи, гасители, колебаний, пружины и т. п.). Эти связи можно условно разделить на соединения между кузовом и рамами и между рамами и колесными парами.

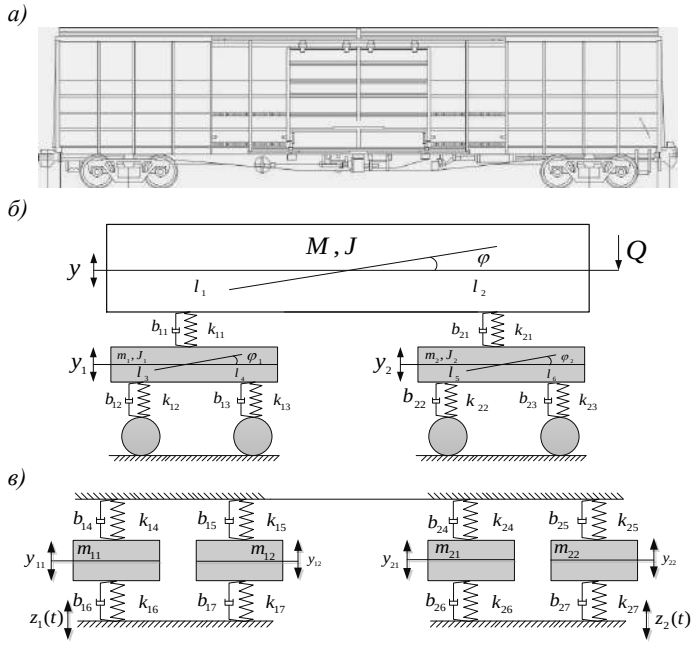


Рисунок 1 – Принципиальная (*а*) и расчетная (*б*) схемы грузового вагона, а также расчетная схема верхнего строения пути (*в*)

Для эффективного снижения уровня колебаний в структуре системы необходимо наличие демпфирующих элементов для рассеивания энергии колебаний. Таким образом, грузовой вагон как технический объект представляет собой сложную техническую систему, содержащую упругие, демпфирующие, инерционные и рычажные связи [4].

В данном случае в расчетной схеме грузового вагона имеются массы кузова M и тележек m_1 и m_2 с моментами инерции J, J_1, J_2 соответственно, упругие элементы с жесткостями k_{11}, k_{12}, k_{13}, k_{21}, k_{22}, k_{23}, а также демпфирующие элементы с коэффициентами b_{11}, b_{12}, b_{13}, b_{21}, b_{22}, b_{23}, расположенные параллельно упругим элементам. Твердое тело реализует малые колебания по координатам y и φ, тележки – по координатам y_1, φ_1 и y_2, φ_2 (см. рисунок 1, *а*, *б*).

Колебательные процессы, характерные для верхнего строения пути, исследуются при использовании аналогичных расчетных схем. Традиционно при моделировании динамических свойств верхнего строения пути используется расчетная схема балки на упругом основании, позволяющая построить адекватную математическую модель, отражающую динамические процессы в исследуемой технической системе [4].

Система уравнений движения для кузова и тележек в операторной форме будет выглядеть следующим образом:

$$M\bar{y}p^2 + \left(b_{11} + b_{12}\right)\bar{y}p + \left(l_2 - l_1\right)\bar{\varphi}p + (k_{11} + k_{12})\bar{y}_0 + \left(l_2 - l_1\right)\bar{\varphi} = \bar{Q}, \quad (1)$$

$$m_1\bar{y}_1 p^2 + \left[\frac{(b_{12} + b_{13})(b_{14} + b_{15})}{(b_{12} + b_{13}) + (b_{14} + b_{15})}\right]\left[2\bar{y}_1 p - \bar{\varphi}_1 p(l_4 - l_3)\right] + \left[\frac{(k_{12} + k_{13})(k_{14} + k_{15})}{(k_{12} + k_{13}) + (k_{14} + k_{15})}\right]\left[2\bar{y}_1 - \bar{\varphi}_1(l_4 - l_3)\right] = 0, \quad (2)$$

$$m_2\bar{y}_2 p^2 + \left[\frac{(b_{22} + b_{23})(b_{24} + b_{25})}{(b_{22} + b_{23}) + (b_{24} + b_{25})}\right]\left[2\bar{y}_2 p - \bar{\varphi}_2 p(l_6 - l_5)\right] + \left[\frac{(k_{22} + k_{23})(k_{24} + k_{25})}{(k_{22} + k_{23}) + (k_{24} + k_{25})}\right]\left[2\bar{y}_2 - \bar{\varphi}_2(l_6 - l_5)\right] = 0. \quad (3)$$

Совокупности элементов в рассматриваемых точках системы представляют собой сложные виброизоляторы, поэтому с учетом этих условий в каждом узле системы могут быть найдены эквивалентные коэффициенты жесткости и демпфирования, условия применения которых справедливы для возмущений любого характера [4].

Заключение

Предложен новый подход к оценке динамических свойств подвесных элементов подвижного состава железных дорог. На основе традиционных представлений о динамике энергетических машин и с использованием понятия «сложный виброизолятор» получены эквивалентные коэффициенты жесткости и демпфирования применительно к структурам составляющих элементов транспортных средств, характерных для подвижного состава железных дорог с учетом взаимодействия с верхним строением пути.

Список литературы

1 Методология системного анализа в задачах оценки, формирования и управления динамическим состоянием технологических и транспортных машин / С. В. Елисеев, А. В. Елисеев, Р. С. Большаков, А. П. Хоменко. – Новосибирск : Наука, 2021. – 679 с. – ISBN 978-5-02-041463-1. – EDN KGATIU.

2 Концепция обратной связи в динамике механических систем и динамическое гашение колебаний / С. В. Елисеев, А. Н. Трофимов, Р. С. Большаков, А. А. Савченко // Наука и образование. – 2012. – № 5. – С. 25. – DOI: 10.7463/0512.0378353. – EDN PGRQDH.

3 **Елисеев, С. В.** Особенности построения компактов упругих элементов в механических колебательных системах. Взаимодействия с элементами систем и формы соединения / С. В. Елисеев, С. В. Ковыршин, Р. С. Большаков // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2012. – № 4 (36). – С. 61–70. – EDN PJKJWT.

4 **Каргапольцев, С. К.** Определение эквивалентных коэффициентов жёсткости и демпфирования для технического объекта с несколькими степенями свободы / С. К. Каргапольцев, Р. С. Большаков, А. К. Мозалевская // Системы. Методы. Технологии. – 2026. – № 2 (70). – С. 7–14. – DOI: 10.18324/2077-5415-2026-2-7-14. – EDN PMVDWT.

5 Патент № 2689901 C2 Российская Федерация, МПК F16F 15/02, F16F 7/10. Устройство управления вибрационным полем технологической машины : № 2017140746 : заявл. 22.11.2017 : опубл. 29.05.2019 / С. В. Елисеев, Р. С. Большаков, А. В. Елисеев [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Иркутский государственный университет путей сообщения (ФГБОУ ВО ИрГУПС). – EDN KTQODK.

6 Возможности интеграции методов теории цепей и теории автоматического управления в задачах динамики машин / С. В. Елисеев, А. О. Московских, Р. С. Большаков, А. А. Савченко // Наука и образование. – 2012. – № 6. – С. 19. – DOI: 10.7463/0612.0378699. – EDN PGXZJL.

УДК 629.4.015:62-752:681.5

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ РАЗРАБОТОК В ОБЛАСТИ ВИБРАЦИОННОГО УПРОЧНЕНИЯ ДЛИННОМЕРНЫХ ДЕТАЛЕЙ АВИАЦИОННЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Р. С. БОЛЬШАКОВ
Иркутский государственный университет путей сообщения, Российская Федерация

Д. А. БОЙКО
Иркутский национальный исследовательский технический университет, Российская Федерация

Обеспечение безопасности эксплуатации транспортных средств, осуществляющих сообщение между различными территориями, является приоритетным направлением научных исследований, в том числе с точки зрения контроля и управления вибрационным состоянием такого рода машин и механизмов [1–5]. Одной из главных целей в данной области является построение информационно-управляющих программно-аппаратных комплексов, направленных на прогнозирование вибрационных параметров технологических машин и обеспечение качества вибрационного упрочнения длинномерных деталей.

В предлагаемом докладе представлен краткий аналитический обзор технологий вибрационного упрочнения длинномерных деталей авиационных транспортных средств.

Новые технологии играют важнейшую роль в современном подходе к вибродиагностике технологического оборудования. С помощью методов искусственного интеллекта и машинного обучения возможно диагностировать состояние механизмов агрегатов производства и прогнозировать их будущее состояние. Методы цифровой обработки сигналов включают анализ временных рядов, частотных спектров, вейвлетпреобразований и других математических инструментов. Важным аспектом цифровой обработки сигналов являются преобразования Фурье и обработка таких результатов при помощи специализированных программных комплексов.

Для практического применения интеллектуальных технологий в разработке системы диагностики необходимо совершенствовать методы проектирования признаков и формулирования классов состояний оборудования. Важными аспектами являются выбор оптимальных характеристик для проектирования ИНС, таких как архитектура сети, количество слоев и нейронов, функции активации и алгоритмы обучения [6].

Также необходимо разрабатывать и внедрять методы машинного обучения, которые позволяют сети самостоятельно улучшать диагностические способности на основе новых данных. В рамках новой государственной политики в области технологического развития современным предприятиям требует-

ся переходить от планового техобслуживания оборудования к системам мониторинга, в основе которых лежит предиктивная модель. Они оптимизируют производственные процессы, обеспечивают контроль качества продукции и управление энергопотреблением, снижают риски аварий и предсказывают их возможное появление, повышают общую эффективность. Внедрение таких систем помогает продлить срок службы оборудования, сократить затраты на ремонт и поддерживать стабильное качество продукции [6].

Существует несколько подходов в области мониторинга вибрационного состояния, в том числе основанные на данных вибромониторинга, а также с применением прогнозных моделей. Однако конструктивные решения представляют собой, по существу, твердое тело на упругих опорах (рисунок 1) [7].



Рисунок 1 – Расчётные схемы конструктивно-технических решений

Также необходимо отметить конструктивно-технические решения в виде способов и устройств, направленных на контроль, управление и корректировку динамического состояния вибрационных стендов, предназначенных для вибрационного упрочнения длинномерных деталей [1]. Расчетные схемы таких вибрационных технологических машин представляют собой механические колебательные системы в виде твердого тела на упругодемпфирующих опорах (примеры приведены на рисунке 2).

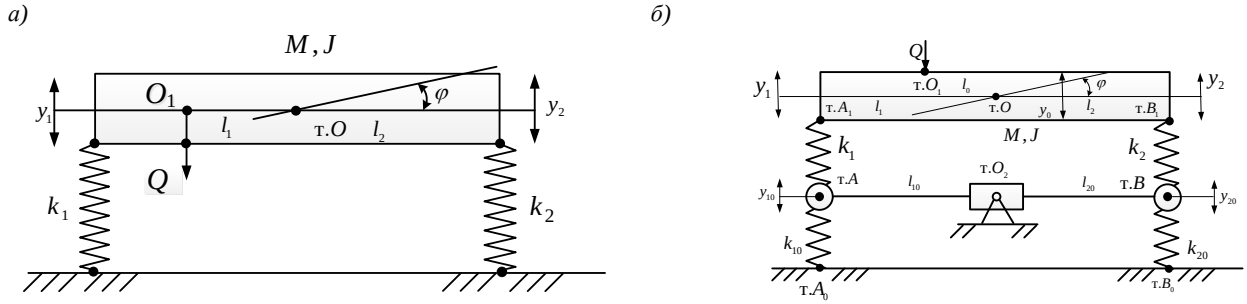


Рисунок 2 – Расчетные схемы конструктивно-технических решений в виде вибрационных стендов

Разработанные конструктивно-технические решения базируются на линейных представлениях и дают возможность учета только амплитуды колебаний в зависимости от частоты внешних возмущений, что, с одной стороны, позволяет использовать передаточные функции таких механических колебательных систем для анализа амплитудно-частотных характеристик, а с другой – отсутствует возможность анализа вибрационных параметров динамического состояния системы во временной области, на основе чего может быть сделано сравнение с экспериментальными данными и построена система управления, а также предиктивной модели.

Список литературы

1 Методология системного анализа в задачах оценки, формирования и управления динамическим состоянием технологических и транспортных машин / С. В. Елисеев, А. В. Елисеев, Р. С. Большаков, А. П. Хоменко. – Новосибирск : Наука, 2021. – 679 с. – ISBN 978-5-02-041463-1. – EDN KGATIU.

2 Концепция обратной связи в динамике механических систем и динамическое гашение колебаний / С. В. Елисеев, А. Н. Трофимов, Р. С. Большаков, А. А. Савченко // Наука и образование. – 2012. – № 5. – С. 25. – DOI: 10.7463/0512.0378353. – EDN PGRQDH.

3 **Елисеев, С. В.** Особенности построения компактов упругих элементов в механических колебательных системах. Взаимодействия с элементами систем и формы соединения / С. В. Елисеев, С. В. Ковыршин, Р. С. Большаков // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2012. – № 4 (36). – С. 61–70. – EDN PJKJWT.

4 Патент № 2689901 C2 Российская Федерация, МПК F16F 15/02, F16F 7/10. Устройство управления вибрационным полем технологической машины : № 2017140746 : заявл. 22.11.2017 : опубл. 29.05.2019 / С. В. Елисеев, Р. С. Большаков, А. В. Елисеев [и др.] ; заявитель Иркутский государственный университет путей сообщения (ФГБОУ ВО ИрГУПС). – EDN KTQODK.

5 Возможности интеграции методов теории цепей и теории автоматического управления в задачах динамики машин / С. В. Елисеев, А. О. Московских, Р. С. Большаков, А. А. Савченко // Наука и образование. – 2012. – № 6. – С. 19. – DOI: 10.7463/0612.0378699. – EDN PGXZJL.

6 **Полетаев, А. А.** Нейросетевой метод технической диагностики оборудования по спектрам виброскорости и виброускорений / А. А. Полетаев, А. Е. Яблоков // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2024. – № 5. – С. 476–481. – DOI 10.24412/2071-6168-2024-5-476-477.

7 Вибрационные испытательные стенды. – URL: https://imc-systems.ru/catalog/vibrostendy/ (дата обращения: 10.09.2026).

УДК 65-656.222.6:519.872.8

ОСОБЕННОСТИ ИНТЕГРАЦИИ ПРИКЛАДНОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ В АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Р. С. БОЛЬШАКОВ, М. А. ДУНАЕВ
Иркутский государственный университет путей сообщения, Российская Федерация

Железнодорожный транспорт является основополагающей транспортной отраслью с точки зрения массовости, общего объёма перевозимых грузов и средней скорости доставки. Нынешние реалии интенсификации движения грузовых поездов диктуют разработку новых и модернизацию существующих подходов к организации движения поездов. Для снижения влияния человеческого фактора все технологические процессы ОАО «РЖД» в той или иной мере автоматизированы [1–6]. Однако не все потребности в данном направлении закрыты.

В условиях санкционного давления акцент смещён в сторону собственной разработки и адаптированных российских аналогов [2]. Большинство производственных систем ОАО «РЖД» созданы российскими разработчиками в рамках импортозамещения. В Реестре российского ПО зарегистрировано 113 информационных систем ОАО «РЖД» [1]. Стороннее ПО, особенно зарубежное, имеет ограниченные возможности для интеграции. Приоритет отдаётся решениям из реестра отечественного ПО.

Используется сервис-ориентированная архитектура (SOA), обеспечивающая гибкость и масштабируемость. Все системы составляют единую информационную среду и взаимодействуют через корпоративную цифровую платформу. Интеграция происходит на уровне интерфейсов и корпоративной шины данных. Стороннее ПО должно обеспечивать обмен данными в режиме реального времени без дублирования и задержек. Перспективным направлением назван процесс интеграции ИТ с единой информационной системой персональных данных потребителей железнодорожных услуг. Приведён пример интеграции блокчейн-платформы с корпоративными автоматизированными системами (2019 г., ООО «Инновационная мобильность»). Таким образом, стороннее ПО должно встраиваться через корпоративную шину данных и поддерживать единые протоколы обмена.

Внедрена многоуровневая ИТ-модель: корпоративные платформы, отраслевые подсистемы, решения для дочерних обществ. Единые информационные контуры формируют централизованные базы данных и синхронизируют процессы. С 2023 года всё сопровождение АСУ на сайте ОАО «РЖД» осуществляет ООО «РЖД — Цифровые пассажирские решения» – ведущая организация в области развития цифровых сервисов пассажирского комплекса. Интеграция стороннего ПО требует взаимодействия с централизованными структурами холдинга и его дочерними ИТ-компаниями.

Поддерживается единая система идентификации и доступа. Реализована защита персональных и производственных данных. На всех уровнях обеспечивается соблюдение стандартов совместимости и информационной безопасности. Среди недостатков цифровых возможностей отрасли отмечено отсутствие целевого обеспечения информационной безопасности, направленной на защиту цифровых данных в оперативном взаимодействии. Информационная безопасность является обязательным условием интеграции, но в отрасли сохраняются проблемы с её обеспечением.

Развитие цифровых решений сопровождается интеграцией с ERP-системами (SAP и 1С). Внедряются BI-платформы, аналитические модули на основе больших данных. Используются машинное

обучение, предиктивная аналитика, IoT. Упоминаются виртуальный ассистент на базе AI-платформы MDG и ChatNavigator для сотрудников ГВЦ ОАО «РЖД». ERP-система (Enterprise Resource Planning) – это комплексное программное обеспечение, которое объединяет ключевые бизнес-процессы компании в единой информационной среде. Она служит «центральной нервной системой» предприятия, обеспечивая обмен данными между отделами и доступ к актуальной информации в реальном времени. BI-платформы (Business Intelligence) – это программные решения, которые собирают, очищают, анализируют и визуализируют данные из разных источников для поддержки принятия управленческих решений. Они превращают разрозненную информацию в наглядные отчёты и интерактивные дашборды. Стороннее ПО должно уметь взаимодействовать с ERP-системами, BI-платформами и AI-решениями.

Отдельного внимания при интеграции стороннего ПО заслуживают перспективные информационные системы управления [3]. Технология Big Data представляет собой совокупность инструментов, подходов и методов обработки как структурированных, так и неструктурированных данных огромного размера для дальнейшего их использования.

При интеграции сторонних аналитических платформ и сервисов больших данных в контур ОАО «РЖД» необходимо учитывать, что Big Data может применяться совместно с системой автоматизированного управления движением (САУД) для оптимизации функционирования и упрощения принципа работы. САУД представляет собой сложные программно-аппаратные комплексы, предназначенные для повышения точности исполнения графика движения поездов за счёт автоматизации процессов перевозок, включая управление подвижным составом. Интеграция подобных сторонних решений позволяет автоматически корректировать движение поездов по диспетчерскому участку при изменении поездной ситуации, что минимизирует задержки и повышает эффективность работы всей инфраструктуры; по расчётам специалистов, расход энергии должен сократиться до 15 %.

Однако одним из основных минусов САУД и аналогичных сторонних комплексов является высокая стоимость внедрения, поскольку переход к таким системам проходит в несколько этапов. Кроме того, при введении в эксплуатацию систем автоматизированного управления движением возникает вопрос кибербезопасности: требуется поддерживать высокий уровень информационной безопасности для защиты данных от возможных попыток нанести ущерб репутации компаний. Интеграция стороннего ПО должна соответствовать приоритетам государственной политики в области цифровизации транспорта.

Таким образом, несмотря на высочайший технический уровень информационно-управляющих и автоматизированных систем, существует достаточное количество вопросов (связанных, в том числе, с организацией движения поездов) задачи в стадии решения. Причем не всегда имеет место именно процесс решения актуальной задачи. Иногда достаточно сложно происходит процесс внедрения готовых программных продуктов, призванных решить злободневную проблему, влияющую на эксплуатационные показатели работы железнодорожного транспорта. В этой связи необходима разработка подходов к упрощению данных процессов.

Список литературы

1 **Бердышева, Ю. А.** Информационные технологии как фактор развития цифровой трансформации железнодорожного транспорта / Ю. А. Бердышева, Е. А. Жаркова // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения: Гуманитарные исследования. – 2023. – № 4 (19). – С. 55–60. – DOI: 10.52170/2618-7949_2023_19_55. – EDN VBLYZP.

2 **Маслов, А. П.** Автоматизация бизнес-процессов в ОАО «РЖД»: разработка корпоративных информационных систем / А. П. Маслов, В. Н. Тарасова, С. В. Беспалько // Транспортное дело России. – 2025. – № 3. – С. 104–106. – EDN NBNXTX.

3 **Казанская, Л. Ф.** Информационные системы управления в развитии железнодорожного транспортно-логистического бизнеса: перспективы и риски / Л. Ф. Казанская // Транспортное дело России. – 2024. – № 6. – С. 25–28. – EDN FUJHGJ.

4 **Лыкова, М. П.** Перспективы развития интеллектуальных транспортных систем в России на примере железнодорожного транспорта / М. П. Лыкова // Транспортные и транспортно-технологические системы : материалы Междунар. науч.-техн. конф., Тюмень, 18 апр. 2019 г. / отв. ред. Н.С. Захаров. – Тюмень : Тюменский индустриальный университет, 2019. – С. 195–199. – EDN IPSPDF.

5 К вопросу о цифровизации на железнодорожном транспорте России / П. В. Метелкин, В. В. Лобачев, А. Н. Крылов, А. Г. Липатов // Транспортное дело России. – 2019. – № 1. – С. 225–227. – EDN ZCQSST.

6 **Панова, Н. Н.** Внедрение цифровых технологий в железнодорожной отрасли / Н. Н. Панова // Транспорт: наука, образование, производство : сб. науч. тр. Междунар. науч.-практ. конф., Ростов-на-Дону, 23–25 апреля 2025 года. Т. 1. Технические науки. – Ростов н/Д : РГУПС, 2025. – С. 310–313. – EDN PCUKNO.

УДК 539.3

ДИНАМИЧЕСКОЕ НАГРУЖЕНИЕ ПЯТИСЛОЙНОГО СТЕРЖНЯ ПОГОННОЙ НАГРУЗКОЙ

Д. А. БУДНИКОВА
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Широкое применение слоистых многослойных элементов связано с необходимостью создания легких и прочных конструкций. Использование материалов с различными физико-механическими свойствами позволяет повысить жесткость и несущую способность изделий. Основные подходы к моделированию статического и динамического поведения композитных элементов представлены в [1–6]. Деформирование трехслойных пластин и оболочек исследованы в [7, 8]. Вопросам динамики пятислойных конструкций посвящены работы [9–16].

Рассматривается пятислойный стержень симметричной структуры, подвергаемый динамическому нагружению погонной нагрузкой $q = q(x, t)$. Внешние и центральный несущие слои работают в соответствии с гипотезой Бернулли, согласно которой поперечные сечения остаются плоскими и нормальными к деформированной оси стержня. Для относительно толстых легких заполнителей принимаются гипотеза Тимошенко, учитывающая дополнительный сдвиг. За искомые функции принимается прогиб стержня $w(x, t)$ и относительный сдвиг в заполнителях $\psi(x, t)$.

Система дифференциальных уравнений собственных колебаний подобного стержня получена в [11]. Для вынужденных колебаний она принимает вид

$$a_1 \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} - a_2 \frac{\partial^3 w}{\partial x^3} = 0\,, \quad a_2 \frac{\partial^3 \psi}{\partial x^3} - a_4 \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} - M_0 \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = -q_0\,,$$

где коэффициенты

$$a_1 = 2c^2\left(\frac{1}{3}(K_3 + \frac{4}{3}G_3)c + (K_2 + \frac{4}{3}G_2)h_2\right),\quad a_2 = h_2 c(K_2 + \frac{4}{3}G_2)(h_2 + 2h_1 + 2c) + \frac{1}{3}c^2(K_2 + \frac{4}{3}G_2)(3h_1 + 2c)\,,$$

$$a_4 = \frac{2}{3}\Big[{h_1}^3(K_1 + \frac{4}{3}G_1) + h_2(K_2 + \frac{4}{3}G_2)\Big({h_2}^2 + 3(h_2 + h_1 + c)(h_1 + c) + c(K_3 + \frac{4}{3}G_3)(c^2 + 3h_1 c + 3{h_1}^2)\Big);$$

$2h_1$ – толщина центрального слоя; h_2 – толщина внешних слоев; c – толщина заполнителей; G_k, K_k – модули сдвига и объемного деформирования материалов слоев.

Для замыкания начально-краевой задачи необходимо к уравнениям движения добавить начальные и граничные условия.

Прогиб, относительный сдвиг и нагрузка раскладываются в ряд по системе собственных функций при заделанном по торцам стержне:

$$w(x,t) = \sum_{n=0}^{\infty} v_n T_n(t)\,,\quad \psi(x,t) = \frac{a_2}{a_1}\sum_{n=0}^{\infty} \varphi_n T_n(t)\,,\quad q(x,t) = M_0 \sum_{n=0}^{\infty} v_n q_n(t)\,,$$

где системы функций $v_n \equiv v(\beta_n, x)$, $\varphi_n \equiv \varphi(\beta_n, x)$

$$v_n = \frac{1}{d_n}\big(\mathrm{s\,h}(\beta_n x) - \sin(\beta_n x) - S_n\big(\mathrm{ch}(\beta_n x) - \cos(\beta_n x)\big)\big)\,,$$

$$\varphi_n = \frac{\beta_n}{d_n}\big(\mathrm{ch}(\beta_n x) - \cos(\beta_n x) - S_n\big(\mathrm{sh}(\beta_n x) + \sin(\beta_n x)\big)\big)\,,\quad S_n = \frac{\mathrm{s\,h}(\beta_n l) - \sin(\beta_n l)}{\mathrm{ch}(\beta_n l) - \cos(\beta_n l)}\,;$$

d_n – нормирующие множители; β_n – собственные числа, связанные с частотами колебаний ω_n,

$$\beta_n^4 = a_1 M_0 \omega_n^2 \big/ \big(a_4 a_1 - {a_2}^2\big)\,.$$

Коэффициенты $q_n(t)$ разложения в ряд нагрузки с постоянной интенсивностью q= const получим в виде

$$q_n(t) = \frac{1}{M_0}\int_0^l q_0 v_n dx = \frac{q_0}{M_0 d_n \beta_n}\left(\mathrm{ch}(\beta_n l) + \cos(\beta_n l) - S_n\left(\mathrm{sh}(\beta_n l) - \sin(\beta_n l)\right) - 2\right).$$

Функция времени, входящая в выражение для искомых перемещений, удовлетворяет дифференциальному уравнению второго порядка:

$$\ddot{T}_n + \omega_n^2 T_n = q_n .$$

Общее решение его известно [1]:

$$T_n(t) = A_n \cos(\omega_n t) + B_n \sin(\omega_n t) + \frac{1}{\omega_n}\int_0^t \sin(\omega_n (t-\tau)) q_n(\tau) d\tau .$$

Функция времени при равномерно распределенной нагрузке

$$T_n(t) = \frac{q_n}{\omega_n^2}(1 - \cos(\omega_n t)).$$

Полученные аналитические решения позволят численно исследовать параметры колебаний пятислойных стержней.

Список литературы

1 **Zhuravkov, M. A.** Mechanics of Solid Deformable Body / M. A. Zhuravkov, Lyu Yongtao, E.I. Starovoitov. – Singapore : Springer, 2023. – 317 p.

2 **Старовойтов, Э. И.** Сопротивление материалов / Э. И. Старовойтов. – Гомель : БелГУТ, 2025. – 396 с.

3 **Старовойтов, Э. И.** Механика материалов : учеб. для студентов высших учебных заведений / Э. И. Старовойтов. – Гомель, 2011. – 380 с. – ISBN 978-985-468-720-9. – EDN SRNTHC.

4 Deformation of Three-layer Structural Elements in Thermal Radiation Fields // E. I. Starovoitov, M. A. Zhuravkov, D. V. Leonenko, Lyu Yongtao. – Springer Nature Singapore, Pte Ltd. 2024. – 384 p.

5 Деформирование трехслойных пластин при термосиловых нагрузках / Э. И. Старовойтов, Ю. В. Шафиева, А. В. Нестерович, А. Г. Козел. – Гомель : БелГУТ, 2024. – 395 с.

6 **Яровая, А. В.** Строительная механика. Статика стержневых систем / А. В. Яровая. – Гомель : БелГУТ, 2013. – 447 с.

7 **Старовойтов, Э. И.** Деформирование локальными нагрузками композитной пластины на упругом основании / Э. И. Старовойтов, Д. В. Леоненко, М. Сулейман // Механика композитных материалов. – 2007. – Т. 43, № 1. – С. 109–120. – EDN DIPPEO.

8 **Леоненко, Д. В.** Собственные колебания трехслойного стержня на упругом основании / Д. В. Леоненко, Э. И. Старовойтов // Прикладная механика. – 2016. – Т. 52, № 4. – С. 37–46.

9 **Лачугина, Е. А.** Свободные колебания круговой пятислойной пластины, несимметричной по толщине / Е. А. Лачугина // Актуальные вопросы машиноведения. – 2025. – Т. 14. – С. 70–73.

10 **Будникова, Д. А.** Колебания пятислойного стержня под действием локальной нагрузки / Д. А. Будникова // Проблемы физики, математики и техники. – 2026. – № 2 (67). – С. 17–22. – DOI: 10.54341/20778708_2026_2_67_17. – EDN ESGYJF.

11 **Будникова, Д. А.** Влияние условий закрепления пятислойного стержня на частоты собственных колебаний / Д. А. Будникова // Актуальные вопросы машиноведения. – 2025. – Т. 14. – С. 66–69.

12 **Старовойтов, Э. И.** Собственные колебания симметричного по толщине пятислойного стержня / Э. И. Старовойтов, Д. А. Будникова // Механика композиционных материалов и конструкций. – 2025. – Т. 31, № 1. – С. 25–39.

13 **Старовойтов, Э. И.** Собственные колебания пятислойного стержня, вызванные начальным прогибом / Э. И. Старовойтов, Д. А. Будникова // Механика машин, механизмов и материалов. – 2025. – № 2 (71). – С. 70–77.

14 **Будникова, Д. А.** Анализ собственных колебаний пятислойного стержня / Д. А. Будникова // Механика. Исследования и инновации. – 2024. – Вып. 17. – С. 33–39.

15 **Будникова, Д. А.** Собственные частоты колебаний пятислойного стержня / Д. А. Будникова // Проблемы физики, математики и техники. – 2025. – № 2 (63). – С. 11–15.

16 **Будникова, Д. А.** Колебания пятислойного стержня под действием мгновенно приложенной равномерно распределенной нагрузки / Д. А. Будникова // Механика. Исследования и инновации. – 2025. – Вып. – С. 13–18. – EDN BIDHZM.

УДК 536.2:004.8

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ДВУМЕРНОЙ МОДЕЛИ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ МАКСВЕЛЛА – КАТТАНЕО С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФИЗИЧЕСКИ ИНФОРМИРОВАННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ И АВТОМАТИЧЕСКОГО ПОДБОРА ГИПЕРПАРАМЕТРОВ

Я. А. ВАХТЕРОВА, В. Е. КОБЦЕВ, Г. В. ФЕДОТЕНКОВ
Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация

Рассматривается двумерная модель теплопроводности Максвелла – Каттанео в безразмерной форме. Уравнение теплового баланса при отсутствии объёмных источников тепла имеет вид [1, 4]

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} + \tau_T \frac{\partial^2 \theta}{\partial t^2} = \kappa \left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} \right), \tag{1}$$

где (x, y) – пространственные координаты; t – время; κ – безразмерный коэффициент теплопроводности, τ_T – время релаксации теплового потока, θ – приращение температурного поля. Заданы нулевые начальные условия на θ и $\partial\theta / \partial t$, а также однородные граничные условия Дирихле на границе пластины. Обратная задача состоит в идентификации параметров κ и τ_T по показаниям одного температурного датчика.

Для решения используется физически информированная нейронная сеть, принимающая на вход (x, y, t) и аппроксимирующая поле θ. Начальные и граничные условия встроены непосредственно в структуру аппроксимирующей функции и выполняются тождественно, без штрафных слагаемых в функции потерь [2]. Функция потерь содержит только невязку уравнения в точках коллокации и среднеквадратичную ошибку по показаниям датчика. Параметры κ и τ_T входят в сеть как обучаемые величины (с логарифмической параметризацией для сохранения положительности) и оптимизируются совместно с весами.

Архитектура сети (число скрытых слоёв, число нейронов, веса компонент функции потерь, скорость обучения) подбирается автоматически библиотекой автоматической настройки гиперпараметров Optuna [3]. Критерием выбора служит ошибка на проверочной выборке, не участвующей в обновлении параметров. Обучение проводится в два этапа: сначала градиентный оптимизатор, затем квазиньютоновский метод для уточнения решения.

Восстановленные значения κ и τ_T практически совпадают с эталонными (относительная погрешность порядка нескольких процентов). Поле температуры, построенное сетью, визуально и количественно неотличимо от эталонного решения прямой задачи. Переход от учёта начальных и граничных условий через штрафные члены к их жёсткому встраиванию в архитектуру упростил балансировку функции потерь и повысил устойчивость обучения.

Полученные результаты показывают, что сочетание физически информированной нейронной сети с автоматическим подбором гиперпараметров и жёстким учётом начальных и граничных условий позволяет надёжно идентифицировать оба параметра двумерной модели Максвелла – Каттанео (1) по данным одного датчика.

Список литературы

1 **Cattaneo, C.** A form of heat conduction equation which eliminates the paradox of instantaneous propagation / C. Cattaneo // Compte Rendus. – 1958. – Vol. 247. – P. 431–433.

2 Physics-informed neural networks with hard constraints for inverse design / L. Lu, R. Pestourie, W. Yao [et al.] // SIAM J. Sci. Comput. – 2021. – Vol. 43, № 6. – P. B1105–B1132.

3 **Akiba, T.** Optuna: A Next-generation Hyperparameter Optimization Framework / T. Akiba, S. Sano, T. Yanase, T. Ohta, M. Koyama // Proc. 25th ACM SIGKDD Conf. – 2019. – P. 2623–2631.

4 **Вахтерова, Я. А.** Моделирование теплопроводности в стержне на основе уравнения Максвелла – Каттанео с помощью глубокого машинного обучения / Я. А. Вахтерова, Е. Л. Кузнецова, Фан Тунг Сон // СТИН. – 2025. – № 7. – С. 25–29.

УДК 539.3:004.8

МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНОЙ ДИНАМИКИ СТЕРЖНЕВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ФИЗИЧЕСКИ ИНФОРМИРОВАННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Я. А. ВАХТЕРОВА, Г. В. ФЕДОТЕНКОВ
Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация

Обеспечение безопасности транспортных систем требует достоверного прогнозирования динамического поведения несущих элементов при интенсивных и нестационарных воздействиях. В стержневых элементах каркасов, тяг, раскосов, элементов крепления и других тонкостенных конструкций при повышенных уровнях деформаций могут проявляться геометрически нелинейные эффекты, приводящие к изменению частотных характеристик и формы колебательного процесса. Поэтому развитие вычислительных методов, способных устойчиво решать нелинейные динамические задачи и использоваться при многовариантных расчетах, представляет интерес для задач оценки прочности и надежности транспортных конструкций.

В работе рассматривается модельная задача о продольных колебаниях одномерного упругого стержня с геометрической нелинейностью. Движение описывается уравнением баланса импульса, в котором продольное усилие зависит от линейной и квадратичной составляющих деформации. Такая постановка позволяет исследовать влияние геометрической нелинейности на переходный колебательный процесс и одновременно служит базовой тестовой задачей для оценки возможностей физически информированных нейронных сетей (Physics-Informed Neural Networks, PINN) [1]

$$\rho F u_{tt} = \frac{\partial N}{\partial x} + q(x,t),\ N = EF\left(u_x + \frac{1}{2}u_x^2\right). \qquad (1)$$

Для стержня задаются закрепления $u(0,t) = u(L,t) = 0$, начальное перемещение синусоидальной формы и нулевая начальная скорость. Внешняя нагрузка также принимается распределенной по синусоидальному закону вдоль стержня и гармонической по времени. В расчетном примере использованы параметры стали 30ХГСА, длина стержня L =1000 мм; рассматриваются различные уровни начальной амплитуды, что позволяет оценить работу алгоритма при различной выраженности нелинейных эффектов.

Для обучения нейросетевой модели исходная начально-краевая задача приводится к безразмерному виду. Вводятся координата $X = x / L$, безразмерное время $\tau = c\, t / L$ и перемещение $U = u / a$, где $c = \sqrt{E / \rho}$. В результате уравнение содержит безразмерный параметр геометрической нелинейности $\varepsilon = a / L$ и безразмерную внешнюю нагрузку $Q(X,\tau)$. Использование безразмерной постановки уменьшает различие масштабов входных и выходных величин и делает процедуру оптимизации более устойчивой:

$$U_{\tau\tau} = \frac{\partial}{\partial X}\left[U_X + \frac{\varepsilon}{2}U_X^2\right] + Q(X,\tau), \qquad 0 < X < 1, \quad \tau > 0. \qquad (2)$$

Особенностью, используемой PINN, является жесткое выполнение начальных и граничных условий: нейросеть аппроксимирует не всё решение, а корректирующую составляющую, умноженную на функции, обращающиеся в ноль на границах расчетной области и при начальном моменте времени. В базовую часть решения дополнительно включена аналитически мотивированная первая нелинейная поправка. Такой подход исключает необходимость вводить отдельные штрафные слагаемые за нарушение начальных и граничных условий и концентрирует обучение на минимизации невязки дифференциального уравнения.

В качестве функции потерь используется средний квадрат физической невязки, вычисляемой в коллокационных точках (3). Производные нейросетевого решения по координате и времени определяются средствами автоматического дифференцирования. Для описания высокочастотной временной структуры во входной слой включены Fourier features. Гиперпараметры сети определялись с помощью Optuna по 20 тренировочным запускам по 2000 эпох [2]. Полученная архитектура имеет вид 36→32→32→32→32→32→1; используются пять скрытых слоев по 32 нейрона, функция акти-

вации GELU, 2000 коллокационных точек и 16 временных гармоник. После основного обучения выполнялось дополнительное уточнение решения методом L-BFGS:

$$L_{PDE} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} R_\theta^2\left(X_i, \tau_i\right),$$
$$R_\theta = U_{\theta,\tau\tau} - \frac{\partial}{\partial X}\left(U_{\theta,X} + \frac{\varepsilon}{2} U_{\theta,X}^2\right) - Q\left(X, \tau\right). \quad (3)$$

В отличие от нейросетей, обучаемых по большой выборке заранее рассчитанных решений, в данной PINN обучающие данные в обычном смысле не требуются: в коллокационных точках контролируется выполнение исходного дифференциального уравнения, а начальные и граничные условия включены непосредственно в структуру аппроксимации. Это позволяет сохранять явную связь с физической постановкой и уменьшает зависимость от объема эталонных расчетов.

Включение временных Fourier features используется для повышения способности сети воспроизводить быстро меняющиеся и квазипериодические компоненты решения. Входной вектор содержит нормированную координату и время, а также набор синусоидальных и косинусоидальных функций времени. Такая параметризация облегчает представление высокочастотных колебаний стандартной многослойной сетью. Автоматический подбор числа слоев, ширины скрытого слоя, функции активации, шага обучения, числа коллокационных точек и количества временных гармоник позволил отказаться от ручного выбора значительной части гиперпараметров.

Для проверки точности результаты PINN сопоставлялись с независимым конечно-объемным решением по схеме MUSCL с потоком Рузанова и SSPRK3-интегрированием по времени. Сравнение проводилось как по пространственным распределениям перемещений при фиксированных моментах времени, так и по временным зависимостям в заданных сечениях стержня. Для двух рассмотренных уровней начальной амплитуды получено близкое совпадение кривых PINN и конечно-объемного расчета. Пространственно-временные поверхности решения и поля разности показывают, что наибольшие локальные расхождения возникают в областях экстремальных значений перемещений и увеличиваются при более выраженной нелинейности, однако общая структура колебательного процесса воспроизводится нейросетью устойчиво.

Нелинейные задачи особенно актуальны для транспортной механики, поскольку в реальных конструкциях уровень динамического отклика может зависеть не только от внешнего воздействия, но и от текущей конфигурации системы. При увеличении деформаций линейная модель перестает адекватно описывать изменение жесткости и фазовые характеристики колебаний. Рассмотренная одномерная постановка не является моделью конкретного транспортного объекта, однако она воспроизводит ключевой механизм геометрической нелинейности и потому может служить базовой задачей для последующего перехода к расчету тяг, раскосов, элементов каркасов, соединительных и силовых элементов транспортных конструкций.

Полученные результаты подтверждают применимость физически информированных нейронных сетей к нестационарным геометрически нелинейным задачам динамики стержневых систем. Для задач транспортной безопасности такой подход представляет интерес прежде всего как дополнительный вычислительный инструмент для ускоренного анализа динамического отклика элементов конструкций при вариации параметров, нагрузок и начальных условий. В отличие от чисто аппроксимационных моделей PINN непосредственно учитывает дифференциальные уравнения механики, что повышает физическую интерпретируемость результата и позволяет использовать метод в сочетании с традиционными численными схемами. При этом нейросетевой расчет не заменяет верифицированные инженерные методы, а дополняет их при многовариантном анализе и построении редуцированных расчетных моделей.

К основным результатам работы относятся построение безразмерной PINN-модели геометрически нелинейных продольных колебаний, жесткое задание начальных и граничных условий, использование аналитически мотивированной нелинейной поправки, подбор архитектуры с помощью Optuna и сопоставление с независимой конечно-объемной схемой.

Список литературы

1 **Fedotenkov, G. V.** Application of deep learning and physics-informed neural networks to the heat transfer problem within the Green–Naghdi type II theory / G. V. Fedotenkov, Y. A. Vahterova // AIP Conf. Proc. – 10 June 2026. – 3405 (1): 220001. – URL: https://doi.org/10.1063/12.0043263 (date of access: 20.09.2026).

2 Optuna: A hyperparameter optimization framework. – URL: https://optuna.readthedocs.io/en/stable/index.html (date of access: 20.09.2026).

УДК 004.8:519.6

ПРИМЕНЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИ ИНФОРМИРОВАННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ К МОДЕЛИРОВАНИЮ ПРЯМОУГОЛЬНОЙ МЕМБРАНЫ

К. В. ВЕСТЯК, Я. А. ВАХТЕРОВА
Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация

Задачи математического моделирования деформаций технических конструкций требуют решения краевых задач математической физики с учётом внешних воздействий и различных типов граничных условий [1–3]. Одной из классических моделей является прямоугольная мембрана, для которой по заданным геометрическим параметрам, натяжению, внешней нагрузке и условиям на границе необходимо определить распределение прогиба. Для ряда частных постановок могут быть получены аналитические решения, однако при усложнении характера нагрузки или граничных условий применение аналитических методов становится менее универсальным. В связи с этим представляет интерес использование методов глубокого машинного обучения, учитывающих математическую постановку физической задачи непосредственно при обучении нейронной сети.

В работе рассматривается стационарная краевая задача для прямоугольной мембраны, находящейся под действием поперечной нагрузки. Пусть мембрана занимает прямоугольную область $\Omega = [0, a] \times [0, b]$, где a и b – размеры мембраны; $w(x, y)$ – её поперечный прогиб; T – натяжение мембраны; $p(x, y)$ – заданная поперечная нагрузка. Уравнение равновесия имеет вид

$$T\Delta w(x, y) + p(x, y) = 0, \Delta w = \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2}. \quad (1)$$

В программной реализации предусмотрены различные варианты граничных условий: закреплённая кромка с нулевым вертикальным перемещением, свободная кромка и кромка с заданной линией-нагрузкой. В качестве внешних воздействий рассматриваются одномодовая синусоидальная, равномерная, локальная на прямоугольном участке и сосредоточенная нагрузки. Такое множество постановок позволяет исследовать возможность применения единого нейросетевого подхода к задачам с различными типами внешнего воздействия и условиями на границе.

Для получения эталонного решения в работе используется аналитический подход. Для задачи с закреплёнными кромками стационарное уравнение мембраны сводится к задаче Пуассона с условиями Дирихле. Решение может быть представлено с использованием функции Грина и соответствующего спектрального представления. Полученное аналитическое решение используется для проверки качества нейросетевой аппроксимации. Таким образом, наличие эталонного решения позволяет проводить не только визуальное, но и количественное сравнение результатов.

Для приближённого решения краевой задачи используется физически информированная нейронная сеть (Physics-Informed Neural Network, PINN). Данный подход заключается в построении нейросетевой аппроксимации искомой функции и включении математического уравнения непосредственно в функцию потерь. В рассматриваемой модели входными данными сети являются координаты точки (x, y), а выходом – значение прогиба $w_\theta(x, y)$, где θ обозначает совокупность обучаемых параметров сети.

Функция потерь формируется с учётом невязки дифференциального уравнения внутри расчётной области и невязок граничных условий. В общем виде она может быть записана как

$$L(\theta) = \lambda_{PDE} L_{PDE} + \lambda_{BC} L_{BC}. \quad (2)$$

Производные нейросетевого приближения вычисляются средствами автоматического дифференцирования библиотеки PyTorch. В частности, оператор Лапласа определяется непосредственно по нейросетевой функции посредством последовательного вычисления первых и вторых производных. Таким образом, при формировании невязки не требуется построение конечно-разностной схемы для дифференциального оператора. Применение PINN позволяет рассматривать нейросетевую модель как непрерывное приближение решения, удовлетворяющее заданному дифференциальному уравнению и граничным условиям.

Для закреплённых сторон реализована возможность жёсткого встраивания условий Дирихле непосредственно в структуру нейросетевого приближения. В случае закрепления всех четырёх сторон выход нейронной сети умножается на граничную маску, обращающуюся в ноль на границе области. Благодаря этому нулевые граничные условия выполняются конструктивно, а не только за счёт штрафной составляющей функции потерь. Для свободных кромок и кромок с линией-нагрузкой соответствующие условия учитываются непосредственно в граничной части функции потерь.

Обучение модели осуществляется в несколько этапов. В качестве основного оптимизатора используется Adam, после которого при необходимости выполняется дополнительное уточнение методом L-BFGS. Для автоматического выбора гиперпараметров предусмотрено использование библиотеки Optuna. В этом случае первоначально выполняется несколько пробных запусков с различными комбинациями параметров, после чего выбранная конфигурация используется при финальном обучении. Таким образом, общая схема обучения имеет вид Optuna → Adam → L-BFGS. При отключённом автоматическом подборе используется схема Adam → L-BFGS либо только Adam.

Для оценки качества полученного решения выполняется его сравнение с аналитическим решением на единой равномерной расчётной сетке. В качестве количественных характеристик используются среднеквадратичная ошибка, максимальная абсолютная ошибка и средняя абсолютная ошибка. Кроме того, анализируются поле прогиба, распределение абсолютной ошибки, одномерные срезы и трёхмерная поверхность решения. Такой комплекс показателей позволяет оценить как общее соответствие нейросетевого решения эталонному, так и локальные области наибольшего расхождения.

Вычислительные эксперименты показали, что разработанная PINN-модель воспроизводит общий характер аналитического решения стационарной задачи прямоугольной мембраны при различных вариантах нагрузки и граничных условий. Для одного из сравнительных экспериментов рассматривалась постановка с одной свободной кромкой и сосредоточенной нагрузкой. Сравнение вариантов обучения показало, что автоматический подбор гиперпараметров позволяет сократить время рассматриваемого вычислительного эксперимента: в приведённом в ВКР примере время обучения составило 13,0 с. с использованием Optuna против 51,9 с. при ручном выборе гиперпараметров. При этом в работе отмечается, что влияние Optuna на точность не является гарантированно положительным для каждого запуска и зависит от числа пробных конфигураций, диапазонов поиска и сложности постановки.

Полученные результаты показывают возможность применения физически информированных нейронных сетей для приближённого решения краевых задач математической физики, в которых необходимо одновременно учитывать дифференциальное уравнение и условия на границе. Разработанная программная реализация позволяет изменять геометрию мембраны, тип нагрузки, граничные условия и параметры нейросетевой модели, а также проводить автоматизированную верификацию полученного решения. Такой подход может рассматриваться как основа для дальнейшего исследования более сложных задач математического моделирования технических конструкций и перехода от стационарной постановки к нестационарным задачам.

Список литературы

1 **Raissi, M.** Physics-informed neural networks: A deep learning framework for solving forward and inverse problems involving nonlinear partial differential equations / M. Raissi, P. Perdikaris, G. E. Karniadakis // Journal of Computational Physics. – 2019. – Vol. 378. – P. 686–707.

2 **Yarotsky, D.** Error bounds for approximations with deep ReLU networks / D. Yarotsky // Neural Networks. – 2017. – Vol. 94. – P. 103–114.

3 **Вахтерова, Я. А.** Нестационарная динамика балок и пластин / Я. А. Вахтерова, Д. О. Сердюк, Г. В. Федотенков. – М. : Изд-во МАИ, 2022. – 104 с.

УДК 539.422.52

СОПОСТАВЛЕНИЕ АНАЛИТИЧЕСКИХ И КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНЫХ МОДЕЛЕЙ УДАРНОГО НАГРУЖЕНИЯ ПАНЕЛЕЙ ИЗ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА ИНДЕНТОРАМИ РАЗЛИЧНОЙ ФОРМЫ

В. А. ВЕСТЯК, М. И. МАРТИРОСОВ, Э. А. ЗАНИНА
Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация

Проблема разработки аналитических методов оценки ударного деформирования конструкций из полимерных композиционных материалов (ПКМ) в современной науке не является принципиально

новой, однако сохраняет свою актуальность в свете широкого применения ПКМ в авиационной технике. ПКМ позволяют создавать лёгкие и высокопрочные конструкции, оптимизированные под конкретные схемы нагружения. Однако существенным ограничением для использования ПКМ является их чувствительность к ударным воздействиям от дискретных объектов (град, камни, птицы и т. п.). Подтвердить прочностные характеристики и надёжность конструкции из ПКМ после удара можно путём натурных экспериментов, но такие испытания дорогостоящи, и охватить все возможные варианты конструкций не представляется возможным. В связи с этим возникает потребность в методах прогнозирования ударных повреждений. Широко распространён метод конечных элементов (МКЭ) в сочетании с явным интегрированием по времени. Несмотря на свою универсальность, данный подход обладает серьёзными недостатками: большим временем расчёта и неочевидностью математических допущений, заложенных в вычислительные пакеты. Форма ударников (инденторов) может варьироваться, и именно она определяет распределение контактного давления на конструкцию при ударе. В данной работе рассматриваются два типа ударников: плоский (цилиндрический) и сферический. Величину и распределение ударного давления на поверхности мишени можно найти, комбинируя решение динамической задачи о соударении твёрдых тел и статической задачи о давлениях между двумя контактирующими телами.

Контактная сила может быть описана с помощью модели удара Герца [1, 2]. Контактная сила

$$P = n'\Delta u^{3/2}, \tag{1}$$

где n' – коэффициент, зависящий от упругих свойств ударника и мишени и их радиусов кривизны; Δu – совместное перемещение ударника и мишени. Предполагается, что при взаимодействии соударяющихся тел существенными являются местные деформации в зоне контакта, а зависимость контактной силы от контактной деформации при ударе остается такой же, как и при статическом сжатии тел. В [3] приведено решение для общего случая соударения двух неизотропных тел вращения:

$$n' = \left(\frac{16}{3\pi\left(k_1' + k_2'\right)}\right)\left(\frac{C_R}{s^3}\right)^{\frac{1}{2}}, \tag{2}$$

где k_1', k_2' – параметры, подлежащие определению, учитывающие упругие свойства ударника и мишени – коэффициенты контактной жёсткости; C_R, s – параметры, учитывающие влияние кривизны ударника и мишени [2].

Для изотропного ударника, который является телом вращения,

$$k_1' = \frac{1-\nu_1^2}{\pi E_1}, \tag{3}$$

где ν_1 – коэффициент Пуассона материала ударника; E_1 – модуль упругости ударника. Для ортотропной мишени k_2' в [3] предлагается определять экспериментально по значению контактной силы:

$$k_2' = \frac{4}{3\pi P}\left(\Delta u^3 R_1\right)^{\frac{1}{2}} - \frac{1-\nu_1^2}{\pi E_1}, \tag{4}$$

где R_1 – радиус кривизны ударника.

Таким образом, для определения зависимости контактной силы от величины сближения ударника и мишени при взаимодействии для обеих задач необходимо определить коэффициент k_2'. Следует отметить, что для плоского (цилиндрического) ударника модель Герца неприменима из-за бесконечной кривизны. В этом случае контактное взаимодействие описывается на основе модели упругого полупространства с равномерным распределением давления, что приводит к линейной зависимости контактной силы от внедрения:

$$P = n'\Delta u. \tag{5}$$

В [4] проведены расчётно-экспериментальные исследования ударного воздействия плоским и сферическим инденторами на пластину из слоистого углепластика. Исследовались повреждения в панели размером 100 на 150 мм: расслоения, растрескивание матрицы, излом и пучкообразное разрушение волокон. Проведено конечно-элементное моделирование (КЭМ) в программе «Abaqus/Explicit 2022». В КЭМ принят критерий Хашина – Пака для межслоевого разрушения, предполагается, что ПКМ ведёт себя как линейно-упругий материал. В зависимости от геометрии ударника расчёт длился от 24 до 30 часов. Значения контактной силы и форма повреждений показали хорошую сходимость с экспериментом.

В [5] разработана аналитическая модель воздействия сферического ударника на панель из ПКМ. Модель описывает четыре стадии квазистатического индентирования: упругую, начала повреждений, роста расслоений и разрушения волокон. Модель учитывает геометрические параметры: толщину панели, размеры в плоскости, радиус индентора, толщину монослоя.

В [6] исследуется нестационарная динамическая контактная задача об ударе жесткого плоского штампа по упругой ортотропной полуплоскости. Задача сведена к интегральному уравнению I рода относительно трансформанты Лапласа контактных напряжений. На основе аппроксимации ядра в комплексной плоскости построено приближенное решение. В результате обращения преобразования Лапласа определены контактные напряжения, сила удара и вертикальные смещения свободной поверхности вне штампа, что позволяет проанализировать процессы внедрения и деформационные свойства ортотропной среды.

В [7] решение задачи о внедрении жестких плоских инденторов в произвольно слоистые анизотропные полуплоскости получено с помощью преобразований Фурье и метода локально-глобальной матрицы жесткости. Смешанные граничные условия (известный градиент перемещений под индентором и нулевые напряжения вне контакта) сводятся к сингулярному интегральному уравнению с ядром типа Коши. Уравнение решается методом коллокаций с разложением контактного давления в ряд по полиномам Чебышёва первого рода.

Обзор литературы показывает, что для ортотропных элементов конструкций ключевой проблемой остаётся определение коэффициентов контактной жёсткости. При этом аналитические решения, например, для плоского индентора (линейная зависимость силы от внедрения) или сферического индентора (нелинейная зависимость по Герцу), могут быть успешно адаптированы к ПКМ при условии экспериментального или численного уточнения упругих параметров.

Список литературы

1 **Гольдсмит, В.** Удар / В. Гольдсмит. – М. : Стройиздат, 1965. – 448 с.

2 **Гольдсмит, В.** Удар и контактные явления при средних скоростях / В. Гольдсмит // Физика быстропротекающих процессов. – 1971. – С. 153–203.

3 Динамика удара : пер. с анг. / Дж. А. Зукас, Т. Николас, Х. Ф. Свифт [и др.]. – М. : Мир, 1985. – 296 с.

4 Drop-weight impact of composite laminates: modelling the effect of a round-nosed versus a flat-ended impactor / Y. Ding, M. S. Johnson, J. Liu [и др.] // Applied Composite Materials. – 2025. – Vol. 32, № 3. – P. 791–814.

5 Scaling effects of composite laminates under out-of-plane loading / A. Wagih, P. Maimí, N. Blanco, E. V. González // Composites Part A: Applied Science and Manufacturing. – 2019. – Vol. 116. – P. 1–12.

6 **Докучаев, С. А.** Об ударе плоского штампа в упругую ортотропную полуплоскость / С. А. Докучаев, В. Б. Зеленцов, Р. В. Сахабудинов // Известия РАН. Механика твердого тела. – 2009. – № 1. – С. 53–66.

7 **Urquhart, E. E**. Incipient separation between a frictionless flat punch and an anisotropic multilayered half plane / E. E. Urquhart, M. J. Pindera // International journal of solids and structures. – 1994. – Vol. 31, № 18. – P. 2445–2461.

УДК 629.7.05

ПРИМЕНЕНИЕ ГИБРИДНЫХ НЕЙРО-НЕЧЕТКИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ РУЛЯ ВЫСОТЫ

И. В. ВОЛОХОВ, Я. А. ВАХТЕРОВА, С. С. КАНАНАДЗЕ
Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация

В процессе эксплуатации авиационной техники своевременное и достоверное выявление дефектов – необходимое условие поддержания летной годности. Одним из наиболее уязвимых элементов является руль высоты – подвижная аэродинамическая поверхность, расположенная в задней части стабилизатора. Возникающие на нем внешние повреждения могут привести как к незначительной

потере силы на поверхности, так и к полной потере управления углом тангажа. Для их обнаружения используются такие методы, как визуально-ручной контроль, ультразвуковой контроль, вибрационный контроль и вихретоковый метод [1–3].

Традиционный визуально-ручной контроль является первичным и обязательным методом оценки технического состояния воздушного судна. Его основным достоинством является универсальность и доступность: метод не требует сложного дорогостоящего оборудования и может быть выполнен инженерно-техническим составом непосредственно на стоянке или в ангаре. Однако он обладает существенным недостатком – невозможностью обнаруживать подповерхностные или слабо заметные дефекты, а также высокой степенью зависимости от человеческого фактора. Для нивелирования данного недостатка предлагается интегрировать в процесс проверки систему технического зрения на базе искусственного интеллекта. Такая система позволяет повысить качество проводимого осмотра, ускорить процесс оценки состояния летательного аппарата и решить проблему, связанную с необходимостью наличия высококвалифицированного персонала. Один из важнейших факторов выбора подобной системы – способность выявлять слабо выраженные дефекты, которые технический персонал может не заметить.

К типичным неисправностям руля высоты относятся отверстия, трещины, царапины, вмятины, геометрические повреждения и коррозия. Каждое повреждение по-своему влияет на аэродинамические характеристики. Царапина представляет собой механическое повреждение поверхностного слоя материала, визуально похожее на тонкую линейную бороздку. Как правило, одиночные поверхностные царапины не являются критическим дефектом, однако при дефектоскопии требуют тщательного контроля, поскольку могут служить визуальным признаком зарождающихся усталостных трещин. Трещина – это повреждение, приводящее к локальному нарушению сплошности и целостности силовых элементов планера. Трещины являются критическим дефектом, поскольку способны привести к разгерметизации и ухудшению прочности поврежденной части, а также имеют свойство расти под действием эксплуатационных нагрузок. Вмятина характеризуется локальным плавным или ступенчатым углублением материала, при котором целостность элемента не нарушается, но происходит пластическая деформация с изменением исходной формы поверхности. Коррозия относится к категории опасных дефектов, так как со временем приводит к локальной потере части металла и снижению прочности конструкции. Отверстие – это локальное отсутствие материала по всей толщине стенки детали, что создает высокую концентрацию напряжений и является потенциальным очагом зарождения трещины. Геометрическое повреждение – это отклонение реальной формы, размеров или взаимного расположения поверхностей детали от требований нормативно-технической документации, что приводит к потере устойчивости и управляемости.

Проблематика работы заключается в автоматизации классификации дефектов на изображениях, полученных в процессе фотографирования руля высоты, и создании отчета о состоянии летательного аппарата. В условиях эксплуатации авиационной техники крайне важно выявлять отклонения в работе агрегатов как можно раньше, чтобы предупредить аварийные ситуации и сократить износ оборудования. В данной работе ставится задача разработки алгоритма, способного по поступающему изображению определить все дефекты, находящиеся на руле высоты, создать список повреждений, каждому дефекту дать соответствующее ему значение степени критичности и по массиву степеней критичности оценить полное состояние руля высоты.

В качестве входных данных в начале используются изображения, получаемые с фотоотчета технического персонала по рулю высоты. После обработки алгоритмом поиска дефектов следующими входными данными является множество чисел, которые обозначают степень критичности каждого повреждения, обнаруженного системой до этого. Каждый дефект имеет свою метку: «0», «1», «2», «3», «4», «5», где «0» – царапина, «1» – вмятина, «2» – трещина, «3» – коррозия, «4» – отверстие, «5» – геометрическое повреждение. Для оценки состояния руля высоты каждому дефекту присваивается значение степени критичности: царапина – 0,1, вмятина – 0,2, коррозия – 0,4, трещина – 0,5, тверстие – 0,6, геометрическое повреждение – 1,0. На выходе модель выдает одну из трех категорий: «исправен», «опасное состояние» (требует ремонта) или «критическое состояние».

Для обучения модели определения состояния руля высоты необходимо разметить степень критичности каждого дефекта, получаемого с первой нейронной сети. Вмятины и царапины

имеют низкую степень тяжести, так как они не нарушают целостность конструкции. Однако вмятины имеют разную глубину, что может приводить к изменению аэродинамической силы на поверхности. Поэтому вмятине присваивается значение 0,2, а царапине 0,1. Высокой степенью критичности обладают отверстия, трещины и коррозия. Наличие данных дефектов приводит к разрушению целостности поверхности и потере аэродинамической силы. Таким образом, коррозии присваивается значение 0,4, так как она имеет чуть меньшее влияние на состояние руля высоты, чем трещина и отверстие; 0,5 и 0,6 присваиваются соответственно трещине и отверстию. Критическим дефектом является геометрическое повреждение, так как оно представляет собой потерю значительной части детали и разрушение конструкции. Это приводит к полной неисправности руля высоты и необходимости последующей замены. Поэтому геометрическому повреждению присваивается значение 1,0.

Предлагаемая система состоит из двух последовательных моделей. Первая модель – сверточная нейронная сеть (*CNN*) с архитектурой *ConvAnfis*, которая состоит из сверточных нейронов на входе и нечетких нейронов на выходе, предназначенная для детекции и классификации типов дефектов. Вторая модель – нечеткий классификатор *AnfisClass*, использующий архитектуру *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System* (*ANFIS*), для оценки состояния по набору значений критичности.

В ходе экспериментов модель распознавания дефектов показала общую точность 43 % на тестовой выборке, при этом наилучшие показатели (до 87 %) были достигнуты при бинарной классификации отдельных типов дефектов. Модель оценки состояния продемонстрировала высокую эффективность: общая точность на тестовых данных составила 78 %, а полнота (*Recall*) – 89 %.

В результате разработан программный прототип системы диагностики состояния руля высоты, позволяющий проводить визуальный контроль состояния летательного аппарата без использования человеческого ресурса. Анализ полученных данных показал, что для повышения точности модели распознавания необходимо расширить обучающую выборку и добавить больше данных с различными дефектами, отличающимися от вмятин и отверстий.

Список литературы

1 **Круглов, В. В.** Искусственные нейронные сети. Теория и практика / В. В. Круглов, В. В. Борисов. – 2-е изд., стереотип. – М. : Горячая линия – Телеком, 2002. – 382 с.

2 **Клюев, В. В.** Неразрушающий контроль : справочник : в 8 т. / В. В. Клюев. – 2-е изд., испр. – М. : Спектр, 2019. – 240 с.

3 **Рутковская, Д.** Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / Д. Рутковская, М. Пилиньский, Л. Рутковский. – М. : Горячая линия – Телеком, 2008. – 384 с.

УДК 539.3

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОГО НАГРЕВА ТЕРМОРЕГУЛИРУЮЩИХ ПОКРЫТИЙ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

А. П. ВЯТЛЕВ, Н. Н. РЕМИЗОВА
Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация

Элементы терморегулирующих покрытий (ТРП) класса «солнечный отражатель» монтируются на сотопанели теплообменников космических аппаратов и обеспечивают отражение солнечного излучения с одновременным отводом внутреннего тепла. Они представляют собой многослойные конструкции с подложкой из радиационно-стойкого оптического стекла и нанесёнными отражающим, защитным и (при необходимости) электропроводящим слоями. Миниатюризация космической аппаратуры и применение хрупких неметаллических материалов предъявляют повышенные требования к прочностным характеристикам ТРП, а изменение толщины и состава слоёв напрямую влияет на светопропускание, электропроводность и термомеханическое поведение изделия.

В работе ТРП моделируется трёхслойным теплопроводящим элементом, в котором каждый слой обладает собственными термомеханическими характеристиками. Распределение тепловых потоков описывается нестационарным уравнением теплопроводности, упругое поведение – одномерным урав-

нением Ламе. Краевые условия включают заданные температуры на свободных поверхностях и условия сопряжения на границах слоёв. Решение проводится методом интегрального преобразования Лапласа по времени с обращением трансформант посредством таблиц, свойств преобразования и интеграла свёртки. Переход к безразмерным переменным обеспечивает универсальность решения.

Результаты расчётов демонстрируют зависимости температурных полей и тепловых потоков по времени и координате, а также распределения температур по толщине пакета. Полученные данные удовлетворительно совпадают с экспериментом, что подтверждает адекватность модели. Построенная связанная модель служит теоретической основой для оптимизации состава, толщины и количества слоёв ТРП при соблюдении требуемых норм светопропускания, электропроводности и прочности подложки, а также для прогнозирования долговечности элементов системы обеспечения теплового режима космических аппаратов.

УДК 539.3

НЕОДНОМЕРНЫЕ ВОЛНЫ В ЦИЛИНДРИЧЕСКОМ СЛОЕ ИЗ УПРУГОГО ФУНКЦИОНАЛЬНО-ГРАДИЕНТНОГО МАТЕРИАЛА

У. С. ГАФУРОВ, С. Г. ПШЕНИЧНОВ
Научно-исследовательский институт механики МГУ им. М. В. Ломоносова, г. Москва, Российская Федерация

Интенсивное изучение динамических процессов в функционально-градиентных материалах (ФГМ) с непрерывной пространственной неоднородностью является следствием актуальности этой темы. Некоторые результаты в данной области отражены, например, в работах [1–3], при этом заметим, что большинство публикаций посвящено гармоническим колебаниям и волнам в ФГМ. Цель настоящей работы – изучение переходных волновых процессов в цилиндрическом слое из упругого ФГМ с радиальной неоднородностью при локализованном воздействии на его границу.

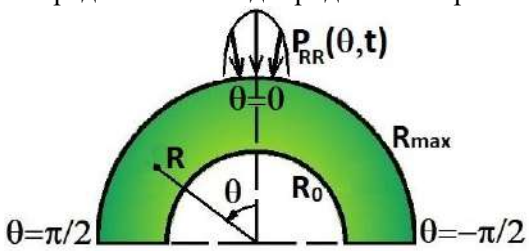


Рисунок 1 – Поперечное сечение слоя и схема нагружения

Рассмотрим упругий цилиндрический слой бесконечной длины: $R_0 \le R \le R_{\max}$ $-\pi/2 \le \theta \le \pi/2$ (R, θ) – полярные координаты в плоскости поперечного сечения), у которого плотность ρ и коэффициент Пуассона ν – константы, а модуль сдвига G – непрерывная функция R. Слой изначально покоится, а в момент $t = 0$ на его поверхность $R = R_{\max}$ начинает действовать нормальная нагрузка вида $P_{RR}(\theta,t) = P(t)Q(\theta)$, равномерно распределенная вдоль образующей (рисунок 1). Граница $R = R_0$ свободна, а при $\theta = \pm\pi/2$ выполнены условия свободного проскальзывания и равенство нулю нормального перемещения. Таким образом, в слое реализуется состояние плоской деформации. Неоднородность ФГМ слоя аппроксимируется слоисто-однородной структурой, состоящей из большого количества однородных коаксиальных цилиндрических упругих слоев: $R_{n-1} \le R \le R_n$, $n = 1, 2, \ldots, N$, $R_N = R_{\max}$ с условиями непрерывности между ними. Правомерность такого подхода в нестационарных задачах подтверждена серией исследований [4] и др. Введем безразмерные величины:

$$r = R/R_N,\ \tau = t/t_0,\ r_n = R_n/R_N\ \ (r_N = 1),\quad r_0 = R_0/R_N,\quad P_0 f(\tau) = P/(2G^{(N)}),$$
$$u_k^{(n)}(r,\theta,\tau) = \nu_k^{(n)}/R_N,\quad \sigma_{ik}^{(n)}(r,\theta,\tau) = P_{ik}^{(n)}/(2G^{(n)}),\quad i,k = r,\theta,\quad n = 1,2,\ldots,N,$$

где $t_0 = R_N/c_1^{(N)}$; $\nu_k^{(n)}, P_{ik}^{(n)}$ – размерные перемещения и напряжения, $G^{(n)}, c_1^{(n)}, c_2^{(n)}$ – модуль сдвига, а также скорости продольных и поперечных упругих волн в n-м слое; константа P_0 и функция $Q(\theta)$ безразмерные. Аппроксимация модуля сдвига $G(r)$ ФГМ следующая: $G^{(n)} = G(r_n)$. Выразив $u_k^{(n)}$ и $\sigma_{ik}^{(n)}$ через потенциалы $\varphi_1^{(n)}, \varphi_2^{(n)}$ [5], запишем для слоистого тела уравнения:

$$\left[\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(r\frac{\partial}{\partial r}\right)+\frac{1}{r^2}\frac{\partial^2}{\partial\theta^2}\right]\varphi_j^{(n)}-\left(\frac{c_1^{(N)}}{c_j^{(n)}}\right)^2\frac{\partial^2\varphi_j^{(n)}}{\partial\tau^2}=0\,,\quad j=1,2\,,\quad n=1,2,\ ...,N,\qquad(1)$$

граничные условия:

$$\sigma_{rr}^{(N)}(1,\theta,\tau)=-P_0\,f(\tau)Q(\theta),\quad \sigma_{r\theta}^{(N)}(1,\theta,\tau)=0,\quad -\pi/2\le\theta\le\pi/2\,,$$
$$\sigma_{rr}^{(1)}(r_0,\theta,\tau)=\sigma_{r\theta}^{(1)}(r_0,\theta,\tau)=0,\quad -\pi/2\le\theta\le\pi/2\,,\qquad(2)$$
$$u_\theta^{(n)}(r,\pm\pi/2,\tau)=0,\quad \sigma_{r\theta}^{(n)}(r,\pm\pi/2,\tau)=0,\quad n=1,2,\dots N\,,$$

условия непрерывности на контакте слоев ($k=r,\theta,\quad m=1,2,...,N-1$):

$$u_k^{(m)}(r_m,\theta,\tau)=u_k^{(m+1)}(r_m,\theta,\tau),\quad G^{(m)}\sigma_{rk}^{(m)}(r_m,\theta,\tau)=G^{(m+1)}\sigma_{rk}^{(m+1)}(r_m,\theta,\tau)\qquad(3)$$

и однородные начальные условия

$$\varphi_j^{(n)}(r,\theta,0)=0,\quad \frac{\partial\varphi_j^{(n)}}{\partial\tau}(r,\theta,0)=0,\quad j=1,2\,.\qquad(4)$$

В силу граничных условий (2) при $\theta=\pm\pi/2$ задача (1)–(4) является той же, что и для полого слоистого цилиндра: $-\pi<\theta\le\pi$, на который нагрузка действует симметрично относительно плоскости $\theta=\pi/2$, являющейся в этом случае плоскостью симметрии. Такая задача есть частный случай задачи о неосесимметричном динамическом нагружении цилиндра, состоящего из произвольного числа коаксиальных слоев (упругих и вязкоупругих). Ее решение представлено в статье [5], здесь же подошел ее вариант, когда центральный слой, содержащий ось цилиндра, является полостью, из-за чего нумерация однородных слоев сделана чуть иначе, чем в работе [5].

На основе решения [5] и аппроксимации неоднородности ФГМ в настоящей работе исследованы переходные волновые процессы в цилиндрическом слое из упругого ФГМ при различных исходных данных. Здесь представлены лишь некоторые результаты для слоя из ФГМ с параметрами:

$$r_0=0,5;\quad \nu=0,3;\quad G(r)/G(1)=e^{3(1-r)},$$

в случае симметричного по θ распределения нагрузки: $Q(\theta)=0,5\cdot[1+\cos(16\theta)]$ при $\theta\in[-\pi/16;\pi/16]$ и $Q(\theta)\equiv0$ вне этого отрезка (см. рисунок 1) с временной зависимостью: $f(\tau)=1-e^{-50\tau}$ $(\tau\ge0)$. На рисунке 2 линии 1 изображают изменение во времени при $\theta=\pi/2$, $r=r_0$ и $r=1$ относительного окружного напряжения $\kappa_\theta(r,\theta,\tau)=P_{\theta\theta}/P_*$, где $P_*=2G(1)P_0$ – предельное значение нагрузки при $\tau\to\infty$. Линии 2 относятся к результатам для однородного слоя с теми же данными, но при $G(r)\equiv G(1)$. Неоднородность аппроксимировалась 50 слоями. Отрицательные напряжения сжимающие ($P_0>0$).

а) *б)*

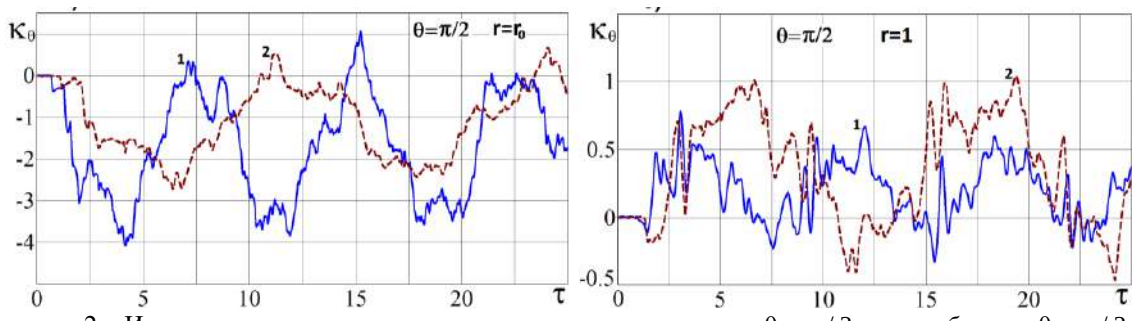


Рисунок 2 – Изменение во времени окружного напряжения: *а* – при $\theta=\pi/2$, $r=r_0$; *б* – при $\theta=\pi/2$, $r=1$

Заметим, что при указанных исходных данных для слоя из ФГМ наблюдается снижение максимумов окружных растягивающих напряжений в точках: ($\theta=\pm\pi/2,\ r=1$) его сечения.

Исследование выполнено в рамках государственного задания МГУ им. М. В. Ломоносова.

Список литературы

1 **Жаворонок, С. И.** Задачи о дисперсии волн в неоднородных волноводах: Методы решения (обзор). Ч. 1 / С. И. Жаворонок // Механика композиционных материалов и конструкций. – 2021. – Т. 27, № 2. – С. 227–260; Ч. 2. – 2022. – Т. 28, № 1. – С. 36–86.

2 **Tolokonnikov, L. A.** Scattering by an elastic cylinder with an inhomogeneous coating of sound waves / L. A.Tolokonnikov, D.Yu. Efimov // Math Models Comput Simul. – 2024. – Vol. 16, № 3. – P. 373–382.

3 **Ларин, Н. В.** Нестационарное рассеяние звука упругим цилиндром с непрерывно-неоднородным покрытием / Н. В. Ларин, А. Э. Белкин // Чебышевский сборник. – 2024. – Т. 25, № 3. – С. 381–395.

4 **Pshenichnov, S.** Transient wave propagation in functionally graded viscoelastic structures / S. Pshenichnov, R. Ivanov, M. Datcheva // Mathematics. – 2022. – Vol. 10, № 23. – 4505.

5 **Pshenichnov, S. G.** Dynamic problem for a layered cylinder under non-axisymmetric loading / S. G. Pshenichnov // Advanced Structured Materials. – 2026. – Vol. 260. – P. 527–550.

УДК 536.2:004.032.26

УСТОЙЧИВОСТЬ НЕЙРОСЕТЕВОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ГРИНА – НАГДИ III ТИПА ПО ЗАШУМЛЁННЫМ ПОКАЗАНИЯМ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ДАТЧИКОВ

П. С. ГОВРЯКОВ, Я. А. ВАХТЕРОВА
Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация

Тепловое состояние ответственных элементов транспортных конструкций: обшивки летательных аппаратов, тормозных дисков, зон сварных соединений рельсов – определяет их напряжённо-деформированное состояние и остаточный ресурс. Традиционный расчёт опирается на закон Фурье, дающий бесконечную скорость распространения тепловых возмущений: при импульсном и высокоскоростном нагреве, когда время релаксации теплового потока сравнимо с характерным временем процесса, этот закон теряет физический смысл. Его термодинамически непротиворечивое обобщение – теория Грина – Нагди [1, 2], тип III которой содержит и диссипативный, и волновой механизмы переноса тепла.

Коэффициенты таких моделей не вычисляются теоретически: они зависят от материала, технологии изготовления и накопленных в эксплуатации повреждений, а потому определяются по измерениям температуры – решением обратной задачи, некорректной по Адамару [3]. В диагностике транспортных конструкций данные снимают штатные термопреобразователи ограниченной точности, а априорная оценка коэффициента заведомо груба, поэтому определяющим свойством алгоритма становится не точность на идеальных данных, а *устойчивость* к шуму измерений и к выбору начального приближения. Им и посвящена настоящая работа.

Рассматривается нестационарная двумерная теплопроводность в тонкой квадратной пластине из изотропного материала. В теории Грина – Нагди III типа уравнение теплового баланса имеет вид

$$\rho c_\varepsilon \frac{\partial^2 T}{\partial t^{*2}} - \kappa^* \left(\frac{\partial^3 T}{\partial X^2 \partial t^*} + \frac{\partial^3 T}{\partial Y^2 \partial t^*} \right) - \tilde{\kappa}^* \left(\frac{\partial^2 T}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial Y^2} \right) = \rho \frac{\partial Q}{\partial t^*}, \tag{1}$$

где T – приращение температуры; t^* – время; ρ – плотность; c_ε – удельная теплоёмкость при постоянной деформации; κ^* и $\tilde{\kappa}^*$ – диссипативный и волновой коэффициенты теории; Q – плотность объёмных источников тепла. После перехода к безразмерным переменным $x = X / L$, $y = Y / L$, $t = t^* c_\text{T} / L$, $\theta = T / T_0$, где $c_\text{T} = (\tilde{\kappa}^* / \rho c_\varepsilon)^{1/2}$ – скорость второго звука, задача на единичном квадрате принимает вид

$$\frac{\partial^2 \theta}{\partial t^2} - \kappa \left(\frac{\partial^3 \theta}{\partial x^2 \partial t} + \frac{\partial^3 \theta}{\partial y^2 \partial t} \right) - \left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} \right) = \frac{\partial q}{\partial t} \tag{2}$$

при $\theta|_{\partial\Omega} = 0$, $\theta(x, y, 0) = \sin \pi x \sin \pi y$ и $\partial\theta / \partial t|_{t=0} = 0$. Единственный безразмерный параметр $\kappa = \kappa^* / (\rho c_\varepsilon c_\text{т} L)$ и подлежит идентификации; для дюралюминия Д16Т (ρ = 2780 кг/м³; c_ε = 920 Дж/(кг·К), κ^* = = 134 Вт/(м·К), $\tilde{\kappa}^* = 5 \cdot 10^5$ Вт/(м·с·К), L = 1 м) получаем $c_\text{т} \approx 0{,}44$ м/с и $\kappa \approx 1{,}2 \cdot 10^{-4}$. Малость κ и составляет основную трудность обратной задачи: искомый параметр проявляется лишь как медленное

затухание амплитуды колебаний с частотой $\omega_0 = \pi\sqrt{2} \approx 4{,}443$. Рассматриваются однородный ($q = 0$) и неоднородный ($q = 2xt$) источники; второй не совпадает с собственными функциями оператора Лапласа и даёт многомодовое решение.

Требуется восстановить κ по показаниям 5 датчиков в точках (0,25; 0,25), (0,25; 0,75), (0,50; 0,50), (0,75; 0,25), (0,75; 0,75), снятым в 200 равноотстоящих моментах времени на интервале $t \in [0, 500]$ (всего 1000 измерений). Показания моделируются аналитическим решением прямой задачи с мультипликативным гауссовским шумом относительного уровня η.

Для решения применяется физически-информированная нейронная сеть (PINN) [4]. Начальные и граничные условия выполняются тождественно за счёт жёсткого наложения условий:

$$\theta(x,y,t) = \sin(\pi x)\sin(\pi y)\left[\cos(\omega_0 t) + \left(\frac{t}{T_{\max}}\right)^2 N(x,y,t;\vartheta)\right] + u_p(x,y,t), \tag{3}$$

где N – выход сети с весами ϑ, а u_p – частное решение для неоднородного источника ($u_p \equiv 0$ при $q = 0$). Сеть содержит три остаточных блока по 64 нейрона (около 25 400 обучаемых параметров); время подаётся на вход Fourier-кодированием по базовой частоте ω_0, что снимает спектральную предвзятость и оставляет сети лишь медленную огибающую. Искомый параметр хранится в логарифмической форме $\kappa = \exp\psi$: это гарантирует положительность и масштабирует градиент множителем κ. Функция потерь содержит два слагаемых:

$$L(\vartheta,\psi) = \frac{w_{pde}}{N_{pde}} \sum_{i=1}^{N_{pde}} R(x_i,y_i,t_i)^2 + \frac{w_{data}}{N_d} \sum_{j=1}^{N_d} \left(\theta(x_j,y_j,t_j) - \theta_{meas}^{j}\right)^2, \tag{4}$$

где R – невязка уравнения (2) в $N_{pde} = 10\,000$ коллокационных точках, заново разыгрываемых на каждой итерации; входящие в неё восемь производных, включая смешанные третьего порядка, вычисляются автоматическим дифференцированием. Веса $w_{pde} = 1$ и $w_{data} = 2000$ уравнивают вклады слагаемых. Обучение двухэтапное: 15 000 итераций Adam (скорости 10^{-3} для весов сети и 10^{-2} для ψ, планировщик ReduceLROnPlateau), затем 300 внешних шагов L-BFGS.

Базовая серия – 10 запусков (5 случайных инициализаций сети на каждый источник) при η = 1 % и начальном приближении $\kappa_0 = 10^{-3}$, завышенном в 8,3 раза. Средняя относительная погрешность восстановления κ составила 0,55 ± 0,38 % для однородного источника и 3,41 % (разброс по инициализациям 0,43–5,83 %) для неоднородного; различие значимо по критерию Уэлча ($p = 0{,}040$). Погрешность поля температуры в норме L_2 равна $3{,}9\cdot10^{-3}$ и $5{,}0\cdot10^{-2}$.

Устойчивость оценивалась в двух дополнительных сериях (таблица 1): в первой варьировалось начальное приближение κ_0 при η = 1 %, во второй – уровень шума η при $\kappa_0 = 10^{-3}$.

Таблица 1 – **Относительная погрешность идентификации κ**

В процентах

Условия запуска	$q = 0$	$q = 2xt$
$\kappa_0 = 10^{-5}$, η = 1 %	1,28	1,35
$\kappa_0 = 10^{-4}$, η = 1 %	1,45	1,37
$\kappa_0 = 10^{-3}$, η = 1 %	1,15	0,43
$\kappa_0 = 10^{-2}$, η = 1 %	7,85	17,14
$\kappa_0 = 10^{-3}$, η = 5 %	3,41	2,54
$\kappa_0 = 10^{-3}$, η = 10 %	4,89	27,59

Погрешность идентификации не превышает 1,5 % во всём диапазоне $\kappa_0 \in [10^{-5}, 10^{-3}]$, то есть при отклонении начального приближения от истинного значения примерно на порядок в обе стороны. Выход за верхнюю границу ($\kappa_0 = 10^{-2}$, отклонение в 83 раза) увеличивает погрешность до 7,85 % в однородном случае и до 17,14 % в неоднородном: сеть успевает аппроксимировать решение, отвечающее завышенному κ_0, после чего градиент функции потерь по ψ становится малым. Тем самым априорная оценка коэффициента может быть весьма грубой, что существенно при диагностике материала с неизвестной историей нагружения.

Повышение уровня шума до η = 5 %, сопоставимого с погрешностью штатных контактных термопреобразователей, ухудшает оценку умеренно и почти одинаково для обоих источников (3,41 и 2,54 %). При η = 10 % поведение расходится: в однородном случае погрешность остаётся прием-

лемой (4,89 %), а в неоднородном возрастает до 27,59 %: при наличии источника информация о к распределена по многим модам, и шум, сопоставимый с вкладом младших мод, её разрушает. Рабочая область метода без дополнительной регуляризации ограничена уровнем $\eta \leq 5$ %.

Таким образом, нейросетевая идентификация коэффициента теплопроводности Грина – Нагди III типа устойчива в диапазоне начальных приближений шириной два порядка и при погрешности измерений до 5 %, что делает её применимой к данным штатных систем температурного мониторинга без построения расчётной сетки. Дальнейшая работа – регуляризация по Тихонову для режимов высокого шума, трёхмерная постановка и одновременная идентификация нескольких коэффициентов модели.

Список литературы

1 **Green, A. E.** A re-examination of the basic postulates of thermomechanics / A. E.Green, P. M. Naghdi // Proc. R. Soc. Lond. A. – 1991. – Vol. 432. – P. 171–194.

2 **Green, A. E.** Thermoelasticity without energy dissipation / A. E. Green, P. M. Naghdi // J. Elasticity. – 1993. – Vol. 31. – P. 189–208.

3 **Алифанов, О. М.** Обратные задачи теплообмена / О. М. Алифанов. – М. : Машиностроение, 1988. – 280 с.

4 **Raissi, M.** Physics-informed neural networks / M. Raissi, P. Perdikaris, G. E. Karniadakis // J. Comput. Phys. – 2019. – Vol. 378. – P. 686–707.

УДК 629.7.054.011

ОСЕСИММЕТРИЧНОЕ ТЕРМОУПРУГОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МНОГОСЛОЙНОЙ КАТУШКИ С ОПТИЧЕСКИМ ВОЛОКНОМ

А. В. ГОЛИКОВ, О. В. ГОЛИКОВА, О. В. МАРКЕЛОВА
Институт проблем точной механики и управления Российской академии наук – обособленное структурное подразделение Федерального исследовательского центра «Саратовский научный центр РАН»

Многослойные оптоволоконные катушки являются чувствительным элементом волоконно-оптических гироскопов (ВОГ) – датчиков угловой скорости [1, 2], применяемых в системах управления различными подвижными объектами, в т. ч. железнодорожным транспортом. При изменении температуры такие катушки испытывают неоднородное термоупругое деформирование. А механические деформации оптических волокон являются одной из основных причин температурно-индуцированного дрейфа характеристик волоконно-оптических гироскопов [1, 2]. Задача повышения термоинвариантности ВОГ не теряет актуальности, поскольку полностью исключить влияние температуры на чувствительную катушку ВОГ достаточно сложно.

Цель – разработка автономной вычислительной модели на C# для оценки осесимметричного напряжённо-деформированного состояния (НДС) многослойной катушки, содержащей оптическое кварц-полимерное волокно и каркас, с представлением результатов по времени, радиальному слою и вертикальному положению волокна.

Данная модель предполагает существенное отличие от ранее предложенной в [3, 4], где структура катушки представлялась в виде чередующихся изотропных сплошных слоев компонентов катушки: каркаса, полимера (оболочка) и кварца (сердечник). Предложенная модель учитывает фактическую структуру и укладку оптоволокна в катушке и позволяет максимально приблизить результат вычислений термоупругого НДС катушки к реальному.

При построении модели приняты следующие допущения. Рассматривается стационарная задача термоупругости. Приняты малые деформации и геометрическая линейность, материалы считаются изотропными, линейно-упругими и термоупругими с постоянными параметрами E, ν и α. Не учитываются пластическое течение, повреждение, вязкоупругость и ползучесть полимерного покрытия, температурная зависимость механических свойств, контактное скольжение и отслоение на интерфейсе кварц – полимер. Механический отклик принимается квазистатическим, температурное поле задаётся внешней тепловой моделью в виде $\Delta T(t, l)$. Допущения применимы для оценки обратимого термоупругого отклика при рабочих температурных перепадах порядка единиц и десятков градусов и деформациях порядка $10^{-4}…10^{-3}$.

Рассматривается осесимметричное НДС многослойной волоконной катушки в меридиональном сечении *r–z*. Ось *r* направлена по радиусу катушки от внутренней поверхности наружу, ось *z* направлена вдоль её высоты. Азимутальная зависимость отсутствует:

$$\frac{\partial(\cdot)}{\partial\theta} = 0, \;\; u_\theta = 0.$$

Неизвестными являются радиальная и осевая компоненты перемещений:

$$\bar{u} = \begin{bmatrix} u_r(r,z) \\ u_z(r,z) \end{bmatrix}.$$

Для малых деформаций в осесимметричной постановке компоненты вектора полных деформаций записываются в виде [5]

$$\varepsilon_r = \frac{\partial u_r}{\partial r}, \;\; \varepsilon_z = \frac{\partial u_z}{\partial z}, \;\; \varepsilon_\theta = \frac{u_r}{r}, \;\; \gamma_{rz} = \frac{\partial u_r}{\partial z} + \frac{\partial u_z}{\partial r}.$$

Компоненты вектора температурной деформации изотропного материала задаются как $\bar{\varepsilon}_T = \alpha \Delta T [1,1,1,0]^T$, где α – коэффициент линейного теплового расширения материала.

Напряжения определяются законом Гука для изотропного трёхмерного материала:

$$\bar{\sigma} = \mathbf{D}(\bar{\varepsilon} - \bar{\varepsilon}_T),$$

где **D** – матрица упругости, формируемая по модулю Юнга *E* и коэффициенту Пуассона ν [5].

Граничные условия: на внутренней поверхности каркаса задаётся условие $u_z = 0$, исключающее осевое перемещение катушки как жёсткого тела. Остальные внешние поверхности считаются свободными от механических нагрузок: $\sigma_n = 0$.

Математическая модель НДС реализована в виде самостоятельного программного решателя на языке C#, основанного на методе конечных элементов. Расчётная область представляется осесимметричной конечно-элементной моделью с линейными треугольными элементами; элементные матрицы жёсткости и температурные нагрузки вычисляются трёхточечным гауссовым интегрированием с учётом осесимметричного множителя $2\pi r$. Геометрия многослойной катушки формируется как гексагональная укладка кварцевых сердцевин в полимерных оболочках, а сетка генерируется в Gmsh [6] и импортируется затем в расчётный модуль. Локальные напряжения линейного треугольного элемента чувствительны к положению и ориентации элемента сетки. Поэтому для последующего анализа результатов расчетов напряжения и деформации каждого кварцевого сердечника оптоволокна определяются как объёмно-взвешенные средние по её конечным элементам и сохраняются в виде массивов, соответствующих времени, радиальному слою и вертикальному положению волокна.

На тестовом фрагменте при равномерном температурном приращении ΔT = 40 °C получены объёмно-средние напряжения в кварцевых сердечниках: σ_r = 8,1…12,1 МПа, σ_z = 5,6…10,5 МПа, σ_θ = 68,1...71,2 МПа. Касательные напряжения τ_{rz} не превышали примерно 0,9 МПа по модулю. Эквивалентное напряжение по Мизесу находилось в диапазоне 59,6–61,1 МПа.

Наибольший вклад в НДС вносит окружная компонента σ_θ, что соответствует осесимметричному ограничению температурного расширения волокон. Радиальные напряжения в первом слое имеют характерное распределение по высоте: повышенные значения вблизи крайних витков и более низкий уровень в центральной части, с локальной перестройкой поля вследствие взаимодействия соседних волокон и каркаса. Качественная форма распределений согласуется с контрольным расчётом в ANSYS.

Для центральной области бухты окружная деформация, представляющая наибольший интерес для последующей оценки дрейфа, имеет порядок 10^{-3}. В контрольном сравнении получены значения порядка 0,001001 в ANSYS и 0,00106 в разработанной C#-модели. Разница связана, в том числе, с различием способа извлечения результатов: ANSYS Probe возвращает локальное значение, тогда как в C# используется объёмно-взвешенное среднее по кварцевому ядру.

Таким образом, была разработана осесимметричная конечно-элементная модель многослойной волоконной катушки, пригодная для автономного расчёта в C#. Объёмно-взвешенное представление НДС по каждой кварцевой жиле обеспечивает устойчивые инженерные показатели, удобные для последующего расчёта, а также термо- и упругооптического дрейфа.

Список литературы

1 **Lefevre, H. C.** The Fiber-Optic Gyroscope / H. C. Lefevre. – Boston : Artech House, 2014. – 343 p.

2 **Джашитов, В. Э.** Датчики, приборы и системы авиакосмического и морского приборостроения в условиях тепловых воздействий / В. Э.Джашитов, В. М. Панкратов. – СПб. : ГНЦРФЦНИИ «Электроприбор», 2005. – 404 с.

3 **Джашитов, В. Э.** Математические модели термоупругого напряженно-деформированного состояния и погрешности масштабного коэффициента волоконно-оптического гироскопического датчика / В. Э. Джашитов, В. М. Панкратов, М. А. Барулина // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2013. – № 2. – С. 43–52. – EDN QLUKXJ.

4 **Голиков, А. В.** О подходе к расчету теплового дрейфа волоконно-оптического гироскопа с учетом квадрупольного способа намотки волокна / А. В. Голиков, В. С. Попов // Проблемы безопасности на транспорте : материалы XIV Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. пятилетке качества. В 2 ч. Ч. 2. – Гомель, 20–21 ноября 2025. – Гомель : БелГУТ, 2025. – С. 81–83. – EDN AVKADN.

5 **Тимошенко, С. П.** Теория упругости / С. П. Тимошенко, Дж. Гудьер ; под ред. Г. С. Шапиро. – 2-е изд. – М. : Наука, 1979. – 560 с.

6 **Geuzaine, C.** Gmsh: a three-dimensional finite element mesh generator with built-in pre- and post-processing facilities / C. Geuzaine, J.-F. Remacle / C. Geuzaine, // International Journal for Numerical Methods in Engineering. – 2009. – Vol. 79, № 11. – P. 1309–1331.

УДК 539.3

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТОЛСТОСТЕННЫХ НАНОМОДИФИЦИРОВАННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

С. В. ГОРДЕЕВ, Л. Н. РАБИНСКИЙ

Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация

Полимерные композиционные материалы широко применяются в различных отраслях техники благодаря высокой удельной прочности, малой плотности, коррозионной стойкости и технологичности. В условиях эксплуатации многие конструкции из таких материалов подвергаются динамическим воздействиям, включая вибрационные, ударные и импульсные нагрузки. Для толстостенных композиционных элементов исследование динамического поведения имеет особое значение, поскольку в них существенно проявляются поперечные сдвиги, ротационная инерция, неоднородность распределения напряжений и деформаций по толщине, а также локальные механизмы повреждения. Дополнительный потенциал повышения эксплуатационных характеристик таких материалов связан с наномодификацией полимерной матрицы, позволяющей изменить жесткость, демпфирующие свойства, ударную вязкость и сопротивление разрушению.

Целью работы является исследование динамических характеристик толстостенных наномодифицированных полимерных композиционных материалов и оценка влияния наномодифицирующих добавок, структуры композита и геометрических параметров на его вибрационное и ударное поведение. В работе рассматриваются материалы с различным содержанием нанодобавок, отличающиеся по составу матрицы, типу армирования и толщине.

Экспериментальная часть исследования включает определение собственных частот, форм колебаний, амплитудно-частотных характеристик, коэффициентов демпфирования, а также анализ отклика материала на кратковременные и ударные воздействия. Для регистрации параметров отклика могут применяться тензометрические, акселерометрические и оптические методы измерений. Полученные данные позволяют оценить влияние наномодификации на изменение динамической жесткости, снижение амплитуд колебаний и повышение устойчивости материала к динамическим нагрузкам.

Численное исследование основано на построении модели толстостенного композиционного элемента с учетом анизотропии, вязкоупругих свойств полимерной матрицы, поперечных сдвигов, инерционных эффектов и возможной неоднородности характеристик по толщине. В качестве основного

инструмента используется метод конечных элементов, позволяющий рассчитывать собственные частоты, формы колебаний, переходные процессы и распределения напряжений при динамическом нагружении. Параметры модели уточняются по результатам экспериментальных исследований, что обеспечивает ее адекватность и достоверность.

В ходе работы анализируется влияние типа и концентрации наномодификатора, толщины материала, схемы армирования, условий закрепления и характера внешнего воздействия на динамические характеристики композита. Особое внимание уделяется выявлению закономерностей изменения демпфирующих свойств и виброустойчивости под действием наномодификации.

Ожидаемые результаты связаны с получением новых данных о динамическом поведении толстостенных наномодифицированных полимерных композиционных материалов, разработкой верифицированной расчетной модели и формированием рекомендаций по применению таких материалов в конструкциях, работающих в условиях интенсивного динамического нагружения. Практическая значимость работы определяется возможностью повышения надежности, долговечности и эффективности композитных элементов в машиностроении, транспорте, авиации и энергетике.

УДК 539.31

РЕШЕНИЕ СТАЦИОНАРНОЙ ЗАДАЧИ О ДВИЖЕНИИ ТРЁХСЛОЙНОЙ ПЛАСТИНЫ В АКУСТИЧЕСКОЙ СРЕДЕ С УЧЁТОМ ОСОБЕННОСТЕЙ МАТЕРИАЛА ЗАПОЛНИТЕЛЯ

С. А. ГРАДСКОВ
Институт прикладной механики Российской академии наук, г. Москва

Н. А. ЛОКТЕВА
Институт прикладной механики Российской академии наук, г. Москва
Московский авиационный институт (НИУ), Российсская Федерация

Поставленная задача заключается в разработке универсального подхода к решению связанных задач о взаимодействии гармонических волн, индуцированных в акустической среде, с трехслойной пластиной, описываемой системой уравнений [1]. Основная цель данной работы заключается в определении функций влияния нормальных и касательных перемещений в несущих слоях пластины, необходимых для обеспечения граничных условий в точках, эквивалентных реальной ограниченной преграде.

При этом в качестве материала преграды использована сталь 01Ю5Т, обладающая повышенными демпфирующими свойствами. Для учета демпфирующих свойств заполнителя в направлении, нормальном по отношению к несущим слоям используется модель Кельвина – Фойхта [2].

При наличии полного набора функций влияния, полученных в результате как воздействия по нормали, так и по касательной к обоим несущим слоям, становится возможным формирование модели движения ограниченной преграды на основании бесконечной постановки задачи. Реализация необходимых граничных условий, соответствующих различным способам закрепления преграды, обеспечивается за счёт компенсирующих нагрузок, выражаемых через свёртки функций влияния и неизвестных величин реакционных сил. Эти величины находятся из граничных условий. Для решения поставленной задачи использован метод компенсирующих нагрузок [3], который позволяет решать подобные задачи для любых реальных видов закрепления преград.

Предлагаемый подход к решению данной задачи представляет собой набор решений вспомогательных задач, результаты которых применяются в общем связанном решении. В первую очередь решается задача о движении бесконечной трехслойной преграды в среде под воздействием плоской гармонической волны. В качестве примера можно рассматривать движение трехслойной преграды в акустической среде. Решение данной задачи известно и приведено в публикации Д. О. Сердюка [4].

Затем, в рамках отдельной задачи, определяются функции влияния для перемещений, вызванных воздействием гармонической силы, представленной в виде дельта-функции и направленной по нормали к поверхности каждого несущего слоя. Таким же образом находятся все функции влияния

перемещений, возникающих при касательном приложении сосредоточенной силы в виде дельта-функции. Для реализации решения учитывается гармоничность всех функций и применяется преобразование Фурье по координате.

На следующем этапе объединяются все полученные решения. Далее, используя граничные условия, соответствующие способу закрепления пластины, определяются значения компенсирующих нагрузок. После этого вычисляется перемещение бесконечной трёхслойной пластины, подвергаемой воздействию плоской волны, и компенсирующих нагрузок одновременно (10):

$$w^{(i)}(x,\omega) = w_{\infty}^{(i)}(\omega) + \sum_{n=1}^{k} G_{wj}^{(i)\sigma}(x-\xi_f,\omega) * P_n + \sum_{m=1}^{l} G_{wj}^{(i)\tau}(x-\xi_f,\omega) * P_m, \quad (10)$$

где i = 1, 2 – номер несущего слоя трехслойной преграды, перемещение которого ищется; j = 1, 2 – номер несущего слоя преграды к которому прикладывается компенсирующая нагрузка; σ – нормальное по отношению к несущему слою приложение компенсирующей нагрузки; τ – тангенциальное по отношению к несущему слою приложение компенсирующей нагрузки; G_w – функции влияния для нормальных перемещений; $w_{\infty}^{(i)}(\omega)$ – нормальные перемещения трехслойной бесконечной пластины под воздействием плоской гармонической волны; ξ_f – координаты точек приложения компенсирующих нагрузок, соответствующих расположению опор в пластине конечной длины; f – номер опоры.

Предложенный подход подразумевает возможность формирования эквивалентной модели движения ограниченной пластины на основании решения, полученного для движения преграды в среде в бесконечной постановке, и обеспечения граничных условий в точках, соответствующих границам пластины, за счет компенсирующих нагрузок.

Список литературы

1 **Иванов, В. А.** Уточненная постановка динамических задач трехслойных оболочек с трансверсально-мягким заполнителем численно-аналитический метод их решения / В. А. Иванов, В. Н. Паймушин // Прикладная механика и техническая физика. – 1995. – Т. 36, № 4. – С. 147–151.

2 **Горшков, А. Г.** Механика слоистых вязкоупругопластических элементов конструкций / А. Г. Горшков, Э. И. Старовойтов, А. В. Яровая. – М. : Физматлит, 2005. – 576 с.

3 The method of compensating loads in the tasks of the theory of thin plates and shells / E. S.Venzel, K. E.Dzhan-Temirov, A. M. Non E. V. Trofimov. – Kharkov : B.i., 1992. – 92 p.

4 **Локтева, Н. А.** Исследование звукоизоляционных свойств трехслойной пластины при воздействии плоской волны / Н. А. Локтева , Д. О. Сердюк, Д. В. Тарлаковский // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2016. – № 1. – С. 167–171.

УДК 539.3

КОЛЕБАНИЯ ТРЕХСЛОЙНОЙ ПЛАСТИНЫ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ГАРМОНИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ, ПРИЛОЖЕННОЙ В РАЗЛИЧНЫХ НАПРАВЛЕНИЯХ И ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ВАРИАНТАХ КРЕПЛЕНИЯ

Н. Р. ДАЛДЫБЕКОВ
Институт прикладной механики РАН, г. Москва, Российская Федерация

Н. А. ЛОКТЕВА
Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация

В работе исследуется напряженно-деформированное состояние трехслойной пластины конечных размеров с трансверсально-мягким заполнителем под воздействием нормальных и касательных гармонических нагрузок. Точное прогнозирование динамического поведения таких элементов критически важно для обеспечения надежности конструкций в авиационно-космической отрасли и машиностроении. Поскольку классические теории неприменимы к структурам с мягким заполнителем, математическое описание движения пластины базируется на уточненной модели В. А. Иванова и В. Н. Паймушина [1–5].

Данная теория позволяет отказаться от гипотезы о неизменности толщины пластины, учитывая поперечные сдвиговые деформации заполнителя и его трансверсальное обжатие.

Рассматривается симметричная пластина, где внешние слои моделируются как упругие изотропные элементы, а внутренний слой – как ортотропная среда с условием трансверсальной мягкости. На основе базовой системы обыкновенных дифференциальных уравнений (1) строится фундаментальное решение для бесконечно протяженной панели:

$$\begin{aligned}
&B\frac{\partial^2}{\partial x^2}u_1^a + 2q^1 + \omega^2\rho_a u_1^a = 0,\\
&-D\frac{\partial^4}{\partial x^4}w_c + 2k_1 q^1_{,x} + p_{10} - p_{20} + \omega^2\rho_c w_c = 0,\\
&-D\frac{\partial^4}{\partial x^4}w_a - 2c_3 w_a + p_{10} + p_{20} + \omega^2\rho_{aw} w_a = 0,\\
&u_1^a - k_1 w_{c,x} - k_2\left(q^1_{,x}\right)_{,x} + k_3 q^1 = 0.
\end{aligned} \qquad (1)$$

Путем применения интегрального преобразования Фурье задача переводится в алгебраическую форму. Решение данной системы позволяет получить функции влияния в пространстве изображений. Для возврата в область оригиналов используется обратное преобразование путем суммирования рядов, при этом анализ сходимости показывает достижение высокой точности (1 %) уже на первых шагах расчета.

Для перехода от бесконечной области к расчету пластины конечных размеров применяется метод компенсирующих нагрузок, позволяющий строго удовлетворить различным комбинациям граничных условий (жесткое защемление, шарнирное опирание, свободный край и их комбинации) без использования традиционных разложений в ряды Фурье. Вдоль расчетного контура вводится система из двенадцати независимых фиктивных силовых факторов, приложенных по нормали и касательной к поверхностям несущих слоев.

Итоговое перемещение в любой точке трехслойной пластины определяется на основе принципа суперпозиции. Оно складывается из перемещений бесконечной пластины от заданного внешнего акустического воздействия и суммы откликов от всех введенных компенсирующих сил. При подстановке координаты краевых сечений в уравнения суперпозиции формируется замкнутая система из 12 линейных алгебраических уравнений. Ее решение дает точные значения амплитуд компенсирующих нагрузок.

Разработанный численный алгоритм реализован в среде символьной математики Maple 17. Построены нормальные и касательные прогибы для всех рассматриваемых вариантов закрепления (жесткое защемление, шарнирное опирание, свободный край и их комбинации). Для каждого случая закрепления выполнен амплитудно-частотный анализ пластины. Построенные профили деформирования полностью подтверждают корректность математической модели и точное выполнение заданных физических и геометрических граничных условий на контуре. Предложенная методика демонстрирует высокую вычислительную эффективность и может применяться как для анализа существующих, так и для прямого синтеза оптимальных параметров слоистых структур на этапе проектирования.

Список литературы

1 **Баженов, В. Г.** Методы решения задач динамики слоистых конструкций / В. Г. Баженов. – М. : Изд-во МАИ, 2003. – 230 с.

2 **Григолюк, Э. И.** Устойчивость и колебания трехслойных оболочек / Э. И. Григолюк, П. П. Чулков. – М. : Машиностроение, 1973. – 172 с.

3 **Иванов, В. А.** К построению уточненной теории трехслойных оболочек с трансверсально-мягким заполнителем / В. А. Иванов, В. Н. Паймушин // Известия вузов. Авиационная техника. – 1995. – № 1. – С. 36–41.

4 **Сердюк, Д. О.** Исследование звукоизоляционных свойств трехслойной пластины / Д. О. Сердюк. – М. : МАИ, 2016. – 117 с.

УДК 622.692.4:519.876.5

ЛОГИСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ РУДНОГО ПОТОКА В ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ КАЛИЙНОГО РУДНИКА

П. А. ДАМАРАД
ОАО «Беларуськалий», г. Солигорск

М. А. ЖУРАВКОВ, М. А. НИКОЛАЙЧИК
Белорусский государственный университет, г. Минск

Обеспечение безопасности транспортных систем калийных рудников представляет собой комплексную проблему, включающую не только техническую надёжность конвейерного оборудования, но и стабильность качественных параметров рудного потока [1]. Отклонения содержания KCl, поступающего на обогатительную фабрику, приводят к нарушению технологических режимов, увеличению расхода реагентов и росту аварийности оборудования, что снижает экономическую безопасность предприятия. Существующие системы оперативного планирования базируются преимущественно на субъективных решениях и личном опыте специалистов, что создаёт высокие риски в условиях информационной неопределённости и жёстких временных ограничений [1]. Они не обеспечивают стабилизацию качества руды при выполнении плановых объёмов добычи, а увеличение объёмов производства, обусловленное ростом спроса на калийные удобрения, лишь усугубляет эту проблему. Цель работы – создание математической модели логистики рудных потоков и алгоритма стабилизации качества сырья, работающего в условиях безусловного приоритета выполнения плана по объёму добычи.

Транспортная сеть горизонта калийного рудника включает панельные, штрековые, забойные и магистральные ленточные конвейеры с регулируемой скоростью движения ленты [1]. Каждый очистной забой является источником материального потока с объёмными и качественными характеристиками. Качество руды изменяется при пересечении забоем геологических сбоек, что моделируется кусочно-постоянной функцией со скачками. Транспортные запаздывания от забоя до ствола складываются из времени движения по панельной и магистральной частям, причём скорость магистральных конвейеров переменна и регулируется автоматической системой в определенном диапазоне в зависимости от рудной нагрузки, определяемой по данным ультразвуковых уровнемеров.

Математическая модель движения и слияния рудных потоков построена как каскадная система узлов перегруза [2]. Каждый узел – точка слияния потоков с панельных конвейеров и потока с предыдущего узла. Качество результирующего потока в узле m определяется как средневзвешенное значение качеств входящих потоков:

$$\alpha_{\text{узел } m}(t) = \frac{Q_{\text{узел } m-1}(t-\tau_{m-1\to m})\cdot\alpha_{\text{узел } m-1}(t-\tau_{m-1\to m}) + \sum\limits_{i\in Um} Q_i(t-\tau_{i\to m})\cdot\alpha_i(t-\tau_{i\to m})}{Q_{\text{узел } m}(t)}, \qquad (1)$$

где τ – соответствующие транспортные запаздывания, рассчитываемые индивидуально с учётом переменной скорости конвейеров. Для компенсации транспортных запаздываний предлагается использование предиктора Смита [3], прогнозирующего текущее качество на основе данных о руде, только поступившей на конвейер. Как показано в работе [3], применение предиктора Смита в системах с конвейерным транспортом позволяет эффективно компенсировать запаздывания и снизить колебания качества материала на 40–60 %, что подтверждает корректность предлагаемого подхода.

В рамках исследования разработан алгоритм управления выбором активных забоев на смену, основанный на иерархии приоритетов: безусловное выполнение плана по объёму добычи, а при его обеспечении – поддержание качества руды не ниже допустимого минимума. Такая иерархия соответствует общему подходу к управлению технологическими процессами с запаздыванием, когда стабилизация выходного показателя осуществляется при безусловном выполнении главной цели – производительности [4]. Целевая функция F, которую необходимо минимизировать, включает штраф за недовыполнение плана и штраф за снижение качества ниже порога:

$$F = \sum_{k=1}^{K}[w_V\cdot\delta_V(k) + w_\alpha\delta_\alpha(k)] \to \min, \qquad (2)$$

где $u_i(k) \in \{0,1\}$ – бинарная переменная управления, показывающая, работает ли забой i в смену k, $u_i(k) = 1$ – забой активен (его руда поступает в транспортную сеть), $u_i(k) = 0$ – забой остановлен;

Для решения задачи используется «жадный» алгоритм: забои сортируются по убыванию качества и последовательно включаются до достижения планового объёма, что гарантирует использование наиболее богатых забоев в первую очередь. Дополнительно учитывается ограничение на частоту переключений:

$$\sum_{k=1}^{N} | u_i(k+1) - u_i(k) | \le U_{\max}. \quad (3)$$

Верификация модели выполнена на данных одного из рудников ОАО «Беларуськалий» [1]. Для трёх забоев с параметрами качества 24,5, 28,0 и 30,0 % и плановым объёмом 300 тыс. т алгоритм обеспечил прогнозируемое качество на стволе 27,89 %, что выше допустимого минимума, при полном выполнении плана. В ситуациях недостаточной суммарной мощности алгоритм выявляет невыполнимость задания и выдаёт сигнал диспетчеру, позволяя своевременно корректировать планы и избегать аварийных режимов работы оборудования. Согласно исследованиям [2], для систем с переменными запаздываниями применение имитационных моделей позволяет достичь точности прогноза качества на уровне 92–95 %, что подтверждает практическую применимость разработанного подхода.

Разработанная модель может быть интегрирована в систему оперативного управления горными работами в качестве программного модуля для поддержки принятия решений. Её применение позволяет снизить риск невыполнения плана, поддерживать качество сырья не ниже технологического минимума и уменьшать удельные затраты на обогащение за счёт приоритетного использования забоев с более высоким качеством добываемой руды. Перспективным направлением дальнейших исследований является построение цифрового двойника транспортной сети рудника на основе предложенной математической модели и его интеграция с применяемыми в условиях горнодобывающих предприятий горно-геологическими информационными системами [4].

Список литературы

1 **Дамарад П. А.** Анализ логистики перемещения потоков руды от забоев до шахтного ствола как инновационный метод прогноза объемов добытого полезного ископаемого / П. А. Дамарад, М. А. Журавков, М. А. Николайчик // Горная механика. – 2025. – № 2. – С. 5–18.

2 **Jurdziak, L.** Continuous Transportation System Modelling in One of Underground Mines for the Purpose of Ore Flow Simulation / L. Jurdziak, W. Kawalec, R. Król // 17th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2017. – 2017. – P. 33–40.

3 **Moraes, T. A.** Delay Compensation in a Feeder – Conveyor System Using the Smith Predictor: A Case Study in an Iron Ore Processing Plant / T. A. Moraes, M. T. da Silva, T. A. M. Euzébio // Sensors. – 2024. – Vol. 24, № 12. – P. 3870.

4 **Normey-Rico, J. E.** Control of Dead-Time Processes / J. E. Normey-Rico, E. F. Camacho. – London : Springer, 2007. – 462 p.

УДК 519.2:378.14

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ ПО МАТЕМАТИЧЕСКОЙ СТАТИСТИКЕ ДЛЯ СТУДЕНТОВ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ

В. Е. ЕВДОКИМОВИЧ, Е. А. ЗАДОРОЖНЮК
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Проблема сокращения аудиторных часов, отводимых на изучение математических дисциплин в высших учебных заведениях Республики Беларусь, в том числе и в Белорусском государственном университете транспорта уже не раз поднималась авторами статьи, в том числе на международных научно-практических конференциях проводимых в БелГУТе [1–3].

Одной из таких математических дисциплин является «Теория вероятностей и математическая статистика», которая исключена из перечня изучаемых дисциплин практически на всех факультетах университета, в том числе и на факультетах, связанных с транспортными перевозками.

Однако даже на тех факультетах и в рамках тех специальностей, где преподавание дисциплины сохранилось, произошло почти полное исключение из изучаемого курса лабораторных работ. И это

при том, что практикоориентированность является одной из главных парадигм современного высшего образования.

Лабораторные работы крайне важны при изучении данной дисциплины. В частности, при изучении такого раздела «Теории вероятностей», как «Математическая статистика». И это при том, что роль транспортной статистики, в том числе статистического анализа на железнодорожном транспорте, огромна, поскольку железнодорожная статистика является отраслью транспортной статистики и входит в общую систему экономической статистики.

Следует напомнить, что объектом транспортной статистики является вся сложная транспортная система, включающая в себя как отдельные виды транспорта общего пользования: железнодорожный, речной, автомобильный, авиационный и трубопроводный, так и внутриведомственный (транспорт необщего пользования): подъездные пути, флот и автомобильный транспорт. Статистика транспорта изучает его продукцию, материально-техническую базу, использование перевозочных средств, трудовые и материальные ресурсы, а также финансовые результаты.

В связи с этим становится особенно актуальной дисциплина «Теория вероятностей и математическая статистика», цель изучения которой – необходимость сформировать у студентов вероятностное мышление, поскольку в практической деятельности каждый из них столкнётся с массовыми случайными явлениями. Данные знания необходимы студентам для изучения многих специальных дисциплин, подготовки к работе над курсовыми и дипломными проектами, которые в большинстве своём содержат разделы по обработке статистических данных, расчёты по надёжности технических устройств или прогнозирование случайных процессов.

Для приобретения профессиональных компетенций в результате изучения дисциплины студент должен знать:

– основные положения теории вероятностей и математической статистики;

– методы сбора и анализа статистических данных.

Должен уметь:

– строить вероятностно-статистические модели случайных явлений;

– использовать вероятностные и статистические методы при решении инженерных задач;

– собирать статистические данные и выполнять статистический анализ случайных явлений;

– использовать компьютер для решения вероятностных задач статистической обработки данных.

Студент также должен владеть:

– основными приёмами обработки экспериментальных данных;

– методами аналитического и численного решения вероятностных задач.

Всё это невозможно без закрепления знаний, полученных на лекционных и практических занятиях. Как говорили учёные прошлого, «теория без практики мертва».

К тому же не следует забывать, что полученные знания востребованы не только студентами, но и магистрантами. Поскольку обучение магистрантов ориентировано на применение математических методов к решению задач и широкое использование компьютера, то лабораторные работы студентов (будущих магистрантов) имеют важное прикладное значение.

В частности, автором в рамках подготовки магистрантов специальности 7-06-0714-02 «Инновационные технологии в машиностроении» разработан и прочитан курс лекций по дисциплине «Анализ и упорядочение исходных данных при статистической обработке результатов научных исследований». Дисциплина относится к модулю «Перспективные технологии бизнеса».

Для приобретения профессиональных компетенций в результате изучения дисциплины магистрант должен знать: основные понятия и методы математической статистики; основные методы анализа вероятностных закономерностей случайных явлений, методы сбора и анализа статистических данных. Уметь производить статистическую обработку опытных данных и использовать вычислительную технику для решения вероятностных задач и статистической обработки данных и др.

Всё вышеизложенное говорит о том, что исключение лабораторных работ не даёт возможности в полной мере реализовать те цели и задачи, которые изначально были заложены в курс изучаемой дисциплины.

Следует вспомнить, что курс лабораторных занятий по дисциплине «Теория вероятностей и математическая статистика» включает в себя следующие разделы:

– первичная обработка статистических данных (проводится обработка полученных экспериментальных данных и делается обоснованный вывод о свойствах изучаемой случайной величины);

– построение интервальных оценок параметров распределения (строятся интервальные оценки математического ожидания и дисперсии исследуемой случайной величины);

– подбор закона распределения одномерной случайной величины (с помощью критерия χ^2 проверяется согласование выдвинутой гипотезы о виде закона распределения исследуемой случайной величины с имеющимися выборочными данными);

– статистическая проверка параметрических гипотез (по заданной выборке проводится статистическая проверка гипотезы о равенстве математического ожидания некоторому фиксированному значению);

– построение регрессионной модели системы двух случайных величин (по виду корреляционного поля делается предположение о форме регрессионной зависимости между двумя случайными величинами; используя метод наименьших квадратов, находятся параметры уравнения регрессии; оценивается качество описания зависимости полученным уравнением регрессии).

При исследовании статистических данных студенты используют пакеты прикладных программ «MS Excel», «MathCad», «Statistica» или «Statgrafics» [4].

Подводя итог, можно утверждать, что возвращение в курс дисциплины «Теория вероятностей и математическая статистика» лабораторных работ способствует более углубленному и содержательному изучению курса.

Список литературы

1 **Евдокимович, В. Е.** Научные и методические аспекты математической подготовки в университетах технического профиля / В. Е. Евдокимович // Научные и методические аспекты математической подготовки в университетах технического профиля : материалы V Междунар. науч.-практ. конф. (Гомель, 27 апреля 2023 г.) / М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. ; под общ. ред. Ю. И. Кулаженко. – Гомель : БелГУТ, 2023. – С. 38–41.

2 **Евдокимович, В. Е.** О важности математической подготовки студентов инженерно-технических специальностей / В. Е. Евдокимович, Е. А. Задорожнюк // Научные и методические аспекты математической подготовки в университетах технического профиля : материалы VI Междунар. науч.-практ. конф. (Гомель, 18 апреля 2024 г.) / М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. ; под общ. ред. Ю. И. Кулаженко. – Гомель : БелГУТ, 2024. – С. 17–20.

3 **Евдокимович, В. Е.** Статистический анализ на железнодорожном транспорте / В. Е. Евдокимович, А. И. Прокопенко // Проблемы безопасности на транспорте : материалы XIII Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. Году качества (Гомель, 21–22 ноября 2024 г.) : в 2 ч. Ч. 2 / М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Бел. ж. д., Белорус. гос. ун-т трансп. ; под общ. ред. Ю. И. Кулаженко. – Гомель : БелГУТ, 2024. – С. 137–139.

4 **Кулаженко, Ю. И.** Основы прикладной математики : учеб.-метод. пособие / Ю. И. Кулаженко, В. Е. Евдокимович / М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2023. – 218 с.

УДК 539.3

ВОЛНОВАЯ ДИНАМИКА ПОРИСТОЙ ГРАДИЕНТНОЙ СРЕДЫ: ОБОБЩЁННАЯ МОДЕЛЬ, ДИСПЕРСИЯ И ЭФФЕКТ ЗАПИРАНИЯ

М. С. ЕГОРОВА, О. В. ТУШАВИНА
Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация

Необходимость использования обобщённых теорий упругости связана с наличием микроструктуры у материалов. Различные неоднородности: поры, зёрна, включения, трещины – формируют такие микроструктуры. В классической теории упругости отсутствуют масштабные параметры, поэтому она часто оказывается недостаточной для описания поведения пористых сред, особенно при динамических нагрузках. В работе рассматривается построение и анализ обобщённой динамической модели пористой градиентной среды, учитывающей не только упругие свойства матрицы, но и инерционные свойства пор, а также нелокальные эффекты за счёт градиентных слагаемых в энергии.

Модель строится на основе вариационного подхода. Формулируется лагранжиан, включающий кинетическую и потенциальную энергии. Потенциальная энергия зависит от деформаций, пористости и их градиентов. В результате получены уравнения движения и уравнение пористости, содержащие одиннадцать физических постоянных. Семь из них описывают статические свойства: классические и градиентные модули упругости, параметры пористости и их взаимодействие. Четыре постоянные отражают инерционные характеристики матрицы и пор, а также динамическое взаимодействие между ними.

Выделены три независимых канала динамического взаимодействия между полем объёмной деформации и полем пористости: кинетический, «алгебраический» потенциальный и градиентный потенциальный. Показано, что даже в отсутствие всех констант взаимодействия среда поддерживает распространение волн пористости. Эти волны обладают дисперсией, а их характерная скорость и масштаб определяются внутренними параметрами микроструктуры.

При наличии двух и более ненулевых констант связи наблюдается сложное взаимодействие волн сжатия и пористости, приводящее к появлению двух ветвей дисперсии. Установлены асимптотические зависимости частоты от волнового числа в длинноволновой и коротковолновой областях. Показано, что в общем случае среда демонстрирует сложное дисперсионное поведение с чередованием зон прозрачности и непрозрачности, что имеет принципиальное значение для прогнозирования поведения пористых материалов при динамических нагрузках.

Обнаружен эффект «запирания», при котором для определённых диапазонов волновых чисел распространение волн становится невозможным. Границы этих диапазонов определяются корнями дискриминанта дисперсионных уравнений. Разработанная модель и полученные на её основе закономерности могут найти широкое практическое применение при проектировании звукопоглощающих и вибродемпфирующих конструкций из пористых материалов: теплозащитных покрытий, сотовых панелей, металлопористых композитов. Эффект запирания позволяет создавать акустические фильтры и виброизоляторы, подавляющие волны в заданных частотных диапазонах, что особенно важно для снижения шума в кабинах летательных аппаратов и защиты чувствительной аппаратуры от вибраций.

В фундаментальных исследованиях механики сплошной среды полученные классификации типов динамического взаимодействия и условия существования волн могут быть использованы при построении более сложных нелинейных и термомеханических моделей пористых градиентных сред, а также при разработке численных методов решения краевых задач. Таким образом, предложенная модель не только даёт непротиворечивое описание волновой динамики пористых градиентных сред, но и предоставляет инженерный инструментарий для прогнозирования, диагностики и оптимизации материалов с управляемой пористостью.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (FSFF-2025-0001).

УДК 539.3

УРАВНЕНИЯ АНАЛИТИЧЕСКОЙ ДИНАМИКИ НЕТОНКИХ ПОВЕРХНОСТНО-УПРУГИХ ОБОЛОЧЕК

С. И. ЖАВОРОНОК
Институт прикладной механики Российской академии наук, г. Москва

Развитие техники в обозримой перспективе подразумевает миниатюризацию приборного оборудования, сопровождающуюся активным внедрением микро-, а в последнее время и наноэлектромеханических устройств (гироскопов, акселерометров и т. п.). Проектирование подобных изделий требует разработки фундаментальных теоретических основ, так как поведение элементов, габаритные размеры которых не превышают 1 мкм, существенно отличается от поведения материала на макроуровне, в частности, вследствие сопоставимых величин энергии, накапливаемой и рассеиваемой как в объеме материала, так и его поверхностью, и влияния поверхностного натяжения [1]. Описание подобных явлений в рамках континуальной механики приводит к возникновению в математической модели масштабных эффектов [2, 3], причем для микро- и нанооболочек масштабные эффекты низкой размерности могут интерферировать с хорошо известными масштабными эффектами, возникающими в оболочках макроскопической размерности вследствие малости толщины. Теория упругой поверхности развивается в нескольких вариантах, например, на основе модели упругой мембраны [4] или пластины с конечной изгибной жесткостью [5], связанных с массивом материала краевыми условиями, или на базе вариационного подхода с прямым введением в рассмотрение энергии, накопленной поверхностью [6]. При построении теории поверхностно-упругих микро- и нанооболочек [7] на базе теории упругой поверхности [4] или [5], в отличие от теории макрооболочек, необходимость удовлетворения краевым условиям на лицевых поверхностях требует учета ненулевых трансверсальных компонентов тензора напряжения. Теории такого класса

могут быть получены на базе асимптотического метода [8]. Альтернативой ему является подход, который опирается на формализм аналитической механики континуальных систем и позволяет строить иерархию теорий оболочек с различной точностью приближения трехмерного напряженного состояния [9], учитывающих в том числе сложное распределение по толщине трансверсальных компонентов тензора напряжения [10]. Оболочка при этом трактуется как континуально-дискретная система, которая определена на двумерном многообразии конфигурационным пространством с множеством переменных поля, определенных, например, коэффициентами разложения компонентов вектора перемещения по некоторой базисной системе функций нормальной координаты, поверхностной и контурной плотностями функционала Лагранжа [9]. Энергия, которая накапливается упругими поверхностями, образует аддитивные добавки к энергии оболочки как трехмерного тела, приведенной вследствие редукции размерности модели к эквивалентной плотности энергии реперной поверхности. Применение подобного подхода весьма эффективно, в частности, в задачах стационарной динамики [11–13], так как не требует решения трансцендентных вековых уравнений для построения дисперсионных кривых для нормальных волн [14]. При этом теории высших порядков описывают с удовлетворительной точностью и высокочастотные колебания [15]. С другой стороны, необходимость повышения точности оценки диссипации энергии в микромеханических системах требует учета всех возможных потерь, в том числе вследствие взаимодействия тонкостенных элементов с окружающей акустической средой, что также эффективно реализуется на базе иерархической теории в сочетании с методом переходных функций, обеспечивающим описание взаимодействия интегральным оператором [16–18]. Теория нетонких оболочек переменной толщины с упругой поверхностью, описывающая различные масштабные эффекты, построена на базе вариационного формализма аналитической динамики континуальных систем [9] и концепции [6]. Рассмотрен общий случай неоднородной по толщине оболочки (слоистой либо функционально-градиентной), получена лагранжева вариационная формулировка теории N-го порядка поверхностно-упругих оболочек как двумерных континуальных систем с приведением энергии, накопленной лицевыми поверхностями, к реперной поверхности, и соответствующие уравнения движения в форме обобщенных уравнений Лагранжа второго рода континуальной системы. Влияние окружающей среды учтено посредством метода переходных функций [16]. Введена система безразмерных переменных, анализируются различные варианты выбора масштабных коэффициентов, порождаемых различными эффектами.

Работа выполнена в рамках Государственного задания ИПРИМ РАН (регистрационный номер темы 121112200124-1).

Список литературы

1 **Orowan, E.** Surface energy and surface tension in solids and liquids / E. Orowan // Proc. Roy. Soc. London. Ser. A. – 1970. – Vol. 316, № 1527. – P. 473–491.

2 Computational Linear and Nonlinear Free Vibration Analyses of Micro/Nanoscale Composite Plate-Type Structures With/Without Considering Size Dependency Effect: A Comprehensive Review / Z. Al Mahmoud, B. Safaei, S. Sahmani [et al.] // Archives of Computational Methods in Engineering. – 2025. – Vol. 32. – P. 113–232.

3 Size effects in micro/nanostructures: a review of mechanical theories and modeling / Y. Cen, X. Li, J. Lu [et al.] // Acta Mechanica Sinica. – 2026. – Vol. 42. – 425755.

4 **Gurtin, M. E.** A continuum theory of elastic material surfaces / M. E. Gurtin, A. I. Murdoch // Arch. Rat. Mech. Anal. – 1975. – Vol. 57. – P. 291–323.

5 **Steigmann, D. J.** Plane deformations of elastic solids with intrinsic boundary elasticity / D. J. Steigmann, R. W. Ogden // Proc. R. Soc. Lond. A. – 1997. – Vol. 453. – P. 853–877.

6 **Chen, Ch.** Elastic theory of nanomaterials based on surface-energy density / Ch. Chen, Y. Yao // ASME J. Appl. Mech. – 2014. – Vol. 81. – P. 121002.

7 **Altenbach, H.** On the shell theory on the nanoscale with surface stresses / H. Altenbach, V. A. Eremeyev // Int. J. Engineering Science. – 2011. – Vol. 49. – P. 1294–1301.

8 **Рогачева, Н. Н.** Влияние поверхностных напряжений на напряженно-деформированное состояние оболочек / Н. Н. Рогачева // Прикладная математика и механика. – 2016. – Т. 80, вып. 2. – С. 242–253.

9 **Zhavoronok, S. A**. Vekua-type linear theory of thick elastic shells / S. A. Zhavoronok // ZAMM – Zeitschrift fur Angewandte Mathematik und Mechanik. – 2014. – Vol. 94, nos.1-2. – P. 164–184.

10 **Амосов, А. А.** О решении некоторых задач о напряженно-деформированном состоянии анизотропных толстостенных оболочек вращения в трехмерной постановке / А. А. Амосов, С. И. Жаворонок, К. А. Леонтьев // Механика композиционных материалов и конструкций. – 2004. – Т. 10, № 3. – С. 301–310.

11 **Жаворонок, С. И.** Формулировка начально-краевой задачи приближенной трехмерной теории оболочек N-го порядка в обобщенных перемещениях и ее приложение к задачам стационарной динамики / С. И. Жаворонок // Механика композиционных материалов и конструкций. – 2012. – Т. 18, № 3. – С. 333–344.

12 **Жаворонок, С. И.** Исследование гармонических волн в упругом слое на основе трехмерной теории оболочек N-го порядка / С. И. Жаворонок // Механика композиционных материалов и конструкций. – 2010. – Т. 16, № 4-2. – С. 693–701.

13 **Жаворонок, С. И.** Исследование распространяющихся мод гармонических волн в упругом слое на базе трехмерной теории оболочек N-го порядка / С. И. Жаворонок // Механика композиционных материалов и конструкций. – 2011. – Т. 17, № 2. – С. 278–287.

14 **Жаворонок, С. И.** Задачи о дисперсии волн в неоднородных волноводах: методы решения (обзор). Часть II / С. И. Жаворонок // Механика композиционных материалов и конструкций. – 2022. – Т. 28, № 1. – С. 36–86.

15 **Zhavoronok, S. I.** On the use of extended plate theories of Vekua-Amosov type for wave dispersion problems / S. I. Zhavoronok // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. – 2018. – Т. 14, № 1. – С. 36–48.

16 Нестационарная задача дифракции цилиндрической акустической волны давления на тонкой оболочке в форме эллиптического цилиндра / А. Г. Горшков, С. И. Жаворонок, А. Л. Медведский, Л. Н. Рабинский // Международный журнал по расчету гражданских и строительных конструкций. – 2007. – Т. 3, № 2. – С. 82–93.

17 Численно-аналитические методы решения задач дифракции акустических волн на абсолютно твердых телах и оболочках / С. И. Жаворонок, М. Ю. Куприков, А. Л. Медведский, Л. Н. Рабинский. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2010. – 192 с.

18 **Егорова, О. В.** Взаимодействие оболочки средней толщины с акустической волной / О. В.Егорова, С. И. Жаворонок, Л. Н. Рабинский // Вестник Московского авиационного института. – 2010. – Т. 17, № 2. – С. 127–135.

УДК 539.3

МЕТОДЫ ВИЗУАЛИЗАЦИИ И РЕГИСТРАЦИИ ДЕФОРМАЦИЙ ПРИ ПОСЛОЙНОМ ОПРЕДЕЛЕНИИ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛАХ

К. В. ЗАТОРКИНА, Л. Н. РАБИНСКИЙ
Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация

Определение остаточных напряжений в слоистых композиционных материалах (КМ) осложнено анизотропией упругих свойств и неоднородностью структуры. При послойном анализе методом зондирующих отверстий необходимо регистрировать деформации поверхности после каждого шага углубления отверстия. В качестве основного метода регистрации в настоящей работе рассматривается цифровая корреляция изображений (DIC), позволяющая получать полное поле перемещений в зоне отверстия [1, 2]. В отличие от тензорезисторных розеток DIC обеспечивает бесконтактную регистрацию пространственно неоднородной деформации, что особенно важно для анизотропных КМ.

Связка DIC – hole drilling уже применялась для определения остаточных напряжений в толстых пултрузионных композитах [3] и исследовалась как полнополевая альтернатива традиционной тензометрии [4]. Современные методы обработки позволяют повысить устойчивость решения обратной задачи и разрешение восстановления напряжений по глубине [4, 5]. По измеренному полю перемещений искомые компоненты остаточных напряжений (σx, σy, τxy) восстанавливаются с использованием калибровочных матриц влияния, рассчитываемых методом конечных элементов для ортотропного упругого тела. Для повышения устойчивости реконструкции предполагается применение регуляризации по Тихонову.

Помимо DIC, для исследования КМ применяются рентгеновская компьютерная томография (XCT) и цифровая корреляция объёмных изображений (DVC), позволяющие контролировать внутреннюю структуру и исследовать трёхмерные деформации материала [1, 2]. В настоящей работе XCT используется как вспомогательный метод для выявления пор, расслоений и нарушений укладки волокон, способных повлиять на результаты релаксации. Альтернативным оптическим подходом является электронная спекл-интерферометрия (ESPI), обладающая высокой чувствительностью к малым перемещениям, однако более требовательная к стабильности экспериментальной установки. Рентгенографические методы позволяют непосредственно оценивать остаточные напряжения, но не обеспечивают той же последовательной регистрации релаксационных деформаций, которая необходима для реализуемого метода зондирующих отверстий.

Предложенная схема эксперимента базируется на комбинации DIC (основной метод) и XCT (вспомогательный контроль), что в совокупности с разрабатываемыми калибровочными матрицами и регуляризацией обеспечивает получение достоверных данных для расчёта послойных остаточных напряжений в ортотропных композитах.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках Государственного задания МАИ (шифр FSFF-2026-0010).

Список литературы

1 **Naresh, K.** The use of X-ray computed tomography for design and process modeling of aerospace composites: A review / K. Naresh, K. A. Khan, R. Umer, W. J. Cantwell // Materials & Design. – 2020. – Vol. 190. – Art. 108553. – DOI: 10.1016/j.matdes.2020.108553.

2 **Bodryshev, V. V.** Digital method for analysing speckle-interferometric images of material deformation / V. V. Bodryshev, A. V. Babaytsev, A. A. Orekhov, Ya. N. Min // Periodicals of Engineering and Natural Sciences. – 2025. – Т. 9, № 3. – С. 886–900.

3 **Бабайцев, А. В.** Применение метода корреляции цифровых изображений для определения остаточных напряжений в сплавах и композиционных материалах при изготовлении баков космических аппаратов / А. В. Бабайцев, Н. М. Ян, П. С. Шестеркин // Космические системы. – М., 2021. – С. 28–29.

4 Verification of mechanical properties and surface topography of ph1 stainless steel samples obtained by selective laser melting / A. V. Babaytsev, A. N. Astapov, A. V. Ripetskiy, M. Sha // Periodicals of Engineering and Natural Sciences. 2021. – Vol. 9, № 4. – С. 417–432.

5 **Halabuk, D.** Feasibility Study of Uniform Residual Stress Measurement Using the Hole-Drilling Method and Digital Image Correlation / D. Halabuk, M. Vajdák, T. Návrat // Experimental Mechanics. – 2025. – Vol. 65. – P. 1427–1441. – DOI: 10.1007/s11340-025-01226-6.

УДК 539.3, 539.8

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ВОЛН РЭЛЕЯ В ОРТОТРОПНОМ ТЕРМОУПРУГОМ ПОЛУПРОСТРАНСТВЕ

А. В. ЗЕМСКОВ
Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация
НИИ механики МГУ им. М. В. Ломоносова, г. Москва, Российская Федерация

Д. В. ТАРЛАКОВСКИЙ
НИИ механики МГУ им. М. В. Ломоносова, г. Москва, Российская Федерация
Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация

В работе исследуется процесс распространения волн Рэлея в ортотропной полуплоскости с учетом взаимодействия температурных и механических полей. Волны Рэлея являются поверхностными акустическими волнами, которые распространяются вблизи поверхности твердого тела, и изучение их свойств очень важно для сейсморазведки при нефтедобыче [1], а также при изучении упругих свойств горных пород и грунтов находящихся за обделкой тоннелей, железобетонными плитами, каменной кладкой и т. д. [2]. Поверхностно-волновая томография, используемая для изучения строения земной коры, основана на анализе дисперсии групповых скоростей волн Лява и Рэлея [3]. В сейсмологии использование поверхностных волн связано с изучением возмущений земной коры, вызванных землетрясениями [4].

С середины XX века рэлеевские волны ультразвукового диапозона ($\sim 10^8$ Гц) используются в качестве средства незарушающего контроля поверхностного слоя изготавливаемых металлических деталей. С помощью ультразвуковой дефектоскопии определялась глубина термической закалки, остаточные механические напряжения, качество обработки поверхности, дефекты и т. п. Высокочастотные поверхностные волны Рэлея используются в акустоэлектронике, которая изучает процессы взаимодействия ультра- и гиперзвуковых волн (10^8–10^{10} Гц) с электронами проводимости в кристаллах [5].

Кроме техники волны Рэлея используются и в чисто научных экспериментах для изучения поверхностных свойств материалов. Таким образом, проблема распространения поверхностных акустических волн в твёрдых телах является актуальной и практически значимой, что привлекает внимание многих исследователей.

Пусть имеется изотропное двумерное полупространство (полуплоскость), граница которого свободна от механических нагрузок и тепловых потоков. Математическая постановка задачи включает в себя связанную систему уравнений термоупругости в перемещениях [6–9]:

$$C_{11}\frac{\partial^2 u_1}{\partial x_1^2}+C_{66}\frac{\partial^2 u_1}{\partial x_2^2}+\left(C_{12}+C_{66}\right)\frac{\partial^2 u_2}{\partial x_1\partial x_2}-\Lambda_1\frac{\partial \vartheta}{\partial x_1}=\rho\ddot{u}_1;$$

$$\left(C_{12}+C_{66}\right)\frac{\partial^2 u_1}{\partial x_1\partial x_2}+C_{66}\frac{\partial^2 u_2}{\partial x_1^2}+C_{22}\frac{\partial^2 u_2}{\partial x_2^2}-\Lambda_2\frac{\partial \vartheta}{\partial x_2}=\rho\ddot{u}_1; \qquad (1)$$

$$\kappa_1\frac{\partial^2 \vartheta}{\partial x_1^2}+\kappa_2\frac{\partial^2 \vartheta}{\partial x_2^2}-T_0\Lambda_1\frac{\partial^2 u_1}{\partial t\partial x_1}-T_0\Lambda_2\frac{\partial^2 u_2}{\partial t\partial x_2}=\rho c_0\dot{\vartheta}.$$

Здесь t – время; x_i – декартовы координаты; u_i – компоненты вектора перемещений; C_{ij} – упругие постоянные; ρ – плотность; $\vartheta = T - T_0$, T – актуальная температура среды; T_0 – начальная температура среды; Λ_i – коэффициенты, характеризующие тепловое расширение; c_0 – удельная теплоёмкость; κ_i – коэффициенты теплопроводности.

Для нахождения волн Рэлея рассматривается краевая задача, включающая уравнения (1) и следующие граничные условия, выражающие условие отсутствия нагрузок и тепловых потоков на границе полуплоскости:

$$\sigma_2\big|_{x_2=0}=0,\ \tau_{12}\big|_{x_2=0}=0,\ q_2\big|_{x_2=0}=0. \qquad (2)$$

Здесь σ_2 – нормальное напряжение; τ_{12} – касательное напряжение; q_2 – нормальная составляющая вектора теплового потока; $x_2=0$ – граница полуплоскости.

Решение задачи (1), (2) ищется в виде бегущей волны [8, 9]

$$u_j = U_j e^{i(\omega t - k_1 x_1) - k_2 x_2},\quad \vartheta = \Phi e^{i(\omega t - k_1 x_1) - k_2 x_2}, \qquad (3)$$

где ω – частота волны Релея, подлежащая определению, $\mathbf{k}=\{k_1,k_2\}$ – волновой вектор, в котором k_1 – заданная величина, k_2 – подлежит определению.

Подстановка формул (3) в уравнения (1) приводит к дисперсионному уравнению, связывающему частоту распространяющейся волны с компонентами волнового вектора. Используя далее граничные условия (2) получаем уравнение для определения частоты рэлеевской термоупругой волны.

Таким образом, в работе предложен аналитический метод решения задачи о распространении волн Рэлея в термоупругом изотропном полупространстве. В явном виде найдены амплитуды термоупругих волн и получено решение дисперсионного уравнения, связывающего частоту волны Рэлея с компонентами волнового вектора. Для частоты Рэлея в явном виде получено уравнение, решение которого находится с помощью метода простых итераций.

Параметрический анализ полученных результатов позволяет установить, что влияние температурных факторов на характер распространения волн Рэлея в реальных материалах практически незаметно. Для различных реальных материалов частота и амплитуда термоупругой и упругой рэлеевских волн практически совпадают. Относительная разность между упругими и термоупругими частотами имеет порядок около 0,10 % даже для материалов, обладающих высоким коэффициентом линейного температурного расширения.

С помощью численного моделирования установлено, что коэффициент линейного расширения существенно влияет на степень связанности температурного и механического полей. При его увеличении наблюдается заметное различие амплитуд и частот волны Рэлея в упругом и термоупругом случаях. При этом в термоупругом случае, в отличие от упругого, линейная зависимость частоты Рэлея от волнового числа k_1 не сохраняется, однако остается достаточно близкой к ней. Эта близость к линейной зависимости сохраняется и для гипотетических материалов, чувствительных к термоупругим явлениям.

Исследование выполнено в рамках государственного задания МГУ им. М. В. Ломоносова.

Список литературы

1 Research on oil exploration seismic Rayleigh wave imaging based on multi-channel analysis of surface waves and genetic-damped least squares joint inversion / X. Li, Q. Li, H. Shen [et al.] // Journal of Applied Geophysics. – 2022. – Vol. 202. – 104670.

2 Analytical solution for seismic response of tunnels with composite linings in elastic ground subjected to Rayleigh waves / W. Zhao, W. Chen, D. Yang [et al.] // Soil Dynamics and Earthquake Engineering. – 2022. – Vol. 153: 107113.

3 **Филиппова, А. И.** Поверхностно-волновая томография Кольского полуострова и сопредельных территорий по данным дисперсии групповых скоростей волн Рэлея и Лява / А. И. Филиппова, О. А. Соловей // Доклады российской академии наук. Науки о земле. – 2022. – Т. 504, № 2. – С. 177–182.

4 **Яновская, Т. Б.** Основы сейсмологии / Т. Б. Яновская. – СПб. : С.-Петерб. гос. ун-т, 2008. – 222 с.

5 **Гуляев, Ю. В.** Распространение поверхностных акустических волн в периодических структурах / Ю. В. Гуляев, В. П. Плесский // Успехи физических наук. – 1989. – Т. 157, вып. 1. – С. 85–127.

6 **Вестяк В. А.** Математические основы термоупругости : учеб. пособие / В. А. Вестяк, А. В. Земсков, Д. В. Тарлаковский, Г. В. Федотенков. – М. : Изд-во МАИ, 2021. – 92 с.: ил.

7 **Земсков, А. В.** Моделирование механодиффузионных процессов в многокомпонентных телах с плоскими границами / А. В. Земсков, Д. В. Тарлаковский. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2021. – 288 с.

8 **Амензаде, Ю. А.** Теория упругости : учеб. для университетов / Ю. А. Амензаде. – Баку : Азербайджанское гос. изд-во учеб.-пед. лит-ры, 1968. – 250 с.

9 **Новацкий, В.** Динамические задачи термоупругости / В. Новацкий. – М. : Мир, 1970. – 256 с.

УДК 539.3

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ СТАТИКИ ЛИНЗОВИДНОГО ТЕЛА НА УПРУГОМ ОСНОВАНИИ НА БАЗЕ ОБОБЩЕННЫХ УРАВНЕНИЙ РАУСА ТЕОРИИ ОБОЛОЧЕК N-го ПОРЯДКА

П. С. ЗЯБКОВ, С. И. ЖАВОРОНОК
Институт прикладной механики Российской академии наук, г. Москва

Метод представления разрешающих уравнений линейной краевой задачи теории упругости или теории оболочек [1] существенно расширяет возможности разделения переменных и позволяет строить новые аналитические решения краевых задач. В основе метода лежит приведение задачи к системе уравнений нормального вида, разрешенной относительно частных производных по одной из пространственных переменных, с операторной матрицей правых частей [1]. Аналогичный метод, опирающийся на редукцию пространственной размерности задачи и ее приведение к нормальной системе обыкновенных дифференциальных уравнений, был применен в работах [2, 3] для трапецеидальных плоских областей, а для оболочек вращения – в [4, 5]. Редукция двумерной или трехмерной задачи осуществлялась путем разложения всех неизвестных функций – как компонентов тензора напряжения, так и компонентов вектора перемещения – по ортогональной базисной системе функций радиальной координаты цилиндрической системы или координаты x^2 декартовой прямоугольной системы координат в соответствии с общим подходом [6] к построению различных вариантов теории оболочек. Дальнейшее развитие заключается в переходе к вариационному формализму аналитической механики континуальных систем [7], позволяющему трактовать оболочку как континуально-дискретную систему [8] с конечным числом степеней свободы, соответствующим числу удерживаемых членов частичной суммы обобщенного ряда Фурье. Лагранжев формализм аналитической механики применительно к теории оболочек N-го порядка заключается в выборе коэффициентов разложения компонентов вектора перемещения по базисной системе, в общем случае биортогональной [9, 10], в качестве переменных поля первого рода, линейной оболочкой которых является конфигурационное пространство системы, и формулировке плотности функционала Лагранжа, зависящей от переменных поля и их ковариантных производных (а в динамических задачах – и обобщенных скоростей). Разрешающие уравнения представляют собой обобщенные уравнения Лагранжа второго рода и содержат производные второго порядка. Теория оболочек N-го порядка [4, 5] определяется удержанием N+1 члена частичной суммы ряда и обеспечивает аппроксимацию в среднем квадратичном решении трехмерной задачи теории упругости в областях неприводимости [8], где теории низших порядков приводят к недопустимым погрешностям. Применение симплектического формализма [1] в теории оболочек N-го порядка естественным образом опирается на вариационный формализм аналитической динамики: при выборе некоторого семейства координатных линий на моделирующей поверхности оболочки, определении сопряженных переменных путем дифференцирования плотности Лагранжиана по производным переменных поля вдоль данного семейства линий, и преобразовании Лежандра функционала Лагранжа по сопряженным парам переменных. Полученный смешанный функционал, трактуемый как обобщенный

функционал Рауса, не содержит производных вдоль выбранного направления; условие его стационарности, вытекающее из принципа Гамильтона – Остроградского [7], порождает систему дифференциальных уравнений, разрешенных относительно части производных первого порядка с операторной матрицей, имеющей симплектическую структуру [11–13] – обобщенных уравнений Рауса континуально-дискретной системы. В стационарных задачах волновой динамики такой подход обеспечивает построение всех ветвей дисперсионных кривых, соответствующих как действительным, так и комплексным волновым числам; в задачах статики достигается возможность разделения переменных. В частном случае пространственно-одномерных задач (например, в осесимметричных задачах статики линзовидных тел) функционал Рауса не зависит от производных и вырождается в гамильтониан, а уравнения Рауса – в квазиканонические уравнения Гамильтона.

Рассмотрено решение задачи статики линзовидного тела, ограниченного двумя соосными гладкими поверхностями вращения, взаимодействующего по одной из ограничивающих поверхностей с деформируемым основанием и находящегося под действием давления, приложенного к противоположной граничной поверхности. Получены обобщенные уравнения Рауса, разрешенные относительно радиальной координаты [14] либо окружной координаты. В первом случае решение в окружном направлении представлено частичной суммой тригонометрического ряда Фурье, во втором – решение в радиальном направлении аппроксимируется частичной суммой ряда по специальным функциям. Осуществлено разделение переменных, и для теорий 3–7 порядков построены спектры. Решение задачи далее получено в форме ряда по собственным функциям. Предложенный подход обеспечивает приближенное аналитическое решение задач статики линзовидных тел переменной толщины.

Работа выполнена в рамках Государственного задания ИПРИМ РАН (регистрационный номер темы 121112200124-1).

Список литературы

1 **Lim, C. W.** Symplectic elasticity: Theory and Applications / C. W. Lim, X. S. Xu // ASME Applied Mechanics Reviews. – 2010. – Vol. 63. – P. 050802.

2 **Амосов, А. А.** К проблеме редукции плоской задачи теории упругости к последовательности одномерных краевых задач / А. А. Амосов, С. И. Жаворонок // Механика композиционных материалов и конструкций. – 1997. – Т. 3, № 1. – С. 69–80.

3 **Амосов, А. А.** О решении некоторых краевых задач о плоском напряженном состоянии криволинейной трапеции / А. А. Амосов, А. А. Князев, С. И. Жаворонок // Механика композиционных материалов и конструкций. – 1999. – Т. 5, № 1. – С. 60–72.

4 **Амосов, А. А.** О решении некоторых задач о напряженно-деформированном состоянии анизотропных толстостенных оболочек вращения в трехмерной постановке / А. А. Амосов, С. И. Жаворонок, К. А. Леонтьев // Механика композиционных материалов и конструкций. – 2004. – Т. 10, № 3. – С. 301–310.

5 **Жаворонок, С. И.** Анализ сходимости решения при расчете толстостенных оболочек вращения произвольной формы / С. И. Жаворонок, А. Н. Леонтьев, К. А. Леонтьев // Международный журнал по расчету гражданских и строительных конструкций. – 2010. – Т. 6. – № 1-2. – С. 105–111.

6 **Векуа, И. Н.** Некоторые общие методы построения различных вариантов теории оболочек / И. Н. Векуа. – М. : Наука, 1982. – 282 с.

7 **Кильчевский, Н. А.** Аналитическая механика континуальных систем / Н. А. Кильчевский, Г. А. Кильчинская, Н. Е. Ткаченко. – Киев : Наук. думка, 1979. – 188 с.

8 **Кильчевский, Н. А.** Основы аналитической механики оболочек/ Н. А. Кильчевский. – Киев : Изд-во АН УССР, 1963. – 354 с.

9 **Жаворонок, С. И.** Вариационные уравнения трехмерной теории анизотропных оболочек / С. И. Жаворонок // Вестник Нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского. – 2011. – № 4, ч. 5. – С. 2153–2155.

10 **Жаворонок, С. И.** Обобщенные уравнения Лагранжа второго рода трехмерной теории анизотропных оболочек / С. И. Жаворонок // Механика композиционных материалов и конструкций. – 2011. – Т.17, № 1. – С. 116–132.

11 **Zhavoronok, S. I.** The Generalized Routh equations in the plate theory of Nth order and their use in problems of normal wave dispersion in heterogeneous waveguides / S. I. Zhavoronok, A. S. Kurbatov, L. N. Rabinskii // Lobachevskii Journal of Mathematics. – 2022. – Vol. 43, № 7 – P. 66–74.

12 **Жаворонок, С. И.** Обобщенные уравнения Рауса в теории пластин N-го порядка и их приложение к задачам о дисперсии нормальных волн в неоднородных волноводах / С. И. Жаворонок, А. С. Курбатов // Механика композиционных материалов и конструкций. – 2022. – Т. 28, № 3. – С. 399–431.

13 **Zhavoronok, S. I.** On various equations of the analytical mechanics of thick-walled heterogeneous shells and some of their applications in wave dispersion problems / S. I. Zhavoronok, A. S. Kurbatov, O. V. Egorova // Lobachevskii Journal of Mathematics. – 2023. – Vol. 44, № 6. – P. 2501–2517.

14 **Жаворонок, С. И.** Обобщенные уравнения Рауса теории N-го порядка пологих оболочек переменной толщины / С. И. Жаворонок, П. С. Зябков // Механика композиционных материалов и конструкций. – 2025. – Т. 31, № 4. – С. 515–534.

УДК 004.032.26+620.179.16:656

СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА КОМПОЗИТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Д. А. ИВАНОВ
Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю. А., Российская Федерация

Обеспечение безопасности транспортных систем требует регулярного контроля технического состояния элементов конструкций и своевременного проведения ремонтных работ. Методы ультразвукового неразрушающего контроля позволяют обнаруживать повреждения без демонтажа объекта и нарушения его работоспособности. Однако сам факт выявления дефекта не показывает, как долго конструкция сможет эксплуатироваться до предельного состояния. Для оценки этого срока необходимо прогнозировать остаточный ресурс по результатам последовательных инспекций.

Для диагностики железнодорожных объектов всё чаще используются методы интеллектуального анализа данных. И. Е. Монарховичем, В. Н. Галушко и И. Л. Громыко предложено интегрировать свёрточные нейронные сети в применяемую на Белорусской железной дороге систему централизованного мониторинга Zabbix [1]. Нейросетевая модель выявляет аномалии в сигналах электроустановок и позволяет обнаруживать неисправности на ранней стадии. Задача остаточного ресурса рассмотрена А. В. Путято, Е. Н. Коноваловым и П. М. Афанаськовым. Авторы [2] оценивали состояние несущей конструкции вагона хоппер-дозатора по результатам технического диагностирования, компьютерного моделирования и натурных испытаний. Полученные результаты подтвердили возможность дальнейшей безопасной эксплуатации вагона. Такой подход учитывает состояние конкретной конструкции, однако требует большого объёма расчётов и экспериментов. Другим направлением является прогнозирование ресурса композитных конструкций по данным непрерывного мониторинга. Так, в работе F. C. Gül, M. Moradi и D. Zarouchas индикаторы повреждения извлекались из сигналов направленных волн с помощью преобразования Гильберта и непрерывного вейвлет-преобразования. Глубокая нейронная сеть одновременно прогнозировала остаточный ресурс и развитие расслоения при быстрых и медленных сценариях деградации [3].

Таким образом, в существующих работах для диагностики железнодорожных объектов всё чаще используются интеллектуальные системы, а для оценки ресурса применяются расчётно-экспериментальные и нейросетевые методы. При этом сложная нейросетевая архитектура в задачах структурного мониторинга может оказаться избыточной, особенно при малом числе завершённых траекторий деградации. В данных условиях более подходящим вариантом могут считаться классические методы машинного обучения, поскольку они хорошо обучаются на небольших и средних табличных наборах данных, менее требовательны к вычислительным ресурсам и сохраняют понятную логику работы. Однако выбор конкретного алгоритма является открытым вопросом и требует сравнительной проверки на одних и тех же данных. Целью настоящей работы является сравнение стандартных методов машинного обучения и определение алгоритма, который лучше использует накопленную историю изменения диагностических признаков исследуемых объектов.

Для вычислительного эксперимента использовались открытые данные проекта ReMAP [4]. Пять образцов углепластика подвергались циклическому нагружению до разрушения. Их состояние на разных этапах испытания регистрировалось встроенными пьезоэлектрическими преобразователями. Ультразвуковые сигналы регистрировались по нескольким путям зондирования и на разных частотах возбуждения. Каждый этап контроля рассматривался как отдельный кадр инспекции. Сигналы сравнивались с исходным неповреждённым состоянием, затем рассчитывались индексы повреждения, амплитудные характеристики и статистические признаки. Модели прогнозировали число кадров до завершения испытания. Поскольку образцы испытывались до разрушения, для каждого кадра был известен фактический остаточный ресурс. Для обучающих образцов он служил целевым значением, а для исключённого использовался только при проверке точности.

Базовый прогноз представлял собой среднее значение остаточного ресурса по обучающим данным. Он был одинаковым для всех кадров проверяемого образца и не учитывал диагностические

признаки. С ним сравнивались метод ближайших соседей, линейная регрессия, метод опорных векторов, случайный лес, метод предельно рандомизированных деревьев и градиентный бустинг. Первые два метода использовали текущее значение индекса повреждения, тогда как остальные модели дополнительно учитывали историю наблюдений (рисунок 1).

Качество проверялось методом кросс-валидации с поочерёдным исключением каждого образца из обучения. Признаки и параметры нормализации определялись только по обучающим данным. В качестве метрик использовались средняя абсолютная ошибка MAE, которая показывает среднюю ошибку в числе кадров инспекции, и коэффициент ранговой корреляции Спирмена ρ, характеризующий общий порядок уменьшения остаточного ресурса.

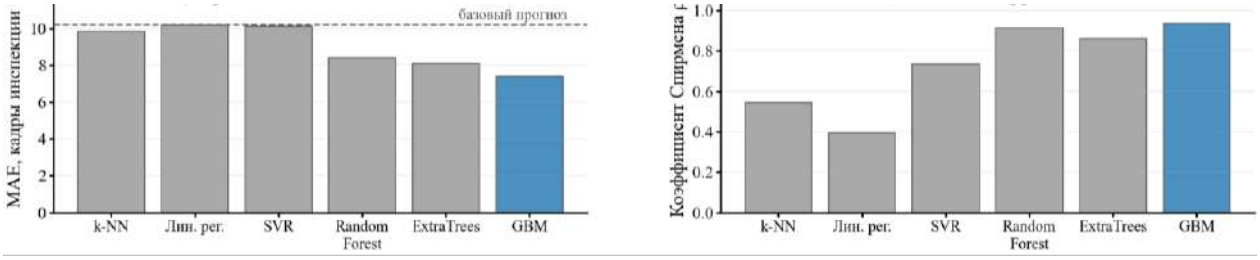


Рисунок 1 – Результаты сравнения методов прогнозирования остаточного ресурса:
а – средняя абсолютная ошибка; *б* – ранговая корреляция

Прогноз среднего значения, метод ближайших соседей, линейная регрессия и метод опорных векторов дали MAE в диапазоне от 9,84 до 10,20 кадра. Метод ближайших соседей и линейная регрессия почти не улучшили базовый прогноз, поскольку одинаковый индекс повреждения может соответствовать разному остаточному ресурсу. Метод опорных векторов дополнительно использовал историю наблюдений, однако его ошибка осталась в том же диапазоне. Следовательно, расширение набора признаков само по себе не гарантирует повышения точности. Ансамбли деревьев лучше использовали сформированные признаки и обеспечили более низкую ошибку. Для случайного леса и метода предельно рандомизированных деревьев она находилась в диапазоне от 8,08 до 8,40 кадра, а наименьшее среднее значение MAE, равное 7,39 кадра, получено с помощью градиентного бустинга. В отличие от случайного леса и метода предельно рандомизированных деревьев в градиентном бустинге каждое новое дерево исправляет ошибки уже построенного ансамбля. Такое последовательное уточнение позволило лучше учесть сложные участки траекторий, по сравнению с базовым прогнозом ошибка уменьшилась почти на три кадра инспекции. Коэффициент ранговой корреляции (0,936) показывает, что градиентный бустинг правильно воспроизвёл снижение остаточного ресурса от ранних этапов деградации к поздним.

Таким образом, полученные результаты показывают потенциал градиентного бустинга при малом числе завершённых траекторий деградации. Этот метод может стать основой для создания прогностических моделей в области безопасности железнодорожного транспорта без применения сложной нейросетевой архитектуры. Для технической диагностики это существенно, поскольку получить большое количество данных о развитии повреждений вплоть до предельного состояния не всегда возможно, а градиентный бустинг сохраняет работоспособность в таких условиях.

Список литературы

1 **Монархович, И. Е.** Разработка удалённой системы мониторинга и диагностики электроустановок системы железнодорожного электроснабжения с использованием свёрточных нейронных сетей / И. Е. Монархович, В. Н. Галушко, И. Л. Громыко // ERA – Современная наука: электроника, робототехника, автоматизация : материалы II Междунар. науч.-техн. конф. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2026. – С. 287–288.

2 **Путято, А. В.** Прогнозирование остаточного ресурса вагона хоппер-дозатора после длительной эксплуатации с учётом фактических физико-механических характеристик материала несущей конструкции / А. В. Путято, Е. Н. Коновалов, П. М. Афанаськов // Механика машин, механизмов и материалов. – 2016. – № 1 (34). – С. 26–35.

3 **Gül, F. C.** An integrated approach for prognosis of remaining useful life for composite structures under in-plane compressive fatigue loading / F. C. Gül, M. Moradi, D. Zarouchas // Composites Part C: Open Access. – 2024. – Vol. 15. – Article 100531. – DOI: 10.1016/j.jcomc.2024.100531.

4 Compression-compression fatigue tests on single stiffener aerospace structures – 1st Test Campaign TU Delft, Level 1 / D. Zarouchas, A. Broer, G. Galanopoulos [et al.]. – DataverseNL, 2021. – DOI: 10.34894/QNURER.

УДК 539.3

УРАВНЕНИЯ БЕЗМОМЕНТНОЙ ТЕОРИИ ОБОЛОЧЕК ИЗ СПЛАВА С ПАМЯТЬЮ ФОРМЫ ПРИ КОНЕЧНЫХ ДЕФОРМАЦИЯХ И ПЕРЕМЕЩЕНИЯХ

И. А. ИСАЧЕНКО, А. С. КУРБАТОВ, С. И. ЖАВОРОНОК
Институт прикладной механики Российской академии наук, г. Москва

Термоупругие фазово-структурные превращения, протекающие в сплавах с эффектом памяти формы (СПФ) при переменном напряженном состоянии и температуре, с одной стороны, порождают уникальные свойства СПФ [1] и обеспечивают возможность создания различных актуаторов, сенсоров, гасителей вибраций и подобных устройств. С другой стороны, однако, фазово-структурные переходы являются основной причиной склонности тонкостенных функциональных элементов из СПФ к потере устойчивости тривиальных форм статического равновесия при аномально низких критических напряжениях [2–5]. В отличие от прямолинейных стержней и плоских пластин задача устойчивости для оболочек из сплава с памятью ставилась и решалась сравнительно узким кругом авторов: получены решения для сплошной цилиндрической оболочки [2], цилиндрической оболочки ячеистой структуры (васкулярного стента) [3], сферического сегмента [4]. Сложность данного класса задач связана не только с существенной физической нелинейностью даже упрощенных вариантов модели термоупругих фазово-структурных переходов [1], но и кинематической нелинейностью задачи. При этом сама по себе общая теория оболочек с памятью формы в должной мере не разработана; известные варианты, учитывающие конечные перемещения, основаны на концепции Гиббса фазового перехода с разрывом первого рода параметра фазового состава на фронте фазового превращения, в случае оболочки представляющего собой кривую на криволинейной поверхности [6]; данный подход противоречит экспериментально наблюдаемому характеру фазовых переходов в СПФ с двумя фронтами: начала и окончания перехода и смешанным фазовым составом между ними. Решение задач теории оболочек с памятью в нелинейной постановке, как правило, рассматривается только на основе дискретизации задачи методом конечных элементов [7]. Известны некоторые попытки аналитического исследования деформирования тонкостенных оболочек с памятью, основанные на линеаризации физических соотношений и предположении о малости деформаций, допускающем использование также и линеаризованных кинематических соотношений канонической теории оболочек [8], при этом даже в линейной постановке задачи возникают дополнительные трудности, связанные с необходимостью обращения физических соотношений при выборе компонентов вектора перемещения в качестве основных неизвестных. Альтернативный подход [9], основанный на постановке задачи в обобщенных усилиях и деформациях, позволяет избежать, по крайней мере, обращения инкрементальных определяющих уравнений. С другой стороны, первым этапом исследования устойчивости оболочек из СПФ является определение докритической деформации, при этом оболочка в большинстве случаев находится в безмоментном напряженном состоянии; разложение решения на безмоментное и краевые эффекты представляется возможным не только в линеаризованных, но и в некоторых нелинейных задачах [10]. Однако безмоментная теория тонких оболочек с памятью также недостаточно разработана [11]. Развивается вариант безмоментной теории оболочек из СПФ [12], основанный на феноменологическом подходе к моделированию термоупругих фазово-структурных переходов [1] (за основу принята нелинейная однократно связная модель [13]) при учете разносопротивляемости СПФ [14]. Безмоментная теория [12] является частным случаем общей теории оболочек с памятью [9]; на основе данного варианта теории получены решения ряда задач для оболочек различной геометрии при неоднородном поле внешнего или внутреннего давления. Показано, что для тонких оболочек эффект разносопротивляемости играет ключевую роль [15]; тем не менее очевидно, что линеаризованная в части кинематических соотношений постановка задачи [12, 14, 15] справедлива только на начальных этапах деформирования при фазово-структурных переходах, так как амплитуда обратимых деформаций изменения формы СПФ может достигать 8–10 % [1, 13]. При этом данный уровень деформации не требует применения точных кинематически нелинейных соотношений теории тонких оболочек [16]. Предложены упрощенные соотношения для безмоментной теории, основанные на предположении о малости углов девиации нормали и медленной изменяемости решения, показано, что приближение тензоров конечной тангенциальной деформации и конечного изменения кривизны [16] тензорами линейных тангенциальных деформаций и изменений кривизн при максимально возможной амплитуде деформаций фазового или структурного перехода не превышает 5 %. Таким образом, частично

линеаризованный вариант безмоментной теории применим в качестве первого грубого приближения для проектировочного расчета различных устройств. В то же время отождествление отсчетной и актуальной конфигураций не представляется возможным, так как погрешность метрического тензора может составлять до 20 %, а тензора кривизны – до 10 % от отсчетных величин. Тем не менее введение несимметрического тензора тангенциальных сил, аналогичного тензору напряжений Пиолы, в позволяет линеаризовать и уравнения статики, что предоставляет возможность аналитического решения, весьма полезную при первичном инженерном расчете.

Работа выполнена в рамках Государственного задания ИПРИМ РАН (регистрационный номер темы 121112200124-1).

Список литературы

1 **Мовчан, А. А.** Материалы с памятью формы как объект механики деформируемого твердого тела: экспериментальные исследования, определяющие соотношения, решение краевых задач / А. А. Мовчан, С. А. Казарина // Физическая мезомеханика. – 2012. – Т.15, № 1. – С. 105–116.

2 **Сильченко, Л. Г.** Устойчивость цилиндрической оболочки из сплава с памятью формы при сжатии и кручении / Л. Г. Сильченко, И. А. Мовчан // Механика композиционных материалов и конструкций. – 2009, Т. 15, № 4. – С. 489–496.

3 Численно-экспериментальное исследование деформирования и устойчивости цилиндрической оболочки ячеистой структуры при осевом сжатии / Д. В. Нуштаев, С. И. Жаворонок, К. Ю. Клышников, Е. А. Овчаренко // Труды МАИ. – 2015. – № 82. – С. 9–20.

4 **Малухина, О. А.** Устойчивость сферических сегментов с эффектом памяти формы / О. А. Малухина, М. А. Хусаинов // Вестник Новгородского государственного университета. – 2013. – Т. 2, № 75. – С. 103–104.

5 **Nushtaev, D.V.** Abnormal Buckling of Thin-Walled Bodies with Shape Memory Effects Under Thermally Induced Phase Transitions / D. V.Nushtaev, S. I. Zhavoronok // Advanced Structured Materials. – 2019. – Vol. 110. – P. 493–524.

6 **Pietraszkiewicz, W.** Extended non-linear relations of elastic shells undergoing phase transitions / W. Pietraszkiewicz, V. A. Eremeyev, V. Konopińska // ZAMM – Zeitschrift für Angewandte Mathematik und Mechanik. – 2007. – Vol. 87, № 2. – P. 150–159.

7 Modeling large deformations of thin-walled SMA structures by shell finite elements / L. Porenta, M. Lavrencic, J. Dujc [et al.] // Communications Nonlinear Science and Numerical Simulation. – 2021. – Vol. 101. – P. 105897.

8 **Бобок, Д. И.** Аналитическое решение задачи о торообразном, эллипсоидальном и сферическом баке под внутренним давлением из сплава с памятью формы / Д. И. Бобок // Механика композиционных материалов и конструкций. – 2021. – Т. 27, № 1. – С. 89–109.

9 **Zhavoronok, S. I.** On the incremental constitutive relations and compatibility equations for thin shape memory shells undergoing non-isothermal phase transitions / S. I. Zhavoronok // Composites: Mechannics, Computations, Applications. – An International Journal. – 2023. – Vol. 14, № 1. – P. 1–27.

10 **Колпак, Е. П.** О краевом эффекте в нелинейной теории тонких оболочек / Е. П. Колпак // Механика полимеров. – 1981. – С. 87–95.

11 **Курбатов, А. С.** Безмоментная теория оболочек с памятью: обзор / А. С. Курбатов, И. А. Исаченко // Механика композиционных материалов и конструкций. – 2026. – Т. 32, № 1. – С. 127–145.

12 **Kurbatov, A. S.** On the theory of shape memory membrane shells undergoing thermoelastic phase transitions / A. S. Kurbatov, S. I. Zhavoronok // Lobachevskii J. of Mathematics. – 2023. – Vol. 44, № 6. – P. 2326–2335.

13 **Мовчан, А. А.** Экспериментальная идентификация модели нелинейного деформирования сплавов с памятью формы при фазовых и структурных превращениях / А. А. Мовчан, С. А. Казарина, А. Л. Сильченко // Деформация и разрушение материалов. – 2018. – № 12. – С. 2–11.

14 **Kurbatov, A. S.** On the strain differential effect in the theory of shape memory membranes / A. S. Kurbatov, S. I. Zhavoronok // E3S Web of Conferences. – 2024. – Vol. 533. – P. 02024.

15 **Курбатов, А. С.** О решении некоторых задач статики безмоментных оболочек с памятью формы при неизотермических фазовых переходах / А. С. Курбатов, И. А. Исаченко, С. И. Жаворонок // Механика композиционных материалов и конструкций. – 2023. – Т. 29, № 3. – С. 402–423.

16 **Галимов, К. З.** К общей теории пластин и оболочек при конечных деформациях / К. З. Галимов // Прикладная математика и механика. – 1951. – Т. 25. – С. 723–742.

УДК 539.3,539.8

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЛНОВЫХ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА В ПОЛОМ ЦИЛИНДРЕ ПРИ ОБЪЕМНОМ НАГРУЖЕНИИ

Д. О. КАЗИМИРОВ
Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация

А. В. ЗЕМСКОВ
НИИ механики МГУ им. М. В. Ломоносова, г. Москва, Российская Федерация

Цилиндрические элементы широко применяются в энергетических установках, авиационной и ракетно-космической технике, а также в химическом оборудовании. Такую форму имеют корпуса

летательных аппаратов, цистерны, топливные баки и другие ответственные элементы конструкций. При их изготовлении и эксплуатации внутреннее энерговыделение, химические реакции, поглощение излучения, диффузионное насыщение и перераспределение примесей могут создавать нестационарные источники тепла и массы непосредственно в объёме материала; одновременно конструкция может испытывать действие массовых сил. Возникающие температурные и концентрационные градиенты вызывают тепловое и диффузионное расширение, изменяют напряжённо-деформированное состояние и могут приводить к локальной концентрации напряжений. Деформация, в свою очередь, влияет на термодинамические движущие силы переноса. В результате механическое, температурное и диффузионные поля образуют единую связанную систему, а их раздельный расчёт требует предварительного обоснования малости соответствующих коэффициентов связи.

Для описания этих процессов рассмотрим полый цилиндр, с внутренним радиусом R_1 и внешним R_2, выполненный из ортотропного многокомпонентного материала. Используемая модель объединяет деформирование, теплоперенос и перенос N компонентов без учета перекрёстных диффузионных эффектов. При осевой симметрии искомыми функциями являются радиальное перемещение $u(r, \tau)$, приращение температуры $\vartheta(r,\tau)$ и приращения концентраций $\eta_q(r,\tau)$, $q=\overline{1,N}$ Штрихом далее обозначается производная по радиальной координате r. На основе общих соотношений связанной термомеханодиффузии [1–3] получаем систему

$$\frac{\partial^2 u}{\partial \tau^2} = \left(u'' + \frac{u'}{r} - \frac{u}{r^2}\right) - b\vartheta' - \sum_{p=1}^{N} \alpha_p \eta_p' + F_1,$$

$$F_0 \left\{ \frac{\partial}{\partial \tau}\left[\vartheta + B\left(u' + \frac{u}{r}\right) + \sum_{p=1}^{N} \beta_p \eta_p \right] \right\} = \kappa\left(\vartheta'' + \frac{\vartheta'}{r}\right) + F_2, \tag{1}$$

$$F_q \left\{ \frac{\partial \eta_q}{\partial \tau} \right\} = -\Lambda_q\left(u''' + \frac{2u''}{r} - \frac{u'}{r^2} + \frac{u}{r^3}\right) - M_q\left(\vartheta'' + \frac{\vartheta'}{r}\right) + D_q\left(\eta_q'' + \frac{\eta_q'}{r}\right) + F_{q+2}, \qquad q=\overline{1,N}.$$

$$u\big|_{\tau=0} = 0, \quad \frac{\partial u}{\partial \tau}\Big|_{\tau=0} = 0, \quad \frac{\partial^k \vartheta}{\partial \tau^k}\Big|_{\tau=0} = 0, \quad \frac{\partial^m \eta_q}{\partial \tau^m}\Big|_{\tau=0} = 0, \quad \left(k=\overline{0,K}, \quad m=\overline{0,M}\right). \tag{2}$$

$$u\big|_{r=r_i} = 0, \quad \vartheta'\big|_{r=r_i} = 0, \quad \left[\Lambda_q\left(u'' + \frac{u'}{r} - \frac{u}{r^2}\right) + M_q\vartheta' - D_q\eta_q'\right]\Big|_{r=r_i} = 0. \tag{3}$$

Все входящие в систему величины являются безразмерными. Их связь с размерными аналогами определяется с помощью следующих соотношений (размерные величины стоят справа):

$$r = \frac{r^*}{R_2}, \ \tau = \frac{ct}{R_2}, \ u = \frac{u_r}{R_2}, \ \vartheta = \frac{\vartheta^*}{T_0}, \ \eta_q = \eta^{(q)}, \ r_i = \frac{R_i}{R_2}, \ c^2 = \frac{c_{11}}{\rho}, \ b = \frac{b_1 T_0}{c_{11}}, \ \alpha_q = \frac{\alpha_1^{(q)}}{c_{11}},$$

$$\kappa = \frac{\kappa_1}{\rho c_0 R_2 c}, \ B = \frac{b_1}{\rho c_0}, \ \beta_q = \frac{R}{c_0 m^{(q)}} \ln\left(n_0^{(q)}\gamma^{(q)}\right), \ \tau_0 = \frac{c}{R_2}\tau_\vartheta, \ \tau_q = \frac{c}{R_2}\tau_\eta^{(q)}, \ \Lambda_q = \frac{m^{(q)} n_0^{(q)} D_1^{(q)} \alpha_1^{(q)}}{\rho c R_2 R T_0},$$

$$D_q = \frac{D_1^{(q)}}{cR_2}, \ M_q = \frac{n_0^{(q)} D_1^{(q)}}{cR_2} \ln(n_0^{(q)}\gamma^{(q)}), \ F_1 = \frac{R_2}{c^2} F_r, \ F_2 = \frac{R_2}{\rho c_0 c T_0} F_0\left\{q^{(Q)}\right\}, \ F_{q+2} = \frac{R_2}{c} F_q\left\{F^{(q)}\right\},$$

Здесь u_r – радиальное перемещение; r^* – радиальная координата; ϑ – отклонение температуры от начального значения, $\vartheta^* = T - T_0$; $\eta_q = n^{(q)} - n_0^{(q)}$ – изменение концентрации q-го компонента. Через ρ, c_0, R и $m^{(q)}$ обозначены плотность, удельная теплоёмкость, универсальная газовая постоянная и молярная масса соответственно. Времена релаксации теплового и q-го диффузионного потоков равны τ_ϑ и $\tau_\eta^{(q)}$. Материальные параметры c_{ij}, b_1, κ_1, $D_1^{(q)}$ и $\alpha_1^{(q)}$ характеризуют упругость, температурное расширение, теплопроводность, диффузию и деформационно-диффузионную связь, а $\gamma^{(q)}$ является коэффициентом активности. Функции F_r, $q^{(Q)}$ и $F^{(q)}$ описывают радиальную массовую силу, объёмную мощность тепловыделения и источник массы q-го компонента соответственно.

Дифференциальные операторы в безразмерной форме записываются следующим образом:

$$F_0 = \sum_{k=0}^{K} \frac{\tau_0^k}{k!} \frac{\partial^k}{\partial \tau^k}, \qquad F_q = \sum_{m=0}^{M} \frac{\tau_q^m}{m!} \frac{\partial^m}{\partial \tau^m}.$$

Начальные условия (2) соответствуют невозмущённому состоянию цилиндра в начальный момент времени. На обеих границах радиальное перемещение равно нулю, тепловой поток отсутствует, а условие для каждой концентрации выражает непроницаемость поверхности.

Для каждого типа объёмного возмущения введём фундаментальный отклик на единичный импульс, локализованный по радиусу и времени. В силу линейности полная реакция на произвольную систему источников получается их суперпозицией:

$$\begin{Bmatrix} u(r,\tau) \\ \vartheta(r,\tau) \\ \eta_q(r,\tau) \end{Bmatrix} = \sum_{j=1}^{N+2} \int_0^{\tau} \int_{r_1}^{r_2} \begin{Bmatrix} G_{1j}(r,\xi,\tau-\zeta) \\ G_{2j}(r,\xi,\tau-\zeta) \\ G_{q+2,j}(r,\xi,\tau-\zeta) \end{Bmatrix} F_j(\xi,\zeta) d\xi d\zeta,$$

где $G_{ij}(r,\xi,\tau)$ – объемные функции Грина. После преобразования Лапласа по времени задача для ядер становится радиальной краевой задачей с однородными условиями (3). Полученная система решается посредством разложения в ряд Фурье по собственным функциям. Использование свойств ортогональности этих функций позволяет перейти к системе линейных алгебраических уравнений относительно коэффициентов разложения. Найденные в пространстве изображений решения обращаются с помощью теоремы о вычетах и таблиц операционного исчисления.

Полученное решение позволяет исследовать полый цилиндр на различные объёмные механические, тепловые и диффузионные возмущения. Свойства материала и геометрия цилиндра учитываются функциями Грина, а распределение нагрузки задаётся функциями F_j. После вычисления матрицы Грина можно изменять вид и длительность источников без повторного решения начально-краевой задачи. Полученные результаты также могут использоваться для проверки численных методов.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках Государственного задания МАИ (шифр FSFF-2026-0012).

Список литературы

1 **Зверев, Н. А.** Постановка одномерной нестационарной задачи термомеханодиффузии для цилиндрических тел с учетом релаксации диффузионных и тепловых процессов / Н. А. Зверев, А. В. Земсков // Инновационное развитие транспортного и строительного комплексов : материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 70-летию БелИИЖТа – БелГУТа (Гомель, 16–17 ноября 2023 г.) : в 2 ч. Ч. 2 / М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Бел. ж. д., Белорус. гос. ун-т трансп. ; под общ. ред. Ю. И. Кулаженко. – Гомель : БелГУТ, 2023. – С. 88–90.

2 **Зверев, Н. А.** Моделирование механодиффузионных процессов в полом цилиндре, находящемся под действием нестационарных объемных возмущений / Н. А. Зверев, А. В. Земсков, В. М. Яганов // Чебышевский сборник. – 2024. – Т. 25, вып. 2. – С. 296–317. – DOI : 10.22405/2226-8383-2024-25-2-296-317.

3 **Земсков, А. В.** Моделирование механодиффузионных процессов в многокомпонентных телах с плоскими границами / А. В. Земсков, Д. В. Тарлаковский. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2021. – 288 с.

УДК 004.942;536.2;539.3

ОЦЕНКА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ В ТРУБОПРОВОДЕ В УСЛОВИЯХ ПЕРЕПАДА ТЕМПЕРАТУР С ВНЕШНЕЙ СРЕДОЙ

И. Н. КАРПОВИЧ, М. А. НИКОЛАЙЧИК
Белорусский государственный университет. г. Минск

Элементы оборудования, работающие под высоким давлением и подверженные интенсивным тепловым нагрузкам, играют ключевую роль в различных отраслях промышленности [1, 2]. Обеспечение их надежности осложняется возникновением существенных термических напряжений. Совместное воздействие этих напряжений и рабочего давления нередко становится причиной накопления деформаций и последующего усталостного разрушения металла [3, 4]. Таким образом, задача определения напряженно-деформированного состояния (НДС) толстостенных конструкций с учетом

влияния температурных эффектов является критически важной для обеспечения техногенной безопасности и представляет значительный интерес. Однако для точной оценки НДС необходимо провести корректную оценку распределения температурного поля.

Рассматривается ламинарное течение в изотропном полом цилиндре кольцевого сечения (рисунок 1). Внутренний радиус цилиндра составляет r_a, наружный радиус равен r_b, а полная длина трубы задается величиной L. Физико-механические и теплофизические свойства материала стенки описываются константами теплопроводности металла k_m, коэффициентом линейного температурного расширения α_m и начальной опорной температуры T_{init}. Во внутренний канал трубы со средней скоростью v_f поступает нагретая жидкость с заданной начальной температурой T_{fluid}. Жидкость характеризуется плотностью ρ_f, динамической вязкостью μ_f, теплоемкостью C_p и теплопроводностью k_f. На наружной поверхности цилиндра ($r = r_b$) происходит конвективный теплообмен с окружающей средой, имеющей температуру T_{amb}, при постоянном коэффициенте теплоотдачи h_{out}.

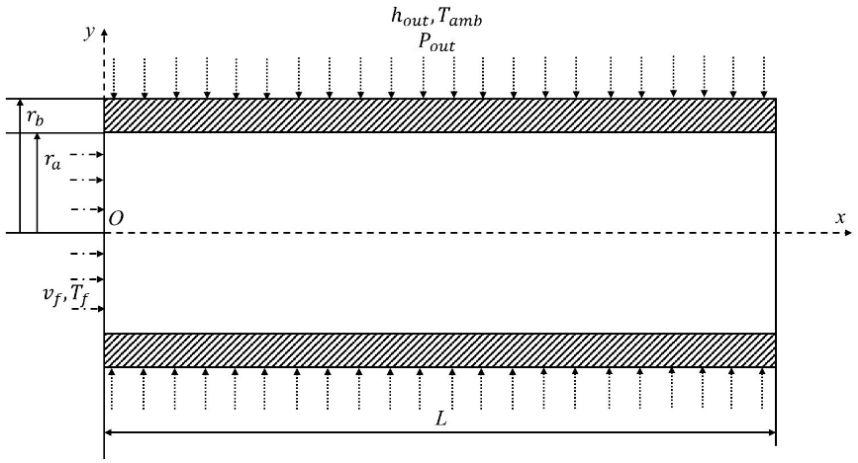


Рисунок 1 – Схема рассматриваемой задачи

Для решения подобных задач применяются аналитические и численные методы. Аналитические решения дают непрерывные зависимости и служат для проверки численных алгоритмов. В настоящей работе используется метод конечных разностей (МКР), реализованный на основе одномерной дискретизации по радиусу и интегрирования вдоль оси трубы. Также данная задача решалась и методом конечных объемов (МКО). Таким образом, одной из целей работы является сопоставление результатов аналитического и численных подходов для оценки их точности и верификации.

Построены решения тремя описанными выше способами, по ним найдено поле температур. Результаты показаны на рисунке 2.

а)

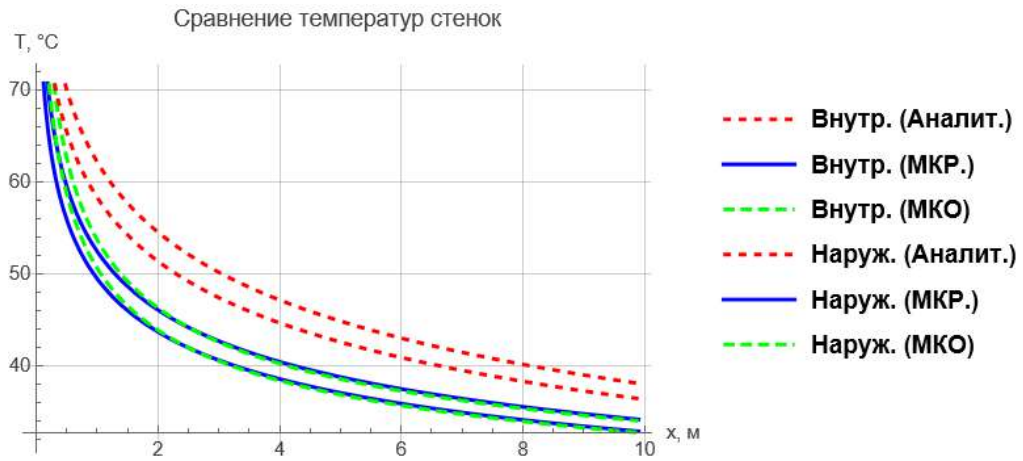


Рисунок 2 (начало) – Сравнение температурных полей в зависимости от заданных условий на стенках (*а*) и по всех поверхности (*б*) трубы

б)

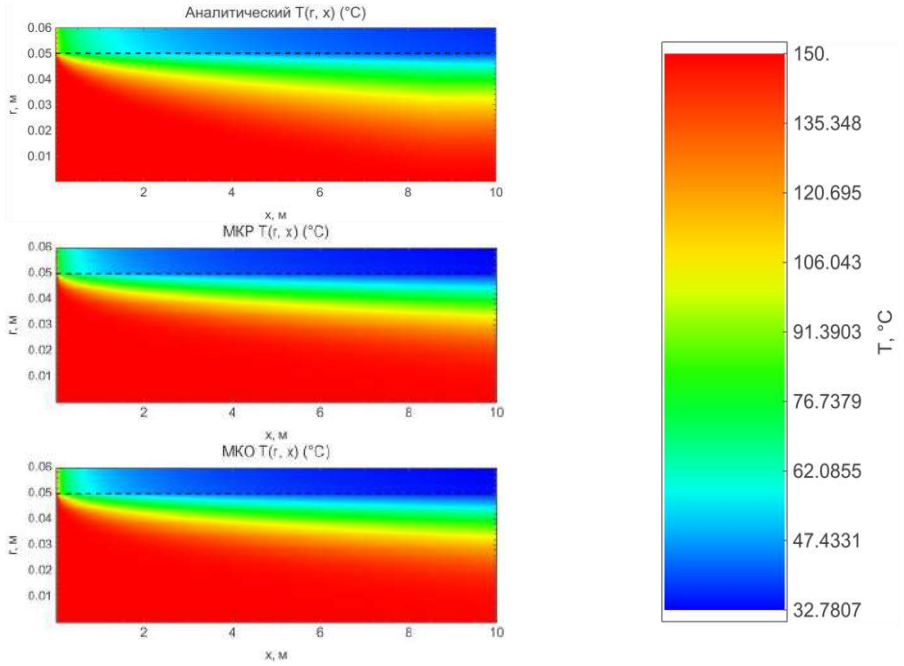


Рисунок 2 (окончание) – Сравнение температурных полей в зависимости от заданных условий на стенках (*а*) и по всех поверхности (*б*) трубы

В рамках исследования выполнено моделирование температурного поля в трубе при течении жидкости с учетом разности температур с внешней средой. Задача решена тремя методами: аналитическим, МКР и МКО. Сравнение полученных распределений температуры показало хорошее согласование результатов всех трёх методов, что подтверждает корректность полученных решений с использованием аналитических и численных подходов.

Список литературы

1 **Nikolaitchik, M.** Numerical modelling of evaporative cooling and phase transitions in a chemical reactor / M. Nikolaitchik, I. Karpovich, M. Zhuravkov // International Communications in Heat and Mass Transfer. – 2026. – Vol. 178, pt. 2. – Art. 111733. – DOI: https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2026.111733.

2 **Zhuravkov, M. A.** Modeling Dynamic Behavior of Elevator and Counterweight in Airflow in Ventilation Mine Shaft / M. A. Zhuravkov, M. A. Nikolaichik, I. N. Karpovich // Journal of Mining Science. – 2025. – Vol. 61, № 1. – P. 109–118.

3 **Hetnarski, R. B.** Thermal stresses – advanced theory and applications / R. B. Hetnarski, M. R. Eslami. – Dordrecht : Springer Netherlands, 2009. – 560 p.

4 **Zhuravkov, M. A.** Mechanics of continua. Theory of elasticity and plasticity / M. A. Zhuravkov, E. I. Starovoitov. – Minsk : BSU, 2011. – 543 p.

УДК 539.3

ВЛИЯНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДВУХСЛОЙНЫХ ОРТОТРОПНЫХ ТРУБ НА ПАРАМЕТРЫ ГИДРОУДАРА

С. В. КИРГИНЦЕВА, В. В. МОЖАРОВСКИЙ
Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины, Республика Беларусь

В настоящее время всё чаще используется новая технология восстановления работоспособности трубопроводов CIPP («Cured-in-place pipe»), которая заключается во вставке специального «чулка» из синтетического войлока (или композита), который пропитан композитным материалом. Далее «чулок» из композита твердеет и, внутри старого трубопровода формируется новая труба. При эксплуатации таких трубопроводов для транспортировки любой жидкости или её прокачки насосом возникает явление гидроудара, что может привести к разрушению покрытия из композита. Правильный выбор геометрических и физических параметров таких покрытий, а также расчет параметров гидроудара является актуальной задачей.

Предельно возможное значение напора при гидравлическом ударе (прямой удар) можно легко определять с помощью формул, предложенных российским ученым Н. Е. Жуковским [1]:

$$\Delta P = \pm \rho C V_0 \text{ или } \Delta H = \pm C V_0 / g,$$

где ΔP – ударное повышение давления; ρ – плотность перекачиваемой жидкости; C – скорость ударной волны; g – ускорение свободного падения, g = 9,82 м/с^2; H – пьезометрический напор; V_0 – скорость жидкости в трубе, $V_0 = 4Q/(\pi D^2)$; Q – расход жидкости; D – внутренний диаметр трубы.

Скорость ударной волны в однородных изотропных трубах определяется соотношением

$$C = 1/\sqrt{\frac{\rho}{K} + \rho \cdot \frac{D}{E\delta}},$$

где K – модуль объемной упругости жидкости; E – модуль упругости материала трубы; D – диаметр трубопровода; δ – толщина стенки трубопровода.

В работе [2] предложены формулы, определяющие скорость волны при гидроударе для различных комбинаций слоистых упругих ортотропных (трансверсально-изотропных) свойств трубы и футеровки. Зависимость, определяющая скорость волны в изотропных трубах с ортотропным покрытием [2]

$$C = \sqrt{\frac{K/\rho}{1 + K\Omega}},$$

$$\Omega = \frac{2}{\alpha}\left[-1 + \left(\frac{-\beta}{\alpha} + 1\right)\left(\frac{r_a}{r_b}\right)^{-2k_1} \frac{\left[\alpha\left(1-\left(r_c/r_b\right)^{-2} g/\gamma\right) - g\left(1-\left(r_c/r_b\right)^{-2}\right)\right]}{\beta\left(1-\left(r_a/r_b\right)^{-2k_1}\right)\left(1-\left(r_c/r_b\right)^{-2} g/\gamma\right) - g\left(1-\left(r_c/r_b\right)^{-2}\right)\left(1-\left(r_a/r_b\right)^{-2k_1}\beta/\alpha\right)}\right],$$

$\beta = A_{12}^{(1)} - k_1 A_{11}^{(1)}$; $\alpha = A_{11}^{(1)} k_1 + A_{12}^{(1)}$; $\gamma = E/(1-\nu)$; $g = -E/(1+\nu)$, где E и ν – характеристики изотропной трубы; k_1 – коэффициент для покрытия; $A_{11} = \frac{E_r}{1-\nu_{r\theta}\nu_{\theta r}}$, $A_{12} = \nu_{r\theta}\frac{E_\theta}{1-\nu_{r\theta}\nu_{\theta r}}$, $A_{22} = \frac{E_\theta}{1-\nu_{r\theta}\nu_{\theta r}}$;

r_a, r_c – внутренний и внешний радиусы; r_b – межслойный радиус для двуслойной трубы.

Механические свойства (модули упругости материала трубы E_θ, E_r и коэффициенты Пуассона $\nu_{\theta r}$, $\nu_{r\theta}$ представлены в случае плоского напряженного состояния в цилиндрической системе координат θrz и определяются по правилу «смесей» с объемным содержанием V волокна (индекс f) в матрице (индекс m) волокнистых материалов при различных способах расположения волокон.

Разработан алгоритм и написана программа в среде Delphi расчета скорости волны и максимального напора при движении жидкости в слоистых трубах.

Пример расчета. Рассматривается стальная труба толщиной h_2 = 6 мм (модуль упругости E = 210 ГПа, коэффициент Пуассона ν = 0,3) с внутренним покрытием из стеклопластика толщиной h_1 = 3 мм (модуль упругости волокна E_f = 71 ГПа; модуль упругости матрицы E_m = 3,5 ГПа; коэффициент Пуассона волокна ν_f = 0,22; коэффициент Пуассона матрицы ν_m = 0,38). Внутренний радиус r_a = 147 мм, средний радиус r_b = 150 мм, внешний радиус r_c = 156 мм. Длина трубы L = 2500 м, разделена на 5 секций; задаются условия H_0 = 49,95 м; Q_0 = 0,1 м^3/с; коэффициент трения f = 0,018; $T_{\max}$ = 50 с; время закрытия задвижки t_c = 0 с; безразмерное время закрытия задвижки определяется по формуле $\tau = (1 - t/t_c)^s$. Влияние расположения и процентного содержания волокон V, %, плотности жидкости ρ на скорость волны C и максимальный напор $H_{\max}$, м, показаны в таблице 1. На рисунке 1 представлено влияние модулей упругости E_m / E_f на скорость волны C, м/с, при гидроударе (V = 25 %, ρ = 1000 кг/м^3).

Таблица 1 – **Изменение максимального напора H_{max} и скорости волны C в зависимости от расположения и процентного содержания волокон V, плотности жидкости ρ**

Расположение волокон	V, %	ρ, кг/м^3	C, м/с	H_{max}, м		
				Формула Жуковского	Расчет Excel	Метод характеристик
Перпендикулярно	25	1000	1180,9	111,2	112,4	111,0
		800	1320,2	118,5	119,6	118,2
	35	1000	1184,3	111,4	112,6	111,2
		800	1324,1	118,7	119,8	118,4
Радиально	25	1000	1183,3	111,3	112,5	111,1
		800	1323,0	118,6	119,8	118,4
	35	1000	1184,2	111,4	112,6	111,2
		800	1324,0	118,7	119,8	118,4
Параллельно	25	1000	1190,1	111,7	112,9	111,5
		800	1330,5	119,0	120,2	118,8
	35	1000	1193,7	111,9	113,1	111,7
		800	1334,6	119,2	120,4	119,0

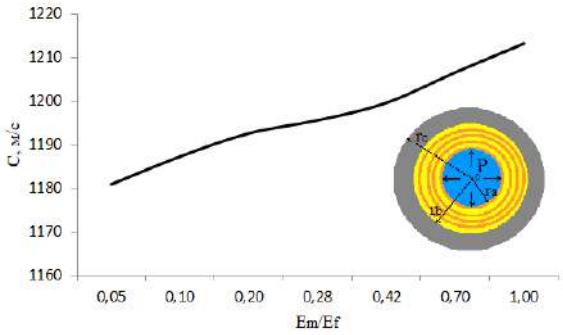


Рисунок 1 – График зависимости скорости волны C от отношения модулей упругости E_m / E_f

Результаты вычислений показывают необходимость учета влияния параметров гидроудара в слоистых трубах при расчетах в случае транспортировки жидкостей в трубопроводах.

Список литературы

1 **Жуковский, Н. Е.** О гидравлическом ударе в водопроводных трубах / Н. Е. Жуковский. – М. : Гостехтеоретлитиздат, 1949. – 104 с.

2 **Можаровский, В. В.** Скорость волны при гидроударе и напряженно-деформированное состояние слоистых футерованных труб из ортотропных материалов / В. В. Можаровский, С. В. Киргинцева // Проблемы физики, математики и техники. – 2022. – № 2 (51). – С. 44–51.

УДК 531.383

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАЗНЫХ СИСТЕМ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ В ЗАДАЧЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТРУБЫ КОЛЬЦЕВОГО ПРОФИЛЯ С ТОНКИМИ ВНЕШНИМИ ШПАНГОУТАМИ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ДАВЛЕНИЯ

Д. В. КОНДРАТОВ
Институт проблем точной механики и управления
Российской академии наук (ИПТМУ РАН), г. Саратов
Саратовский национальный исследовательский государственный университет
им. Н. Г. Чернышевского, Российская Федерация
Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю. А., Российская Федерация

И. В. ПЛАКСИНА, Ю. Н. КОНДРАТОВА
Саратовский национальный исследовательский государственный университет
им. Н. Г. Чернышевского, Российская Федерация

В современном транспорте активно применяются различные конструкции, взаимодействующие с вязкой несжимаемой жидкостью. При помощи таких конструкций активно изучается проблема

конструкционной прочности механических систем, взаимодействующих с вязкой жидкостью при вибрационных нагрузках [1, 2]. Однако такие задачи достаточно трудоемки по вычислениям, поэтому важно применять параллельные вычисления.

Сложность и время параллельных вычислений во многом зависят от типа вычислительной системы, на которой осуществляются вычисления. Выделяют три типа систем.

1 Системы с общей памятью (Shared Memory): SMP (Symmetric Multiprocessing) – симметричные мультипроцессоры, где все процессоры равноправно обращаются к общей памяти; NUMA (Non-Uniform Memory Access) – память физически распределена, но логически едина, при этом время доступа зависит от расположения данных относительно процессора.

2 Системы с распределенной памятью: кластеры и MPP (Massively Parallel Processing). Узлы имеют собственную память и обмениваются данными через сеть. Параллелизм реализуется через передачу сообщений (MPI и аналоги).

3 Гибридные системы: сочетают общую и распределенную память, например, кластер из NUMA-узлов, каждый из которых содержит многоядерные CPU и GPU.

Каждый из этих типов имеет свои достоинства и недостатки. С помощью уже решенной задачи моделирования трубы кольцевого профиля с тонкими внешними шпангоутами при воздействии давления проведем сравнение вычислений на системе с общей памятью и системе с распределенной памятью. Исследования с гибридной системой не производились, т. к. она недоступна для авторов.

На рисунке 1 представлена механическая система [3].

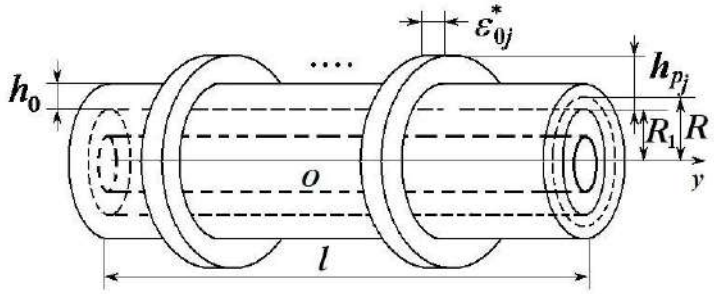


Рисунок 1 – Механическая модель

Рассматривается ламинарное течение вязкой несжимаемой жидкости в круглой трубе кольцевого сечения, образованного поверхностями соосных цилиндрических оболочек, причем внешняя оболочка является упругой геометрически нерегулярной, а внутренняя оболочка является геометрически регулярной. Движение происходит под действием переменного по времени перепада давления. Перемещение внутренней оболочки относительно внешней на торцах отсутствует. Механическая система считается термостабилизированной. Внешняя поверхность внешней оболочки является геометрически нерегулярной и имеет n ребер жесткости ступенчато изменяющейся высоты. Которые будут описываться с помощь разности функций Хэвисайда. Ребра представляют собой внешние шпангоуты. Будем считать ребра жесткости бесконечно тонкими. Геометрически нерегулярная оболочка на торцах имеет свободное опирание. Решается задача определения АЧХ внешней оболочки Внешняя поверхность внешней оболочки является геометрически нерегулярной и имеет n ребер жесткости ступенчато изменяющейся высоты. Ребра представляют собой внешние шпангоуты. Высота j-го ребра равна h_{pj}, будем считать ребра жесткости бесконечно тонкими. Геометрически нерегулярная оболочка на торцах имеет свободное опирание. Математическая модель состоит из связанной системы уравнений динамики оболочек, уравнений динамики вязкой несжимаемой жидкости и соответствующих граничных условий.

Процесс параллельных вычислений будем осуществлять в символьном виде на разных системах. Символьные вычисления требуют значительного объема оперативной памяти, т. к. все выражения хранятся в ней в развернутом виде, в противном случае при получении ответа приходится потратить отдельное время на дополнительную свертку выражений. Однако при разных подходах к распараллеливанию может дать выигрыш каждая из вычислительных систем.

Проведенные эксперименты показали, что для системы с общей памятью большое число шпангоутов увеличивает объем потребляемой оперативной памяти и может привести к ситуации, когда объем оперативной памяти закончится. Однако за счет того, что решается связанная задача и всё

хранится «в одной памяти», расчеты происходили достаточно быстро. Проблемы «гонки данных» для этой задачи не наблюдалось. Теоретическая оценка для задачи гидроупругости для системы с общей памятью по закону Густафсона – Барсиса [4] составила 2,4, т. е. при последовательной программе скорость выполнения была бы в 2,4 раза по времени больше. Для системы с распределенной памятью проблемы с нехваткой оперативной памяти практически отсутствуют, т. к. грамотное разделение по узлам решило проблему нехватки памяти, но увеличились накладные расходы за счет пересылки информации между узлами. Теоретическая оценка для задачи гидроупругости системы с распределенной памятью по закону Густафсона – Барсиса составила 2,3. Хотя теоретические оценки для системы с общей и с распределенной памятью достаточно близки. Практическая оценка времени показала, что небольшой теоретический выигрыш системы с распределенной памятью полностью компенсируется накладными расходами и система с общей памятью работает значительно быстрее. При небольшом числе шпангоутов (обычно рассматривают относительно небольшую длину и число шпангоутов от 1 до 3) системы с общей и с распределенной памятью показывают близкий экспериментальный результат с расхождением около 2 % по времени. Предложенный метод для решения задачи гидроупругости с использованием параллельных вычислений, автоматизирующий его проблемно-ориентированный комплекс, может быть основой для других научных исследований в области гидроупругости.

Список литературы

1 **Кондратов, Д. В.** Математическое моделирование ламинарного движения жидкости в упругой цилиндрической трубе кольцевого профиля со свободным опиранием по торцам / Д. В. Кондратов, Ю. Н. Кондратова, Л. И. Могилевич // Вестник Саратовского государственного технического университета. – 2009. – Т. 1, № 1 (37). – С. 33–40.

2 **Вельмисов, П. А.** Математическое моделирование в задачах динамики виброударных и аэроупругих систем / П. А. Вельмисов, В. К. Манжосов. – Ульяновск : УлГТУ, 2014. – 204 с.

3 Задачи гидроупругости для трубы кольцевого сечения с упругой, геометрически нерегулярной внешней оболочкой при воздействии давления / Д. В. Кондратов, В. С. Попов, И. В. Плаксина, Ю. Н. Кондратова // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Математика. Механика. Информатика. – 2013. – Т. 13, Вып. 3. – С. 70–76. – DOI: 10.18500/1816-9791-2013-13-3-70-76.

4 **Романский, С. О.** Высокопроизводительные вычисления : учеб. пособие / С. О. Романский. – Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2019. – 104 с.

УДК 622.45

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ СЕТЕЙ КАЛИЙНЫХ РУДНИКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ХАРДИ – КРОССА

К. С. КОРОЛЁНОК, М. А. НИКОЛАЙЧИК, М. А. ЖУРАВКОВ
Белорусский государственный университет, г. Минск

Для калийных рудников современных горнодобывающих предприятий система проветривания – один из ключевых факторов обеспечения производственной безопасности. Вентиляционная сеть рудников имеет сложную структуру, большое число узлов и динамически меняется в процессе отработки запасов полезного ископаемого. В силу сложности и многофакторности рассматриваемой системы расчёт параметров воздуха в таких условиях требует применения численных методов [1, 2].

В настоящей статье рассматривается применение метода Харди – Кросса для расчёта вентиляционных сетей калийных рудников. Обсуждаются вопросы сходимости, выбора начального приближения и учёта специфических факторов, характерных для глубоких горизонтов.

Вентиляционная сеть рудника представляется в виде ориентированного графа. Вершины графа – узлы соединения горных выработок; рёбра – сами выработки. Каждая ветвь характеризуется аэродинамическим сопротивлением. Для турбулентного режима движения воздуха, характерного для рудничных условий, справедлив квадратичный закон сопротивления:

$$h = RQ^2,$$

где h – депрессия (потери давления) на ветви; R – аэродинамическое сопротивление; Q – расход воздуха. Величина R определяется геометрическими параметрами выработки и коэффициентом аэродинамического сопротивления.

Часть ветвей в модели содержит вентиляторы, депрессия которых описывается нелинейной зависимостью от расхода. Для рудников глубиной свыше 400 м в баланс давлений необходимо включать естественную тягу, возникающую вследствие разности плотностей воздуха в вертикальных выработках. Вклад этого фактора сопоставим с напором отдельных вентиляторов и потому не может игнорироваться. Величина естественной тяги рассчитывается по данным о температуре и высотах узлов сети:

$$H_{nat} = g\sum_{i\in C_k} h_i\left(\rho_{in,i} - \rho_{out,i}\right),$$

где g – ускорение свободного падения; h_i – высота (разность отметок) i-й ветви; $\rho_{in,i}$, $\rho_{out,i}$ – плотность воздуха на входе и на выходе i-й ветви соответственно.

Задача сводится к определению расходов воздуха во всех ветвях, удовлетворяющих системе уравнений, включающей баланс расходов в узлах (первый закон Кирхгофа) и баланс давлений в независимых контурах (второй закон Кирхгофа):

$$\begin{cases} \sum_{j\in\omega_i} Q_j = 0, \\ \sum_{j\in\Gamma_k} R_j Q_j^2 - H_{fan,k}(Q) = 0. \end{cases}$$

Первое уравнение системы выражает условие неразрывности потока в каждом узле. Второе – представляет собой баланс давлений в независимых контурах, при этом депрессия вентилятора $H_{fan,k}(Q)$ (если он присутствует) учитывается с отрицательным знаком. Таким образом, решение задачи сводится к нахождению неизвестных расходов Q_j путем решения системы нелинейных уравнений.

Для решения системы применяется итерационный метод Харди – Кросса, суть которого состоит в последовательной корректировке расходов по каждому независимому контуру. Опишем алгоритм подробнее по каждому этапу. На первом шаге устанавливаются начальные приближения расходов $Q_i^{(0)}$ для всех ветвей сети. На втором шаге для каждого независимого контура вычисляется невязка:

$$\Delta_k = \sum_{j\in\Gamma_k} R_j Q_j^2 - H_{fan,k}(Q).$$

На третьем этапе рассчитывается поправочный расход

$$\delta Q_k = \frac{\Delta_k}{\sum_{j\in\Gamma k} 2R_j Q_j}.$$

На четвертом этапе происходит корректировка расходов: для ветвей, совпадающих с направлением обхода, расход увеличивается на δQ_k; для противоположно направленных – уменьшается. На пятом этапе проверяется сходимость: если максимальная невязка меньше заданного порога ε, процесс завершается, в противном случае выполняется возврат ко второму этапу.

Корректное задание аэродинамического сопротивления горных выработок является ключевым элементом для достоверного расчёта вентиляции калийных рудников. Коэффициент аэродинамического сопротивления зависит от типа крепления, степени шероховатости стенок (сопротивление трения), загроможденности горных выработок и наличия в них вспомогательных конструкций (лобовые сопротивления). Значения этого коэффициента определяются по проектным и справочным данным, а также по данным проведенных экспериментальных исследований. Выбор применяемого способа определения R зависит от этапа развития работ на руднике. На этапе проектирования используются проектные и справочные данные, в период эксплуатации проводятся экспериментальные исследования в рудничной вентиляционной сети.

Более значимым источником ошибки являются утечки воздуха. По оценкам специалистов, в калийных рудниках через перемычки и выработанное пространство теряется от 20 до 30 % общего расхода воздуха. Игнорирование этого фактора приводит к систематическому завышению фактических расходов в забоях. Для учёта утечек воздуха в предложенной модели используется метод введения эквивалентных параллельных ветвей. Для каждого участка выработки, подверженного утечкам, в расчётную схему добавляется дополнительная ветвь с аэродинамическим сопротивлением $R_{ут}$ Эта ветвь соединяет те же узлы, что и основная выработка. Через дополнительную ветвь проходит

поток утечки $Q_{ут}$, определяемый на основе решения общей системы уравнений Кирхгофа. Сопротивление $R_{ут}$ определяется на основе данных натурных аэрологических замеров или справочных значений для типовых изоляционных конструкций. Суммарный расход воздуха в узле распределяется между основной ветвью и ветвью утечки согласно их сопротивлениям, что физически соответствует реальной картине перетекания воздуха через неплотности. Данный подход позволяет сохранить стандартную структуру уравнений метода Харди – Кросса и не требует модификации итерационного алгоритма. Для его реализации достаточно расширить топологию графа расчетной сети.

Как уже говорилось выше, схема вентиляционной сети рудника динамична, поскольку по мере отработки одни участки закрываются, другие вскрываются. Для минимизации необходимости полной перестройки модели при каждом изменении применяется модульный подход. Сеть собирается из типовых элементов, каждый из которых описывается отдельным набором параметров. Корректировка конфигурации осуществляется путем добавления или удаления необходимых элементов.

В исследовании рассмотрено применение метода Харди – Кросса для расчёта вентиляционных сетей калийных рудников. Предложенный подход учитывает особенности глубоких рудников: изменчивость сети, утечки воздуха, нелинейность характеристик вентиляторов, естественную тягу. Разрабатываемый алгоритм ориентирован на использование в системах оперативного управления и проектирования. Дальнейшие исследования будут направлены на программную реализацию, расширение тестовых схем и интеграцию с компьютерными системами сопровождения горных работ.

Список литературы

1 **Круглов, Ю. В.** Методы совершенствования современных алгоритмов расчета стационарного воздухораспределения в вентиляционных сетях / Ю. В. Круглов // Стратегия и процессы освоения георесурсов : материалы ежегодной науч. сессии Горного института УрО РАН по результатам НИР в 2006 г., Пермь, 16–20 апр. 2007 г. – Пермь : Горный ин-т Уральского отделения Рос. акад. наук, 2007. – С. 121–124.

2 **Казаков, Б. П.** Теория и практика прогнозирования, профилактики и борьбы с аварийными нарушениями проветривания рудников / Б. П. Казаков, Л. Ю. Левин, А. В. Шалимов. – М. : Недра, 2016. – 243 с.

УДК 536.2.001.57:539.377

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ И ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛАХ ПРИ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Е. Л. КУЗНЕЦОВА, У. С. ГЛУМОВА
Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация

Данная научная работа посвящена математическому моделированию теплофизических и термомеханических процессов в теплозащитных композиционных материалах (ТКМ) при высоких температурах, а также физико-математическому обоснованию нового способа отвода тепловой энергии от теплонагруженных элементов конструкций высокоскоростных летательных аппаратов (ВЛА). Актуальность исследования обусловлена тем, что обеспечение безопасного функционирования силовой (металлической) конструкции ВЛА в условиях аэродинамического нагрева требует эффективных и точных методов расчёта температурных полей и тепловых потоков в анизотропных композиционных материалах, подвергающихся физико-химическим превращениям. Традиционные подходы к тепловому проектированию тепловой защиты зачастую связаны со значительными затратами, в то время как предлагаемый способ отвода тепловой энергии основан исключительно на подборе характеристик тензора теплопроводности анизотропного ТКМ, что делает его незатратным и эффективным решением.

Основной целью является разработка математических моделей анизотропной теплопроводности с анизотропией общего вида и граничными условиями первого, второго и третьего родов, включая сложный конвективно-кондуктивный и лучистый теплообмен, а также получение новых аналитических решений линейных и нелинейных задач теплопроводности в ТКМ. В рамках исследования рассматриваются задачи теплопереноса в анизотропных ТКМ с учётом граничных условий по температурам, тепловым потокам и теплообмену с окружающей средой, а также нелинейная задача

теплопроводности в анизотропном полупространстве, компоненты тензора теплопроводности которого зависят от температуры.

Методологическая основа работы базируется на аналитических методах решения задач анизотропной теплопроводности, включая метод функций источника (Грина), преобразования Фурье и Лапласа, а также метод автомодельных переменных для нелинейных задач. Для нелинейной задачи теплопроводности в анизотропном полупространстве новое аналитическое решение будет получено введением цепочки автомодельных переменных, что позволит исследовать волновой характер распространения теплоты за счёт нелинейности. Кроме того, планируется модификация ранее разработанного экономичного абсолютно устойчивого метода расщепления с экстраполяцией по времени для численного решения задач анизотропной теплопроводности с учётом различных видов нелинейности, а также разработка нового экономичного абсолютно устойчивого метода полного расщепления задач теплопроводности в анизотропных ТКМ с доказательством порядка аппроксимации и абсолютной устойчивости.

Ключевым аспектом подхода является исследование влияния степени продольной анизотропии (отношения максимального по величине компонента тензора теплопроводности, действующего в продольном направлении ТКМ, к компоненту в нормальном к поверхности ВЛА направлении) на величину оттока тепловых потоков и температур от теплонагруженных частей элементов конструкций ВЛА. Пространственно-временная область, в которой ищется решение, дискретизируется с помощью множества точек коллокации, что обеспечивает универсальность метода. Исходная начально-краевая задача преобразуется в эквивалентную задачу математической оптимизации, целью которой является минимизация функции потерь, представляющей собой сумму норм невязок всех уравнений и условий математической постановки.

В результате применения данного подхода ожидается получение математических моделей анизотропной теплопроводности с анизотропией общего вида и сложными видами теплообмена, методов функций источника, преобразований Фурье и Лапласа аналитического решения задач анизотропной теплопроводности в ТКМ, явных новых аналитических решений линейных задач относительно распределения температур, новых аналитических решений нелинейной задачи с зависящими от температуры компонентами тензора теплопроводности, а также результатов численного решения в виде распределения нестационарных температур и расчётных толщин ТКМ для обеспечения безопасного функционирования силовой (металлической) конструкции ВЛА. Для валидации результатов планируется проведение сравнения с численными решениями, полученными с помощью метода конечных разностей, а также анализ влияния на нестационарные температурные поля в ТКМ различных видов нелинейностей (зависимости компонентов теплопроводности от температуры, излучения), анизотропии и многомерности.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-19-00680-П, https://rscf.ru/project/23-19-00680-П/.

УДК 536.2:004.8

ИДЕНТИФИКАЦИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ В МОДЕЛИ МАКСВЕЛЛА – КАТТАНЕО С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ PINN И OPTUNA

А. С. КУНИЦКАЯ, Я. А. ВАХТЕРОВА
Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация

Обратные задачи теплопереноса возникают при определении теплофизических характеристик материала по ограниченному набору измерений. В отличие от прямой задачи, где параметры модели известны и требуется определить температурное поле, в обратной постановке часть параметров восстанавливается по наблюдаемому отклику системы. Такие задачи важны для диагностики и идентификации материалов, но чувствительны к погрешностям измерений. Для быстропротекающих нестационарных процессов классический закон Фурье может быть недостаточным, поскольку предполагает мгновенное распространение теплового возмущения. В работе рассматривается гиперболическая модель Максвелла – Каттанео, учитывающая конечное время релаксации теплового потока. Цель исследования состоит в восстановлении неизвестного коэффициента теплопроводно-

сти по данным температурного датчика с использованием физически информированной нейронной сети (PINN) и автоматического подбора гиперпараметров Optuna [1–4].

Рассматривается одномерный стержень в безразмерной пространственно-временной области $x \in [0;1]$, $t \in [0;1]$. На концах заданы нулевые граничные условия Дирихле, а начальное распределение температуры имеет вид $\sin(10\pi x)$ при нулевой начальной производной по времени. Для формирования синтетических показаний датчика предварительно получено аналитическое решение прямой задачи методом разделения переменных. Датчик расположен в точке $x_s = 0{,}75$. Истинное значение коэффициента теплопроводности, используемое только для генерации данных и оценки ошибки, $\kappa_{true} = 1{,}20 \cdot 10^{-4}$; время релаксации $\tau_T = 4{,}42 \cdot 10^{-6}$. В процессе решения обратной задачи значение κ_{true} нейронной сети не сообщается.

PINN принимает на вход координату x и время t и аппроксимирует температурное поле. Производные нейросетевого решения вычисляются автоматическим дифференцированием и подставляются в уравнение Максвелла – Каттанео. Начальные и граничные условия встроены непосредственно в структуру аппроксимирующей функции, поэтому выполняются тождественно и не требуют отдельных штрафных слагаемых. Функция потерь включает две основные составляющие: невязку дифференциального уравнения в коллокационных точках и среднеквадратичную ошибку по показаниям температурного датчика. Коэффициент теплопроводности рассматривается как обучаемый физический параметр и оптимизируется совместно с весами нейронной сети; для сохранения его положительности применяется логарифмическая параметризация.

Обучение выполняется оптимизатором Adam. Существенное влияние на результат оказывают архитектура сети, скорость обучения, число коллокационных и сенсорных точек, а также веса физической и сенсорной компонент функции потерь. Для автоматизации выбора используется библиотека Optuna. Качество каждого trial оценивается не только по обучающей функции потерь, но и по независимому валидационному функционалу на точках, не участвующих в обновлении параметров. Сопоставление обучающих и валидационных кривых позволяет проверять обобщающую способность модели. Если обе кривые изменяются близко, а PDE-компонента снижается одновременно с sensor-компонентой, сеть сохраняет согласование с уравнением и данными не только на обучающих, но и на новых точках.

После первичной апробации вычислительная схема была улучшена: уточнены диапазоны поиска гиперпараметров, число эпох увеличено до 5000, а для коэффициента теплопроводности введен отдельный уменьшенный шаг обучения. На данных без шума Optuna выбрала trial № 17: четыре скрытых слоя по 96 нейронов, функцию активации tanh, 1500 коллокационных точек и 50 сенсорных измерений. Скорость обучения составила 0,00139, веса PDE- и sensor-компонент – 4,5409 и 1,2989 соответственно; для коэффициента использовался множитель шага 0,05. В первичной модели было найдено $\kappa = 1{,}281959 \cdot 10^{-4}$ с относительной ошибкой 0,0683. После доработки получено $\kappa = 1{,}178710 \cdot 10^{-4}$ при ошибке около 0,0177, то есть погрешность уменьшилась примерно в 3,9 раза. При сравнении нейросетевого температурного поля с аналитическим решением существенных отклонений не выявлено.

Для исследования устойчивости повторный подбор гиперпараметров для каждого зашумленного набора данных не выполнялся: во всех экспериментах использовалась одна и та же конфигурация, выбранная на чистых данных. Изменялись только показания датчика. Рассматривались относительный и абсолютный гауссовский шум уровней 0,02 и 0,05. Относительный шум задавался пропорционально текущему значению температурного сигнала, абсолютный имел фиксированный масштаб. Поэтому абсолютное возмущение сильнее влияет на участки малой температуры, где одна и та же по абсолютной величине ошибка составляет большую долю полезного сигнала. Такая постановка позволяет отделить влияние погрешности измерений от влияния изменения конфигурации сети.

При относительном шуме 0,02 восстановлено $\kappa = 1{,}253189 \cdot 10^{-4}$ с ошибкой 0,0443, а при 0,05 – $\kappa = 1{,}264721 \cdot 10^{-4}$ с ошибкой 0,0539. Для абсолютного шума 0,02 получено $\kappa = 1{,}268323 \cdot 10^{-4}$ и ошибка 0,0569, для абсолютного шума 0,05 – $\kappa = 1{,}284395 \cdot 10^{-4}$ и ошибка 0,0703. Во всех шумовых экспериментах оценка коэффициента оказалась выше истинного значения, а увеличение уровня шума приводило к росту погрешности. Наибольшее влияние оказал абсолютный шум, что согласуется с особенностями его задания. Несмотря на ухудшение точности, восстановленные значения оставались близкими к истинному коэффициенту.

При наличии шума sensor-компонента функции потерь демонстрировала более заметные колебания, однако PDE-компонента сохраняла убывающий характер, а обучающие и валидационные кривые оставались близкими. Следовательно, ухудшение точности связано прежде всего с искажением исходных измерений, а не с потерей физической согласованности или устойчивости обучения.

Проведенные вычислительные эксперименты подтверждают работоспособность PINN+Optuna для идентификации коэффициента теплопроводности в модели Максвелла – Каттанео при ограниченном числе температурных измерений и наличии шума. Полученные результаты показывают, что включение физического уравнения в процесс обучения выполняет роль дополнительного ограничения и позволяет сохранять устойчивость решения обратной задачи. Перспективными направлениями являются использование нескольких датчиков, расширение набора шумовых моделей и дальнейшая настройка стратегии оптимизации обучаемого физического параметра.

Список литературы

1 **Cattaneo, C.** A form of heat conduction equation which eliminates the paradox of instantaneous propagation / C. Cattaneo // Compte Rendus. – 1958. – Vol. 247. – P. 431–433.

2 Physics-informed neural networks with hard constraints for inverse design / L. Lu, R. Pestourie, W. Yao [et al.] // SIAM J. Sci. Comput. – 2021. – Vol. 43, № 6. – P. B1105–B1132.

3 Optuna: A Next-generation Hyperparameter Optimization Framework / T. Akiba, S. Sano, T. Yanase [et al.] // Proc. 25th ACM SIGKDD Conf. – 2019. – P. 2623–2631.

4 **Вахтерова, Я. А.** Фан Тунг Сон. Моделирование теплопроводности в стержне на основе уравнения Максвелла – Каттанео с помощью глубокого машинного обучения / Я. А. Вахтерова, Е. Л. Кузнецова // СТИН. – 2025. – № 7. – С. 25–29.

УДК 624.21.014.2

КОРРОЗИОННАЯ СТОЙКОСТЬ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ МОСТОВ И ПУТЕПРОВОДОВ В УСЛОВИЯХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ЗОН РОССИИ

Л. С. КУЩЕНКОВА
Нижегородский институт путей сообщения –
филиал Приволжского государственного университета путей сообщения,
г. Нижний Новгород, Российская Федерация

Железнодорожные мосты и путепроводы являются критически важными элементами инфраструктуры, работающими в условиях повышенных динамических нагрузок. В отличие от автодорожных аналогов металлические конструкции железнодорожного транспорта подвергаются интенсивному воздействию специфических факторов: механическому истиранию от балласта (щебня), постоянной вибрации, а также прямому контакту с агрессивными компонентами перевозимых грузов (при использовании открытых вагонов). Срок службы пролетного строения должен соответствовать сроку службы верхнего строения пути – не менее 50–70 лет, что ставит жесткие требования к коррозионной защите.

Сегодня на сети РЖД эксплуатируется более 11 тыс. металлических пролётных строений, общий вес которых превышает 1,3 млн тонн. Под воздействием неблагоприятных факторов окружающей среды незащищённые поверхности подвергаются коррозии, являющейся одним из наиболее распространённых дефектов металлоконструкций искусственных сооружений. В итоге ежегодно требуется проводить работы по окраске 150–170 тыс. тонн металлических пролётных строений.

Специфика воздействия среды на железнодорожные сооружения

Скорость коррозии металлов определяется комплексным воздействием влаги, температуры и загрязняющих веществ. Для железных дорог характерна классификация условий эксплуатации по четырем типам атмосферы согласно ГОСТ 15150.

Категория 1 (условно чистая): лесистая местность вдали от промышленных предприятий.

Категория 2 (промышленная): зоны прохождения магистралей вблизи металлургических и химических комбинатов (Урал, Кузбасс).

Категория 3 (морская): прибрежные участки (Крымский мост, подходы к портам Ванино и Мурманск).

Категория 4 (тропическая/сильноагрессивная): встречается редко, но моделируется для южных участков Северо-Кавказской железной дороги.

Особую роль играет балластное корыто – верхняя часть пролетного строения, удерживающая щебень. Постоянное присутствие влаги и пыли внутри коробчатых балок создает условия для «щелевой» и подпленочной коррозии даже при наличии лакокрасочного покрытия.

Влияние климатических зон России Разнообразие макроклиматических районов РФ диктует различные механизмы деградации металла:

1 *Северо-Западный и Арктический регионы.* Высокая влажность и низкие температуры. Главная угроза – циклы замерзания воды в микротрещинах краски, приводящие к ее отслаиванию (эффект «краски-ледореза»). Скорость коррозии стали здесь умеренная, но риск хрупкого разрушения из-за охрупчивания защитных слоев велик.

2 *Центральный регион и Поволжье.* Умеренный климат с выраженными сезонами. Основной фактор агрессии – противогололедные реагенты, которые ветром заносятся на нижние пояса ферм и узлы опирания с прилегающих автомобильных эстакад.

3 *Южные приморские территории.* Экстремально высокая скорость коррозии (до 250 мкм/год) из-за соленого тумана. Хлорид-ионы проникают через любые дефекты покрытия к контактам высокопрочных болтов класса 10.9, вызывая их водородное охрупчивание.

4 *Восточная Сибирь и Дальний Восток.* Резко континентальный климат. Доминирующий фактор риска – термоциклирование. Разница коэффициентов теплового расширения грунта опор и металлического пролетного строения приводит к накоплению усталостных напряжений в антикоррозионном слое.

Нормативно-техническая база и методы защиты ОАО «РЖД» предъявляют строгие требования к защите балластных корыт и металлических поверхностей во всех климатических зонах Российской Федерации. Система защиты строится по принципу избыточности:

Конструктивные решения: обязательное устройство водоотводных трубок, герметизация стыков листов настила двойными фланцами, применение перфорированных диафрагм для вентиляции внутренних полостей коробчатых балок без прямого попадания осадков.

Протекторная защита: использование сталей повышенной коррозионной стойкости или нанесение цинкнаполненных грунтов. Согласно отраслевым требованиям наиболее надежными системами являются комбинированные алюминиевые и цинковые покрытия.

Лакокрасочные системы (ЛКС): стандарт РЖД для новых мостов предполагает толщину сухой пленки не менее 320–400 мкм. Применяются эпоксидные грунты (толщина слоя 70–80 мкм) с высоким содержанием цинка, обеспечивающие катодную защиту мест сколов, и полиуретановые финишные слои, устойчивые к УФ-излучению и абразивному износу.

Особенности эксплуатации и мониторинга. Типовая методика прогнозирования срока службы учитывает месторасположение моста, конструкцию полотна и фактическое климатическое воздействие. Однако при расчете долговечности стальных конструкций часто недооценивается влияние хлоридов, попадающих на мосты с автодорог общего пользования.

Критическими узлами остаются:

– фрикционные соединения на высокопрочных болтах (зона контакта под гайкой);

– зоны сварных швов (изменение структуры металла провоцирует межкристаллитную коррозию);

– нижний пояс главных ферм, где скапливается конденсат.

Для контроля состояния внедряются системы неразрушающего контроля: ультразвуковая толщинометрия поясов раз в 6 лет и ежегодный визуальный осмотр с применением дронов для труднодоступных арочных конструкций.

Перспективные направления. Современная инженерия предлагает переход от пассивной защиты (покраска) к активной.

1 *«Самозалечивающиеся» покрытия:* полимеры с микрокапсулами ингибиторов коррозии, которые разрушаются при появлении трещины, заполняя ее защитным составом.

2 *Катодная защита наложенным током:* применяется для массивных опорных узлов, находящихся в зоне переменного смачивания.

3 *Цифровые двойники:* интеграция данных метеостанций конкретного километра пути в расчетную модель скорости коррозии для планирования ремонтов.

Обеспечение коррозионной стойкости железнодорожных мостов требует системного подхода, объединяющего грамотное проектирование отводов воды, выбор легированных материалов и применение толстослойных лакокрасочных систем. Учет региональной специфики – от солей Японского моря до промышленной серы Челябинска – позволяет минимизировать эксплуатационные расходы и гарантировать безопасность движения поездов на протяжении всего жизненного цикла искусственного сооружения.

УДК 539.374

ВЫНУЖДЕННЫЕ КОЛЕБАНИЯ ПЯТИСЛОЙНОЙ КРУГОВОЙ ПЛАСТИНЫ, НЕСИММЕТРИЧНОЙ ПО ТОЛЩИНЕ

Е. А. ЛАЧУГИНА
Белорусский государственный университет транспорта, Гомель

Для создания легких и прочных конструкций широко применяются слоистые многослойные элементы. Повысить жесткость и несущую способность изделий позволяет использование материалов с различными физико-механическими свойствами. Основные подходы к моделированию статического и динамического поведения композитных элементов представлены в монографиях [1–6]. Деформирование трехслойных пластин и оболочек исследованы в [7, 8]. Вопросам динамики пятислойных стержней и пластин посвящены работы [9–16].

Для описания динамики пятислойного пакета используются гипотезы Кирхгофа для несущих слоев и гипотезы Тимошенко для заполнителей. Цилиндрическая система координат связана со срединной плоскостью центрального несущего слоя. На контуре пластины предполагается наличие жесткой диафрагмы, препятствующей относительному сдвигу слоев ($\psi_i = 0$, ($i = 1,2$), при $r = r_0$). Вынужденные поперечные колебания круговой пятислойной пластины под действием осесимметричной распределенной нагрузки $q(r, t)$ описываются системой дифференциальных уравнений в перемещениях:

$$\begin{gathered}
\mathrm{L}_2(a_1u - a_2w_{,r} + a_3\psi_1 - a_4\psi_2) = 0, \\
\mathrm{L}_2(a_3u - a_5w_{,r} + a_6\psi_1) = 0, \\
\mathrm{L}_2(-a_4u - a_7w_{,r} + a_8\psi_2) = 0, \\
\mathrm{L}_3(a_2u - a_9w_{,r} + a_5\psi_1 + a_7\psi_2) - M_0\ddot{w} = -q,
\end{gathered}$$

где $M_0\ddot{w}$ – поперечные инерционные силы, $M_0 = (\rho_1h_1 + \rho_2h_2 + \rho_3h_3 + \rho_4h_4 + \rho_5h_5)r_0^2$; a_i – коэффициенты; L_2, L_3 – дифференциальные операторы,

$$\mathrm{L}_2(g) \equiv \left(\frac{1}{r}(rg)_{,r}\right)_{,r} \equiv g_{,rr} + \frac{g_{,r}}{r} - \frac{g}{r^2},\ \mathrm{L}_3(g) \equiv \frac{1}{r}\left(r\mathrm{L}_2(g)\right)_{,r} \equiv g_{,rrr} + \frac{2g_{,rr}}{r} - \frac{g_{,r}}{r^2} + \frac{g}{r^3}.$$

Начальные условия движения принимаются однородные, граничные условия при заделанном контуре пластины

$$u = 0,\ \psi_1 = 0,\ \psi_2 = 0,\ w = 0,\ w_{,r} = 0 \text{ при } r = r_0.$$

Аналитическое решение для рассматриваемой пластины получено с помощью разложения в ряды по системе собственных ортонормированных функций:

$$v_n \equiv \frac{1}{d_n}\left[J_0(\beta_n r) - \frac{J_0(\beta_n r_0)}{I_0(\beta_n r_0)} I_0(\beta_n r)\right].$$

Решение задачи о вынужденных колебаниях круговой пятислойной пластины проводится с помощью разложения в ряды по системам собственных ортонормированных функций искомых перемещений и внешней нагрузки:

$$w(r,t) = \sum_{n=0}^{\infty} v_n T_n(t),\ \ u(r,t) = b_1 \sum_{n=0}^{\infty} \varphi_n T_n(t),$$

$$\psi_1(r,t) = b_2 \sum_{n=0}^{\infty} \varphi_n T_n(t),\ \ \psi_2(r,t) = b_3 \sum_{n=0}^{\infty} \varphi_n T_n(t),\ \ q(r,t) = M_0 \sum_{n=0}^{\infty} v_n q_n(t),$$

где $\varphi_n = \dfrac{\beta_n}{d_n}\left[J_1(\beta_n r_0)\dfrac{r}{r_0} - J_1(\beta_n r) + \dfrac{J_0(\beta_n r_0)}{I_0(\beta_n r_0)}\left(I_1(\beta_n r_0)\dfrac{r}{r_0} - I_1(\beta_n r)\right)\right]$.

Список литературы

1 **Zhuravkov, M. A.** Mechanics of Solid Deformable Body / M. A. Zhuravkov, Lyu Yongtao, E. I. Starovoitov. – Singapore : Springer, 2023. – 317 p.

2 **Старовойтов, Э. И.** Сопротивление материалов / Э. И. Старовойтов. – Гомель : БелГУТ, 2025. – 396 с.

3 **Старовойтов, Э. И.** Механика материалов : учеб. для студ. высш. учеб. заведений / Э. И. Старовойтов. – Гомель : БелГУТ, 2011. – 380 с. – EDN SRNTHC.

4 Deformation of Three-layer Structural Elements in Thermal Radiation Fields / E. I. Starovoitov, M. A. Zhuravkov, D. V. Leonenko, Lyu Yongtao – Springer Nature Singapore, Pte Ltd. – 2024. – 384 p.

5 Деформирование трехслойных пластин при термосиловых нагрузках / Э. И. Старовойтов, Ю. В. Шафиева, А. В. Нестерович, А. Г. Козел. – Гомель : БелГУТ, 2024. – 395 с.

6 **Яровая, А. В.** Строительная механика. Статика стержневых систем / А. В. Яровая. – Гомель : БелГУТ, 2013. – 447 с.

7 **Старовойтов, Э. И.** Деформирование локальными нагрузками композитной пластины на упругом основании / Э. И. Старовойтов, Д. В. Леоненко, М. Сулейман // Механика композитных материалов. – 2007. – Т. 43, № 1. – С. 109–120. – EDN DIPPEO.

8 **Леоненко, Д. В.** Собственные колебания трехслойного стержня на упругом основании / Д. В. Леоненко, Э. И. Старовойтов // Прикладная механика. – 2016. – Т. 52, № 4. – С. 37–46.

9 **Будникова, Д. А.** Колебания пятислойного стержня под действием локальной нагрузки / Д. А. Будникова // Проблемы физики, математики и техники. – 2026. – № 2 (67). – С. 17–22. – DOI: 10.54341/20778708_2026_2_67_17. – EDN ESGYJF.

10 **Старовойтов, Э. И.** Собственные колебания симметричного по толщине пятислойного стержня / Э. И. Старовойтов, Д. А. Будникова // Механика композиционных материалов и конструкций. – 2025. – Т. 31, № 1. – С. 25–39. – DOI: 10.33113/mkmk.ras.2025.31.01.03. – EDN YHRSZT.

11 **Старовойтов, Э. И.** Собственные колебания круговой пятислойной пластины, вызванные начальным прогибом / Э. И. Старовойтов, Е. А. Лачугина // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2026. – № 2. – С. 34–46. – DOI: 10.7868/S3034580426020035. – EDN JRSVPQ.

12 **Starovoitov, E. I.** Natural Vibrations of a Circular Five-Layer Plate Caused by Initial Deflection / E. I. Starovoitov, E. A. Lachugina // Journal of Machinery Manufacture and Reliability. – 2026. – Vol. 55, № 2. – P. 124–133. – DOI: 10.1134/S1052618825701596. – EDN GQDGHD.

13 **Лачугина, Е. А.** Колебания пятислойной круговой пластины при локальной мгновенно приложенной нагрузке / Е. А. Лачугина // Проблемы физики, математики и техники. – 2026. – № 2 (67). – С. 23–28. – DOI: 10.54341/20778708_2026_2_67_23. – EDN FDQMOW.

14 **Лачугина, Е. А.** Собственные колебания пятислойной круговой пластины при различных закреплениях контура / Е. А. Лачугина // Проблемы физики, математики и техники. – 2025. – № 1 (62). – С. 25–30. – DOI: 10.54341/20778708_2025_1_62_25. – EDN WGDTTR.

15 **Лачугина, Е. А.** Свободные колебания круговой пятислойной пластины, несимметричной по толщине / Е. А. Лачугина // Актуальные вопросы машиноведения. – 2025. – Т. 14. – С. 70–73. – EDN NYVSMP.

16 **Лачугина, Е. А.** Собственные частоты колебаний круговой пятислойной несимметричной по толщине пластины / Е. А. Лачугина // Механика. Исследования и инновации. – 2024. – Вып. 17. – С. 92–99. – EDN REQQPS.

УДК 539.3

СВОБОДНЫЕ КОЛЕБАНИЯ СЭНДВИЧ-СТЕРЖНЯ С УЧЕТОМ ВНУТРЕННЕГО ТРЕНИЯ В ЗАПОЛНИТЕЛЕ

Д. В. ЛЕОНЕНКО

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Трёхслойные стержневые конструкции благодаря высокой удельной жёсткости и демпфирующей способности находят широкое применение в авиастроении, судостроении и ракетостроении, что обуславливает необходимость точного прогнозирования их динамического поведения. В работах [1, 2] подробно исследовано напряжённо-деформированное состояние трёхслойных стержней и пластин при статических и температурных воздействиях, однако вопросы динамического поведения с учётом диссипации энергии в заполнителе остались за рамками этих исследований. Общие подходы к моделированию вязкоупругих свойств слоистых систем предложены [3], но они базируются на интегральных соотношениях наследственного типа, что затрудняет получение явных аналитических решений для частот и декрементов затухания. В зарубежных работах, в частности [4], рассматриваются преимущественно нелинейные задачи с привлечением численных методов, что не позволяет оперативно оценивать демпфирующие характеристики конструкции на этапе предварительного проектирования. Таким образом, актуальной является задача построения замкнутого аналитического решения для свободных затухающих колебаний сэндвич-стержня с внутренним трением в заполнителе.

Рассматриваются свободные колебания симметричного трёхслойного стержня с лёгким заполнителем. Внешние несущие слои описываются моделью Бернулли, внутренний слой (заполнитель) – моделью Тимошенко. Материал заполнителя считается вязкоупругим; для учёта внутреннего трения используется модель Кельвина – Фойгта.

Уравнения движения получим, используя вариационный принцип Гамильтона – Остроградского [5]:

$$\delta\int_{t_0}^{t_1}(K - W - A - \Phi)dt = 0\,, \quad \int_{t_0}^{t_1}(\delta K - \delta W - \delta A - \delta\Phi)dt = 0\,,$$

где K – кинетическая энергия системы; W – потенциальная энергия деформации; A – потенциал торцевых усилий; Ф – диссипативная функция Релея [6]; δ – символ вариации.

Выполняя варьирование после стандартных преобразований, получим систему дифференциальных уравнений движения в перемещениях

$$b_1\psi_{,xx} - b_2 w_{,xxx} - r_1\dot{\psi} + r_2(\dot{\psi}_{,xx} - \dot{w}_{,xxx}) = 0,$$
$$b_2\psi_{,xxx} - b_3 w_{,xxxx} + r_2(\dot{\psi}_{,xxx} - \dot{w}_{,xxxx}) = m_1\ddot{w}.$$

Начальные условия движения

$$w(x,0) = w_0(x); \quad \dot{w}(x,0) = \dot{w}_0(x)\,,$$

где $w_0(x)$, $\dot{w}_0(x)$ – перемещения и скорости оси стержня в начальный момент времени ($t = 0$) соответственно.

В случае жёсткого защемления торцов стержня ($x = 0$, l) имеем

$$\psi = 0, \quad w = 0, \quad w_{,r} = 0\,.$$

Таким образом, выполнена постановка начально-краевой задачи о свободных колебаниях трёхслойного стержня с диссипацией энергии в заполнителе.

Список литературы

1 **Starovoitov, E. I.** Bending of a Sandwich Beam by Local Loads in the Temperature Field / E. I. Starovoitov, D. V. Leonenko // Известия Саратовского университета. Новая серия. Сер. Математика. Механика. Информатика. – 2018. – Т. 18, вып. 1. – С. 69–83.

2 **Леоненко, Д. В.** Колебания круговой трехслойной пластины под действием линейной во времени внешней нагрузки / Д. В. Леоненко, М. В. Маркова // Журнал Белорусского государственного университета. Математика. Информатика. – 2023. – № 1. – С. 49–63.

3 **Кравчук, А. С.** Динамика и устойчивость слоистых стержневых систем с учётом вязкоупругих свойств материалов / А. С. Кравчук // Известия РАН. Механика твёрдого тела. – 2010. – № 4. – С. 85–95.

4 **Jacques, N.** Nonlinear vibration of viscoelastic sandwich beams by the harmonic balance and finite element methods / N. Jacques, E. M. Daya, M. Potier-Ferry // Journ. of Sound and Vibr. – 2010. – Vol. 329, №. 20. – P. 4251–4265.

5 **Новацкий, В.** Теория упругости / В. Новацкий. – М. : Мир, 1975. – 872 с.

6 **Бутенин, Н. В.** Теория колебаний / Н. В. Бутенин. – М. : Высш. шк., 1963. – 187 с.

УДК 539.3

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕГРАДАЦИИ СВОЙСТВ МНОГОСЛОЙНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ И ЕЁ ВЛИЯНИЯ НА ДИНАМИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ БАЛКИ

С. С. ЛОПАТИН, А. В. БАБАЙЦЕВ
Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация

Композиционные материалы (КМ) на основе полимерной матрицы, армированной высокопрочными волокнами (стеклянными, углеродными, базальтовыми), занимают ключевое место в современном материаловедении и конструкционном проектировании благодаря уникальному сочетанию свойств: высокой удельной прочности и жёсткости, коррозионной стойкости, возможности направленного проектирования структуры и технологичности изготовления сложных форм. Особую опасность представляет изменение динамических характеристик конструкции в процессе деградации.

Снижение жёсткости вызывает уменьшение собственных частот колебаний. Если конструкция эксплуатируется в условиях вибрационных нагрузок, то при приближении частоты возбуждения к текущей собственной частоте возникает резонанс, сопровождающийся резким ростом амплитуд колебаний. В результате даже незначительная деградация может привести к выходу системы в резонансный режим, что многократно увеличивает нагрузки на элементы конструкции и ускоряет процесс разрушения. Кроме того, изменение амплитуд может служить ранним диагностическим признаком скрытых повреждений [1–5].

Для инженерных расчётов наиболее распространены феноменологические модели, описывающие изменение эффективного модуля упругости $E(t)$ (или тензора жёсткости) как функции времени (или числа циклов). Для слоистой балки, состоящей из N слоёв, каждый из которых имеет свои упругие характеристики, деградация может затрагивать как все слои, так и отдельные компоненты. В рамках настоящей работы приняты следующие допущения:

– деградирует только модуль упругости стеклопластиковых слоёв вдоль волокон $E_1^{(i)}(t)$; модули E_2 и G_{12} остаются постоянными;

– алюминиевые слои считаются не деградирующими;

– закон деградации $E_1(t)$ одинаков для всех стеклопластиковых слоёв (однородное старение).

Таким образом, в каждый момент времени t известен набор модулей слоёв $E_x^{(i)}(t)$ (вдоль оси балки). Для вычисления эффективного модуля изгиба используется классическая теория слоистых пластин в предположении гипотезы плоских сечений. При моделировании вынужденных колебаний балки с деградирующими свойствами возникает особенность: параметры системы (жёсткость, собственные частоты) изменяются во времени. Для учёта этого эффекта решается нестационарное дифференциальное уравнение. Численное интегрирование проводится методами Рунге – Кутты высокого порядка, что позволяет отслеживать быстрые колебания на фоне медленного изменения параметров.

Важно отметить, что при резонансном возбуждении амплитуда колебаний определяется не только величиной силы и демпфирования, но и скоростью изменения параметров. При медленной деградации система успевает «следовать» за резонансом, и амплитуда оказывается близкой к статической амплитуде на резонансе для текущего состояния. Это и наблюдается в полученных результатах: огибающая амплитуды растёт по мере снижения жёсткости (при постоянной амплитуде силы), что отражает увеличение податливости.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках Государственного задания МАИ (шифр FSFF-2025-0001).

Список литературы

1 Damage Behavior of Aircraft Radome under High-speed Jet Impact / Ying Sun, A. Babaytsev, Yulong Li [et al.]. // Chinese Journal of Aeronautics. – 2026. – Vol. 39, № 2. – P. 103703.

2 Affecting Factors of Rain Erosion Resistance and Damage Mechanisms of the Aircraft Skin Coating Impacted by High Dynamic Raindrops / Sun Ying, A. Babaytsev, G. Fedotenkov [et al.] // Surface Technology. – 2025. – Vol. 54, № 10. – P. 82–95.

3 Evaluation and Mechanism of Highly Dynamic Rain Corrosion Damage to Aircraft Windward Side Skin Coatings / Sun Ying, Li Ming, Wei Zheng [et al.] // Surface Technology. – 2025. – Vol. 55, № 02. – P. 1–14.

4 **Sun Ying.** Damage Mechanism on Aircraft Coatings of Different Thicknesses under High-speed Water Jet Impact / Sun Ying, Babaytsev // Surface Technology. – 2026. – Vol. 55, № 14. – P. 17–32.

5 **Sun Ying.** Experimental study on solid particle erosion of protective aircraft coatings at different impact angles / Ying Sun, Yiming Liu, A. Mednikov // Reviews on Advanced Materials Science. – Vol. 64, № 1. – 2025. – P. 20250100. https://doi.org/10.1515/rams-2025-0100.

УДК 539.3

ВАРИАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ НАКОПЛЕНИЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ С УЧЕТОМ ДИССИПАЦИИ ЭНЕРГИИ В МЕХАНИКЕ ДЕФОРМИРУЕМЫХ СРЕД

ЛЭН МИ

Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация

В рамках необратимой термодинамики построена вариационная модель накопления повреждений с учетом диссипации энергии. Эта модель – результат развития методов учета накопления рас-

сеянных повреждений при деформировании, рассмотренных в работах [1, 2], позволяет дополнительно учитывать необратимый характер процесса накопления рассеянных повреждений.

Вариационная модель основана на реализации вариационного принципа Л. И. Седова, где используется принцип стационарности вариационной формы, включающей вариацию плотности потенциальной энергии (соответствует обратимой части процесса деформирования) и неинтегрируемую вариационную форму (отвечает за процесс диссипации). Аргументы плотности потенциальной энергии и неинтегрируемой вариационной формы включают деформации (и их производные в случае градиентной модели) и скалярный параметр поврежденности. Когда напряжение превышает некоторый критический порог напряжений, возникает необратимое развитие поврежденности, сопровождаемое необратимой диссипацией энергии. Предлагаемая модель учитывает взаимное влияние друг на друга поврежденности и напряженного состояния через эффекты деградации механических свойств.

При вариационной формулировке модели вариационное уравнение обратимого процесса расширено в рамках необратимой термодинамики путем добавления неинтегрируемой вариационной формы. На основе обобщенного вариационного принципа Седова получены нелинейные уравнения Эйлера, включающие эволюционное уравнение поврежденности и набор естественных граничных условий.

Включение в модель неинтегрируемой вариационной формы является альтернативой известных условий. Каруша – Куна –Таккера (ККТ).

Для реализации решения нелинейной краевой задачи, построенной на основе предложенной вариационной модели деформирования, используется метод последовательных приближений. В первом приближении решается краевая задача классической теории упругости для неповрежденной среды, в результате чего определяются поля перемещений, деформаций и напряжений. Затем по эволюционному уравнению поврежденности обновляется поврежденность, и в численном расчете реализуется итерационная эволюция поврежденности. При численном моделировании одновременно рассматриваются стержни постоянного и переменного сечений, причем концентрация напряжений задается через геометрические параметры стержня переменного сечения. Результаты показывают, что вариационная модель с учетом диссипации энергии позволяет эффективно моделировать влияние концентрации напряжений на накопление повреждений, определять степень поврежденности и эффекты деградации модуля упругости. Показано, что расширение модели за счет неинтегрируемой вариационной формы, по сравнению с вариационной моделью без учета диссипации, позволяет повысить сходимость алгоритма и его точность. Дается сравнение полученных решений с результатами метода конечных элементов.

Список литературы

1 **Лурье, С. А.** Моделирование поврежденности механических свойств материалов в обобщенной градиентной теории упругости / С. А. Лурье, П. А. Белов, Д. А. Ожерелков // Упругость и неупругость. – 2021. – С. 270–276.

2 **Placidi, L.** Simulation results for damage with evolving microstructure and growing strain gradient moduli / L. Placidi, A. Misra, E. Barchiesi // Continuum Mechanics and Thermodynamics. – 2019. – Vol. 31. – P. 1143–1163.

УДК 539.3

РАЗВИТИЕ ВАРИАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ПОВРЕЖДЁННОСТИ ПРИ МНОГОЦИКЛОВОМ НАГРУЖЕНИИ

М. МАНУН, Л. Н. РАБИНСКИЙ
Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация

Предлагается расширение вариационной модели накопления повреждённости упругой среды на многоцикловое нагружение. Повторное воздействие характеризуется максимальной плотностью упругой энергии за цикл. Вводится эволюционный закон по числу циклов и блочная численная схема с последовательным пересчётом жёсткости и напряжённо-деформированного состояния. Для постоянного энергетического уровня получена зависимость долговечности от параметров модели.

При многоцикловом нагружении макроскопическое деформирование материала может оставаться упругим, тогда как микродефекты постепенно накапливаются и вызывают снижение эффективной жёсткости. Для описания этого процесса применяются методы континуальной механики повреждённости [2–5], в которых необратимые изменения состояния среды представляются внутренним параметром.

В ранее разработанной вариационной постановке [1], основанной на принципе Лагранжа, состояние материала характеризуется скалярным параметром повреждённости Ω. Параметр Ω нормирован и изменяется в диапазоне $0 \le \Omega \le 1$, причём $\Omega = 0$ соответствует неповреждённому материалу, а Ω = 1– завершению процесса накопления повреждений. Плотность потенциальной энергии принимается в виде

$$W(\varepsilon,\Omega) = (1 - k_E\Omega)\, W_0 + k_\Omega\, \Omega^n,\ W_0 = \frac{1}{2}\varepsilon : C^0 : \varepsilon, \tag{1}$$

где C^0 – тензор упругих характеристик неповреждённого материала; k_E, k_Ω и n – параметры исходной модели. Соответствующие определяющие соотношения имеют вид

$$\sigma = C(\Omega) : \varepsilon\ ,\ C(\Omega) = (1 - k_E\,\Omega) C^0 . \tag{2}$$

При переходе к циклическому процессу изменение Ω задаётся отдельным кинетическим законом по числу циклов N. В качестве энергетической характеристики цикла принимается

$$W_{\max} = \max\left\{ W_0(t) \right\},\ 0 \le t \le T, \tag{3}$$

где T – продолжительность цикла. Критический уровень W_c применяется в численном алгоритме как условие начала накопления повреждений. Рабочий вид эволюционного закона задаётся соотношением

$$\begin{cases} \dfrac{d\Omega}{dN} = 0, & W_{\max} \le W_c; \\ \dfrac{d\Omega}{dN} = A W_{\max}^m (1-\Omega)^{(-p)}, & W_{\max} > W_c, \end{cases} \tag{4}$$

$A > 0$ определяет масштаб скорости процесса, $m > 0$ – чувствительность к энергетическому уровню цикла, $p \ge 0$ – ускорение деградации при приближении к предельному состоянию. Необратимость обеспечивается условием $d\Omega / dN \ge 0$.

При расчёте блоками ΔN циклов и выполнении условия $W_{\max,j} > W_c$ параметр повреждённости обновляется по формуле

$$\Omega_{(j+1)} = \Omega_j + \Delta N A W_{\max,j}^{\ m} (1-\Omega_j)^{(-p)},\ \Omega_{(j+1)} \ge \Omega_j . \tag{5}$$

После каждого блока пересчитываются матрица жёсткости, перемещения, деформации и $W_{\max}$ Поэтому изменение повреждённости влияет на напряжённо-деформированное состояние следующих циклов. При силовом нагружении снижение жёсткости приводит к росту деформаций; при кинематическом нагружении оно сопровождается уменьшением напряжений.

В пределах отдельного цикла при фиксированном Ω отклик среды считается упругим. При разгрузке напряжения и деформации уменьшаются, однако накопленное значение Ω сохраняется. Поэтому модель описывает многоцикловый процесс без введения пластических деформаций, а необратимость связывается с эволюцией внутреннего параметра.

Для частного случая постоянного $W_{\max} > W_c$ уравнение (4) интегрируется аналитически. При начальном значении Ω_0 получаем

$$(1-\Omega)^{(p+1)} = (1-\Omega_0)^{(p+1)} - (p+1) A W_{\max}^m N. \tag{6}$$

Процесс накопления повреждений считается завершённым при выполнении условия $\Omega(N_{\lim}) = 1$, где $N_{\lim}$ – расчётное число циклов до достижения предельного состояния в рамках модели. Тогда расчётная долговечность

$$N_{\lim} = [(1-\Omega_0)^{(p+1)}]/[(p+1)AW_{\max}{}^m]. \quad (7)$$

Соотношение (7) показывает степенное уменьшение долговечности с ростом $W_{\max}$ и может служить аналитическим тестом численного алгоритма. Параметр m определяется по наклону зависимости $lnN_{\lim}$ от $lnW_{\max}$, A – по её уровню, а p – по форме кривой накопления повреждённости либо деградации эффективной жёсткости. Величина W_c устанавливается по границе режима, при котором заметное снижение свойств в заданном диапазоне циклов не наблюдается. Значение связывается с принятым критерием предельного состояния.

Проверку модели предполагается проводить в два этапа. Верификация блочной схемы выполняется сравнением с аналитическим решением (7) и исследованием сходимости по ΔN.

Предложенная схема сохраняет исходную энергетическую структуру вариационной модели и вводит число циклов как параметр эволюции повреждённости. Блочное интегрирование позволяет применять модель в конечно-элементных расчётах без прямого воспроизведения каждого цикла.

Список литературы

1 **Манун, М.** Об одной модели накопления повреждений и деградации свойств для сред с расширенным спектром свойств / М. Манун, Л. Н. Рабинский // Проблемы безопасности на транспорте : материалы XIII Междунар. науч.-практ. конф. (Гомель, 20–21 ноября 2024 г.) : в 2 ч. Ч. 2 ; под общ. ред. Ю. И. Кулаженко. – Гомель : БелГУТ, 2024. – С. 171–172.

2 **Качанов, Л. М.** Основы механики разрушения / Л. М. Качанов. – М. : Наука, 1974. – 312 с.

3 **Lemaitre, J.** A Course on Damage Mechanics / J. Lemaitre. – Berlin : Springer, 1992. – 210 c.

4 **Chaboche, J. L.** Continuum damage mechanics: Part I – General concepts / J. L. Chaboche // Journal of Applied Mechanics. – 1988. – Vol. 55. – P. 59–64.

5 **Murakami, S.** Continuum Damage Mechanics: A Continuum Mechanics Approach to the Analysis of Damage and Fracture / S. Murakami. – Dordrecht: Springer, 2012. – 423 c.

УДК 621.793 + 621.762.55 + 620.193.5

СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЖАРОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ ИЗ ПОРОШКОВЫХ КОМПОЗИЦИЙ В СИСТЕМАХ $HfSi_2$–$MoSi_2$–SiB_4– (HfB_2) И $HfSi_2$–$MoSi_2$–B_4C–(HfB_2)–(HfC) НА УККМ

А. И. МАТУЛЯК, А. Н. АСТАПОВ
Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация

Настоящая работа является продолжением теоретико-экспериментальных исследований, направленных на получение жаростойких покрытий в системе $HfSi_2$-$MoSi_2$-HfB_2-HfC на углерод-углеродных и углерод-керамических композиционных материалах (УУКМ и УККМ) с помощью комбинированного метода, сочетающего шликерно-обжиговое наплавление и реакционный синтез *in situ* [1–3].

В работе [3] синтезировали покрытия на УККМ из порошковых композиций в системах $HfSi_2$–$MoSi_2$–SiB_4–(HfB_2) и $HfSi_2$–$MoSi_2$–B_4C–(HfB_2)–(HfC) с разным соотношением фаз. Формирование покрытий включает синтез целевых фаз (HfB_2, HfC) и спекание шликерных слоев в процессе термической обработки. Синтез происходит в результате взаимодействия Hf и B для системы $HfSi_2$–$MoSi_2$–SiB_4–(HfB_2), Hf и B_4C – для $HfSi_2$–$MoSi_2$–B_4C–(HfB_2)–(HfC), а спекание осуществляется за счет образования промежуточной жидкой фазы на основе Si в результате инконгруэнтного плавления $HfSi_2$.

Таким образом, для получения реакционных смесей брали порошки $HfSi_2$, $MoSi_2$, SiB_4/B_4C, HfB_2 и HfC, взвешивали в нужном соотношении, смешивали и измельчали. Всего были изготовлены 24 реакционные смеси – по 12 составов в каждой системе. Основные идеи при расчете загрузок заключались:

– в (i) изменении доли $HfSi_2$ в загрузках с целью установления рационального её количества для обеспечения синтеза целевых фаз и спекания композиций в компактные слои с одновременной минимизацией остаточной фазы $HfSi_2$ ($T_{пл}$ = 1543 °C) в составе полученных покрытий, снижающей эффективность их защитного действия и ресурс при высокотемпературной эксплуатации;

– (ii) рассмотрении разного соотношения между $MoSi_2$ и HfB_2 для системы $HfSi_2$–$MoSi_2$–SiB_4–(HfB_2), $MoSi_2$ к HfB_2 и HfC для системы $HfSi_2$–$MoSi_2$–B_4C–(HfB_2)–(HfC) с целью изучения влияния на окислительную стойкость покрытий на воздухе при 1650 °C при условии формирования компактных низкопористых слоев;

– (iii) ограничении доли остаточного элементарного Si ($T_{пл}$ = 1415 °C) в покрытиях до 30 об. % с целью снижения доли низкотемпературной жидкой фазы в составе покрытий, облегчающей встречный массоперенос реагентов.

Выполнены структурно-фазовые исследования синтезированных покрытий. Установлено, что покрытия, в которых доля остаточного $HfSi_2$ варьировалась от 28,1 до 40,4 об. %, представлены компактными слоями без каких-либо видимых пор в поперечных сечениях. Появление пор наблюдалось в покрытиях, где доля остаточного $HfSi_2$ не превышала 23,1 об. %, что приводило к нехватке жидкой фазы в процессе термообработки для получения высокой сплошности покрытий. Фазовый состав покрытий представлен следующими фазами: твердым раствором (Mo,W)Si_2 (WSi_2 – примесь в порошке $MoSi_2$), HfB_2, $HfSi_2$, HfC, Si и SiC. Анализ микроструктур поперечных сечений покрытий показал, что для всех исследованных составов матричными являются чередующиеся фазы $HfSi_2$ и Si, в которых равномерно распределены оставшиеся фазы.

Проведены испытания на термоциклическое окисление полученных покрытий при 1650 °C на воздухе. Первые три термоцикла выполняли при продолжительности изотермы 15 мин, четвертый цикл имел изотерму 45 минут, а последний – 60 минут. Общее время испытаний составило 150 минут. В настоящее время проводится анализ кинетики окисления покрытий и структурно-фазовые исследования образовавшихся *in situ* оксидных пленок. Предварительные результаты показывают, что покрытия сохранили ресурс работоспособности после испытаний в указанных условиях.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-19-00352-П.

Список литературы

1 **Матуляк, А. И.** Получение покрытий на основе системы $MoSi_2$–HfB_2 на C/C–SiC-композите методом реакционного синтеза in situ / А. И. Матуляк, А. Н. Астапов // Известия вузов. Порошковая металлургия и функциональные покрытия. – 2026. – Т. 20, № 1. – С. 78–90.

2 **Матуляк, А. И.** Влияние доли промежуточной жидкой фазы на спекаемость покрытий из порошковых композиций в системе $MoSi_2$-$HfSi_2$-SiB_4 / А. И. Матуляк, А. Н. Астапов // Электрометаллургия. – 2026. – № 7. – С. 15–29.

3 Получение покрытий на УККМ из порошковых композиций в системах $HfSi_2$-$MoSi_2$-SiB_4-(HfB_2) и $HfSi_2$-$MoSi_2$-B_4C-(HfB_2)-(HfC) / А. И. Матуляк, А. Н. Астапов, А. А. Диденко, А. Н. Тарасова // XXV Всероссийское совещание по неорганическим и органосиликатным покрытиям : сб. тезисов докладов, г. Санкт-Петербург, 1–5 июня 2026 г. – СПб. : ЛЕМА, 2026. – С 49–51.

УДК 539.375

ЧАСТИЧНОЕ ЗАКРЫТИЕ ТРЕЩИН В ПЕРФОРИРОВАННОЙ СТРИНГЕРНОЙ ПЛАСТИНЕ

М. В. МИР-САЛИМ-ЗАДЕ
Институт математики, г. Баку, Азербайджан

Рассмотрена упругая изотропная пластина, ослабленная периодической системой круговых отверстий радиуса λ. К пластине приклепаны упругие стрингеры. На бесконечности пластина подвергается однородному растяжению вдоль стрингеров напряжением $\sigma_y^{\infty} = \sigma_0$. Из контуров отверстий исходят симметричные прямолинейные трещины. Стрингеры уменьшают деформацию растягиваемой пластины [1–3] в направлении, перпендикулярном трещинам, в связи с чем снижается коэффициент интенсивности напряжений в окрестности концов трещин. При некотором соотношении физических и геометрических параметров стрингерной пластины будут появляться зоны сжимающих напряжений, в которых берега трещины частично войдут в контакт. Это взаимодействие приведет к появлению контактных напряжений на данном участке берегов трещин.

Пусть имеется усиленная изотропная среда с периодической системой круговых отверстий с радиусом λ (λ < 1) и центрами в точках

$$P_m = m\omega, \text{ где } (m = \pm 1, \pm 2, \ldots),\ \omega = 2.$$

Берега трещин свободны от внешних нагрузок. В силу симметрии граничных условий и геометрии области D, занятой средой, напряжения являются периодическими функциями с основным периодом ω.

Под действием внешней растягивающей нагрузки σ_0 и неизвестных сосредоточенных сил F_{mn} $(m, n = \pm 1, \pm 2, \ldots)$, в области сжимающих напряжений берега трещин частично входят в контакт, что способствует появлению контактных напряжений на данных участках. Вне этих участков берега трещины будут свободны от контактных напряжений (вообще будут свободны от нагрузок). Параметры, характеризующие границу области контакта, определяются в ходе решения задачи. Можно заранее сказать, что зона контакта между берегами трещины будет всегда начинаться с концевой точки трещины, находящейся в области сжимающих напряжений. В концевых зонах, где берега трещин вошли в контакт, возникают нормальные напряжения $p(x)$, значения которых (как и размер зоны контакта) заранее неизвестны. Каждая трещина состоит из двух зон: контактная концевая зона и зона, где берега трещины свободны от нагрузок.

Граничные условия на берегах трещин имеют вид

$$\sigma_y = 0,\ \tau_{xy} = 0 \text{ на } L';\ \sigma_y = p(x),\ \tau_{xy} = 0,\ v^+(x,0) - v^-(x,0) = 0 \quad \text{на } L''.$$

Здесь L' – совокупность зон трещин, свободных от нагрузок; L'' – совокупность концевых зон, в которой берега трещины вошли в контакт; $v^+(x,0) - v^-(x,0)$ – раскрытие берегов трещины; σ_y, τ_{xy} – компоненты тензора напряжений; u, v – составляющие вектора смещения по осям x, y соответственно.

Граничные условия задачи на контурах круговых отверстий

$$\sigma_r - i\tau_{r\theta} = 0.$$

На основании известных формул [4] и граничных условий на контурах круговых отверстий и берегах трещин задача сводится к определению двух аналитических в области D функций $\Phi(z)$ и $\Psi(z)$ из краевых условий

$$\Phi(\tau) + \overline{\Phi(\tau)} - \left[\overline{\tau}\Phi'(\tau) + \Psi(\tau)\right]e^{2i\theta} = 0, \tag{1}$$

$$\Phi(x) + \overline{\Phi(x)} + x\overline{\Phi'(x)} + \overline{\Psi(x)} = f, \tag{2}$$

где $\tau = \lambda e^{i\theta} + m\omega$ $(m = 0, \pm 1, \pm 2, \ldots)$; x – аффикс точек берегов трещины, $f = 0$ на L' и $f = p(x)$ на L''.

Решение краевой задачи (1), (2) ищем в виде

$$\Phi(z) = \Phi_0(z) + \Phi_1(z) + \Phi_2(z), \qquad \Psi(z) = \Psi_0(z) + \Psi_1(z) + \Psi_2(z). \tag{3}$$

Здесь комплексные потенциалы $\Phi_0(z)$ и $\Psi_0(z)$ определяют поле напряжений и деформаций в сплошной подкрепленной пластине под действием растягивающего напряжения σ_0 и сосредоточенных сил F_{mn}. Функции $\Phi_1(z)$ и $\Psi_1(z)$, соответствующие неизвестным нормальным смещениям вдоль трещины, ищутся в явном виде

$$\Phi_1(z) = \frac{1}{2\omega}\int_{L_1} g(t)\operatorname{ctg}\frac{\pi}{\omega}(t-z)dt,\ \ \Psi_1(z) = -\frac{\pi z}{2\omega^2}\int_{L_1} g(t)\sin^{-2}\frac{\pi}{\omega}(t-z)dt,\ \ L_1 = [-l,-\lambda]+[\lambda,l],$$

где искомая функция $g(x)$ описывает производную раскрытия берегов трещины

$$\frac{1+\kappa}{2\mu}g(x) = \frac{\partial}{\partial x}\left[v^+(x,0) - v^+(x,0)\right].$$

Для нахождения комплексных потенциалов $\Phi_2(z)$ и $\Psi_2(z)$ представим граничное условие (1) в виде

$$\Phi_2(\tau)+\overline{\Phi_2(\tau)}-\left[\overline{\tau}\Phi_2'(\tau)+\Psi_2(\tau)\right]e^{2i\theta}=f_1(\theta)+if_2(\theta)+\varphi_1(\theta)+i\varphi_2(\theta), \quad (4)$$

$$f_1(\theta)+if_2(\theta)=-\Phi_0(\tau)-\overline{\Phi_0(\tau)}+\left[\overline{\tau}\Phi_0'(\tau)+\Psi_0(\tau)\right]e^{2i\theta},$$

$$\phi_1(\theta)+i\phi_2(\theta)=-\Phi_1(\tau)-\overline{\Phi_1(\tau)}+\left[\overline{\tau}\Phi_1'(\tau)+\Psi_1(\tau)\right]e^{2i\theta}.$$

Неизвестная функция $g(x)$ и коэффициенты, определяющие потенциалы $\Phi_2(z)$ и $\Psi_2(z)$ находятся из краевых условий (2) и (4). Так как выполняются условия периодичности, то система граничных условий (4) вырождается в одно функциональное уравнение.

Требуя, чтобы функции (3) удовлетворяли краевому условию (2), получаем сингулярное интегральное уравнение относительно функции $g(x)$. Сингулярное интегральное уравнение и алгебраические системы, построенные для определения потенциалов $\Phi_2(z)$ и $\Psi_2(z)$, содержат неизвестные величины сосредоточенных сил F_{mn}. Для определения величин сосредоточенных сил F_{mn} использовались закон Гука и метод склеивания двух асимптотик искомого решения.

Сингулярное интегральное уравнение было сведено к системе алгебраических уравнений относительно приближенных значений g_k^0 искомой функции в узловых точках. В эти уравнения входят неизвестные значения контактных напряжений в узловых точках, принадлежащих концевой контактной зоне. Условием, которое определяет неизвестные контактные напряжения, возникающие на берегах трещин в концевых контактных зонах, является отсутствие раскрытия трещин в этой зоне (второе условие на L''). Для замыкания полученной системы не хватает уравнения, определяющего размер концевой зоны. Его определяли из условия конечности напряжений в окрестности вершины трещин. Из-за неизвестного размера концевой контактной зоны объединенная алгебраическая система является нелинейной. Для ее решения использовался метод последовательных приближений.

Построенные системы уравнений позволяют при заданной внешней растягивающей нагрузке найти напряженно-деформированное состояние перфорированной стрингерной пластины, ослабленной трещинами с частично контактирующими берегами, контактные напряжения и размер контактной концевой зоны. Полученные соотношения позволяют решать обратную задачу, т. е. определить характеристики усиления среды и напряженное состояние пластины, при которых достигается заданная область контакта берегов трещин.

Список литературы

1 **Финкель, В. М.** Физические основы торможения разрушения / В. М. Финкель. – М. : Металлургия, 1977. – 359 с.

2 **Партон, В. З.** Механика упруго-пластического разрушения / В. З. Партон, Е. М. Морозов. – М. : Наука, 1985. – 501 с.

3 **Мирсалимов, В. М.** Некоторые задачи конструкционного торможения трещин / В. М. Мирсалимов // ФХ ММ. – 1986. – Т. 22, № 1. – С. 94–98.

4 **Мусхелишвили, Н. И.** Некоторые основные задачи математической теории упругости / Н. И. Мусхелишвили. – М. : Наука, 1966. –707 с.

УДК 539.3

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ КОМПОЗИТНЫХ ПОДКРЕПЛЕННЫХ ПЛАСТИН, РАБОТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ ДИНАМИЧЕСКОГО НАГРУЖЕНИЯ

И. С. МИХАЙЛИН, Л. Н. РАБИНСКИЙ
Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация

Композитные подкрепленные пластины широко применяются в авиационной, космической, судостроительной и машиностроительной технике благодаря высокой удельной прочности, жесткости и малой массе. Однако в процессе эксплуатации такие конструкции часто подвергаются динамическим воздействиям, включая вибрационные, ударные и импульсные нагрузки. В этих условиях существенно возрастает роль адекватного моделирования напряженно-деформированного состояния, поскольку динамический характер нагружения, анизотропия материала и наличие подкрепляющих элементов приводят к сложному перераспределению напряжений и деформаций.

Целью работы является исследование напряженно-деформированного состояния многослойных композитных пластин, усиленных подкрепляющими элементами, при действии динамической нагрузки. Особое внимание уделяется влиянию структуры армирования, геометрии подкрепления, граничных условий и параметров внешнего воздействия на прочностные и деформационные характеристики конструкции.

Для описания поведения композитной подкрепленной пластины используется модель многослойной анизотропной среды, учитывающая механические характеристики отдельных слоев, ориентацию волокон и взаимодействие пластины с ребрами жесткости. В зависимости от толщины конструкции и уровня точности применяются классическая теория пластин или уточненные модели, учитывающие влияние поперечных сдвигов. Динамическое нагружение задается в виде функции времени и координат, что позволяет анализировать как вынужденные колебания, так и переходные процессы при кратковременных воздействиях.

Математическая постановка задачи включает уравнения движения, геометрические соотношения, определяющие деформации, а также физические уравнения для ортотропного многослойного материала. Подкрепляющие элементы моделируются либо как дискретные ребра жесткости, либо в составе единой конечно-элементной схемы. Для численного решения задачи используется метод конечных элементов, обеспечивающий возможность учета сложной геометрии, неоднородности свойств, различных схем закрепления и временной изменчивости нагрузки.

В ходе моделирования анализируется влияние схемы подкрепления, числа и расположения ребер жесткости, последовательности укладки композитных слоев, ориентации армирующих волокон, а также типа динамического воздействия на распределение перемещений, деформаций и напряжений. Особое значение имеет исследование зон концентрации напряжений в местах сопряжения пластины и подкрепляющих элементов, поскольку именно эти области являются потенциально опасными с точки зрения повреждаемости и разрушения конструкции.

Ожидаемые результаты работы связаны с установлением закономерностей формирования напряженно-деформированного состояния подкрепленных композитных пластин при динамическом нагружении, оценкой влияния конструктивных параметров на динамическую жесткость и устойчивость, а также выработкой рекомендаций по рациональному проектированию подобных элементов. Практическая значимость исследования определяется возможностью использования полученных результатов при создании легких, прочных и надежных конструкций для работы в условиях переменных и ударных нагрузок.

УДК 539.3

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗНОСА ПОКРЫТИЯ ПО МЕТОДИКЕ МНОГОФАКТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

В. В. МОЖАРОВСКИЙ, Д. С. КУЗЬМЕНКОВ, С. В. КИРГИНЦЕВА
Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины, Республика Беларусь

Применение в мировой практике высокоскоростного и надежного промышленного транспорта (автомобилей, электропогрузчиков, подвесных канатных дорог, эскалаторов метро и др.), а также усовершенствование новых способов передачи движений требует создания новых армирующих материалов и инженерных методик расчета. Например, при исследовании контактного взаимодействия упругих тел из композитов возникает необходимость создавать новые методики расчета прочности и износа зубьев зубчатых колес. В связи с этим разрабатываются новые математические модели и компьютерные программы расчета напряжений при контакте индентора с упругим телом (или покрытием) из композита.

Математическая модель износа строится на основе теории планирования экспериментов с учетом внешних факторов, влияющих на процесс износа. В частности, в настоящей работе дана методика планирования триботехнических испытаний износа покрытия и проведен анализ влияния на износ трех важных внешних факторов: нагрузки Q, расстояния скольжения L и модуля упругости покрытия E. Показано применение автоматизированной методики обработки результатов эксперимента и планирования эксперимента для исследуемых задач.

Постановка и методика решения задачи.

Нагрузка Q, расстояние скольжения L и модуль упругости покрытия E в достаточно широких пределах и существенно влияют на коэффициент износа h. Для получения феноменологической модели требуется определить зависимость h от (E, L, Q) по результатам трибоиспытаний натурных образцов.

Введем обозначения вышеуказанных факторов в безразмерных единицах $E = x_1, L = x_2,\ Q = x_3$ и проведем их нормализацию, т. е. их изменение в определенном масштабе. На основании теории многофакторного планирования эксперимента (ПФЭ) [1] строится алгоритм определения коэффициента износа. На первом этапе исследования проводится полный факторный эксперимент типа 2^3. Уровни факторов и интервалы варьирования выбраны по результатам предварительных поисковых экспериментальных данных. Факторы, уровни и интервалы варьирования факторов приведены в таблице 1. Строится уравнение регрессии для полного факторного эксперимента, заданного таблицей значений (здесь введены безразмерные величины «+» – это 1, а «–» – это –1).

Исследования показали, что линейная модель недостаточно адекватно подходит для описания математической модели, так как не определяет адекватно коэффициент износа в нулевых точках, поэтому целесообразно привлечь для определения во всех остальных точках нелинейную (квадратичную) модель. Переходим к модели 2-го порядка; считая, что эксперимент полностью проведен в нулевых и «звездных» точках (для полноты описания некоторые значения результатов в этих точках были получены с помощью экстраполяции и интерполяции).

При планировании второго порядка функция отклика аппроксимируется полиномом 2-го порядка $y = b_0 + \sum_{i=1}^{N} b_i x_i + \sum_{i=1}^{N} b_{il} x_i x_l + \sum_{i=1}^{N} b_{ii} x_i^2$. Экспериментальные результаты обрабатываются, используя известную методику построения математической модели [1].

Кодированные значения факторов связаны с натуральными зависимостями:

$$x_1 = \frac{E - E_0}{\Delta E}, \quad x_2 = \frac{Q - Q_0}{\Delta Q}, \quad x_3 = \frac{L - L_0}{\Delta L},$$

где E_0, Q_0, L_0 – основные уровни факторов в натуральных выражениях; ΔE, ΔQ, ΔL – интервалы варьирования. Строим уравнение для расчета коэффициента износа в натуральных единицах:

$$h = 0,0039777 - 0,001152\ \frac{E - E_0}{\Delta E} + 0,002774\ \frac{L - L_0}{\Delta L} - 0,0009819\ \frac{E - E_0}{\Delta E}\frac{Q - Q_0}{\Delta Q} -$$
$$- 0,00177\ \frac{E - E_0}{\Delta E}\frac{L - L_0}{\Delta L} - 0,0006817\ \frac{E - E_0}{\Delta E}\frac{Q - Q_0}{\Delta Q}\frac{L - L_0}{\Delta L} +$$
$$+ 0,00157\ \left(\frac{E - E_0}{\Delta E}\right)^2 + 0,001167\ \left(\frac{Q - Q_0}{\Delta Q}\right)^2 + 0,002577\ \left(\frac{L - L_0}{\Delta L}\right)^2.$$

Таблица 1 – **Уровни и интервалы варьирования факторов**

Фактор	Уровень			Интервал варьирования
	верхний +1	основной 0	нижний –1	
x_1 – модуль упругости покрытия $E \cdot 10^{-2}$, ГПа	2,5	2	1,5	0,5
x_2 – нагрузка на индентор, Н$\cdot 10^{-2}$	3700	2700	1700	1000
x_3 – путь трения, м	100	80	60	20

Применялась автоматизированная методика для обработки результатов в случае **компьютерного условного** эксперимента (рисунок 1). Используя математическую модель в виде регрессионного уравнения, можно оценить влияния и тенденцию изменения коэффициента износа h (значение умножаем 10^2, ммк) от исследуемых факторов. Так, на рисунке 1 представлена кривая зависимости h от длины пути трения при условии, что остальные факторы постоянны.

а) *б)*

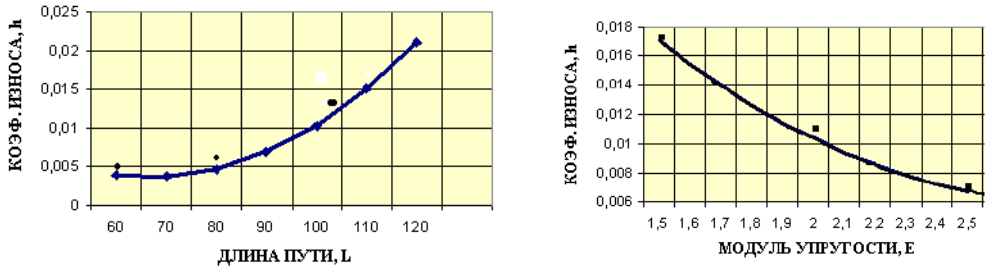


Рисунок 1 – Влияние длины пути трения L на h: E = 2 ГПа, Q = 3700 Н (*а*);
модуля упругости E на h: L = 100 м, Q = 3700 Н (*б*); точки – экспериментальные значения

Представлена методика планирования триботехнических испытаний износа покрытия при построении математической модели с использованием уравнения 2-го порядка. Проведен анализ влияния на износ трех важных внешних факторов: нагрузки Q, расстояния скольжения L и модуля упругости покрытия E. Показано применение автоматизированной методики обработки результатов эксперимента и планирования эксперимента для исследуемых задач.

Регрессионный анализ результатов испытаний покрытий, в которых варьировались внешние факторы (модуль упругости E, нагрузка и длина пути трения), выявил, в основном, нелинейную зависимость износа от модуля упругости и нагрузки.

Список литературы

1 Определение сопротивления качению автомобильных шин в зависимости от условий эксплуатации. Методика многофакторного эксперимента / В. В. Можаровский, С. В. Шилько, С. Б. Анфиногенов, А. В. Хотько // Трение и износ. – 2007. – Т. 28, № 2. – С. 151–157.

УДК 65-656.222.6:519.872.8

ПОДХОД К ПОСТРОЕНИЮ ПРЕДИКТИВНЫХ МОДЕЛЕЙ ПРИ НАЛИЧИИ СЛОЖНОГО ЗАКОНА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИССЛЕДУЕМЫХ СТАТИСТИЧЕСКИХ ДАННЫХ

А. К. МОЗАЛЕВСКАЯ
Иркутский государственный университет путей сообщения, Российская Федерация

Актуальной проблемой в области обеспечения безопасности перевозочных процессов является построение корректных предиктивных моделей изменения грузопотоков на железнодорожном транспорте с учётом использования новых технологий [1–3]. В этом случае необходимо развитие подходов, направленных на оценку сложных законов распределения исследуемых данных [4–6].

В предлагаемом докладе рассматривается построение алгоритма исследования сложного закона распределения исследуемых статистических данных (рисунок 1).

Бимодальность распределения может быть подтверждена следующими фактами [5, 6]:

1) на основании визуального анализа графиков Q-Q plot и «Огива Гальтона» делаем вывод, что распределение отлично от нормального и соответствует конфигурации, характерной для бимодальных распределений, которые представляют собой S-образную кривую и пересекают теоретическую прямую;

2) по критерию Колмогорова рассматриваемое распределение не является нормальным, а при анализе гистограммы также видно, что она состоит из двух отдельных частей: первой – от 64441 до 83435 вагонов в месяц и второй – после 90274 до 109450 вагонов в месяц;

3) результаты анализа диаграммы размаха (boxplot) также подтвердили несоответствие данных нормальному закону.

Бимодальное распределение указывает на необходимость учёта двух различных непрерывных распределений вероятностей. Для понимания процессов, происходящих в этом временном интервале на данном стыковом пункте, следует детально рассмотреть поступающий вагонопоток и подобрать комбинацию из двух моделей распределения.

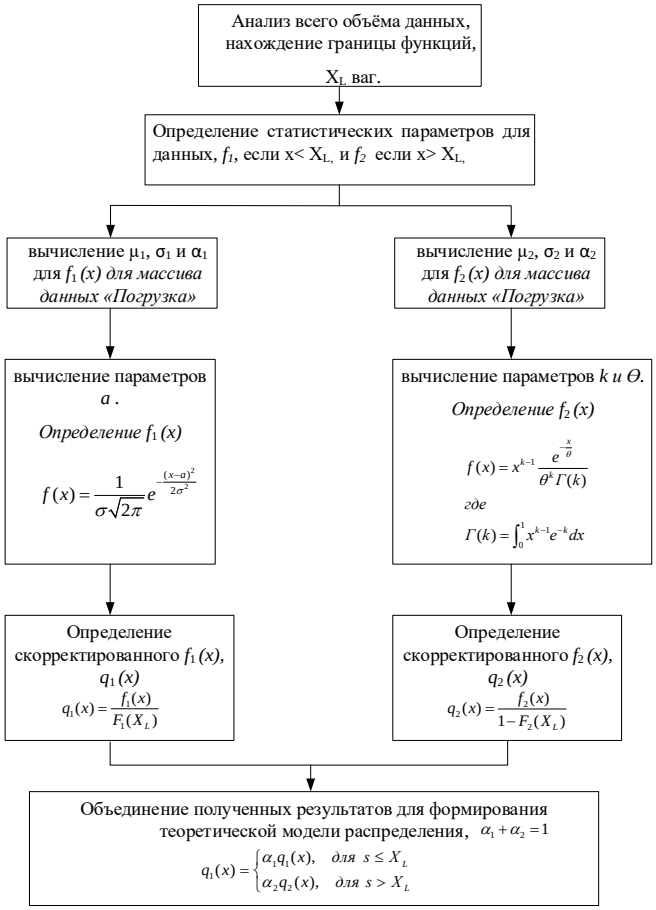


Рисунок 1 – Блок-схема предлагаемого бимодального распределения
(μ – математическое ожидание; σ – стандартное отклонение; α – весовой коэффициент) [7]

В случае комбинации двух моделей распределения общие данные о погрузке вагонов сегментируются на две части с общей величиной «погрузки» XL, представляющей границу между двумя функциями. При разработке модели смешанного распределения, в том числе для проведения дальнейших исследований, было решено выдвинуть гипотезу о наличии гамма-нормального распределения и на основании этого предложить алгоритм аппроксимации бимодальной функции плотности вероятности с учетом распределения вагонопотоков во времени. Блок-схема на рисунке 2 демонстрирует предлагаемое бимодальное распределение с использованием данных о «погрузке» по стыковому пункту А. ДВЖД за 5 лет (2018–2022 гг.).

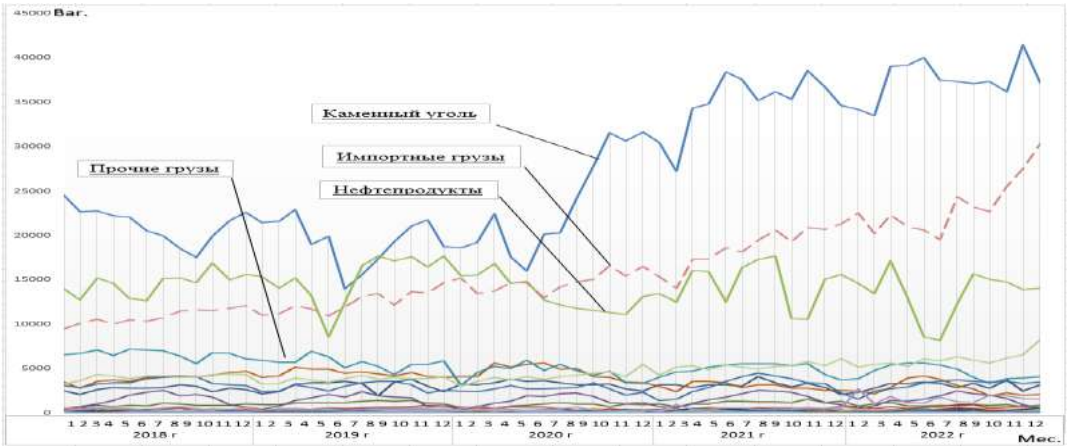


Рисунок 2 – Месячные колебания показателя «Погрузка» по стыковому пункту А.
ДВЖД за 5 лет (2018–2022 гг.)

Проведён детализированный анализ статистических данных об изменении вагонопотоков на одной из железных дорог на Восточном полигоне. Предложен алгоритм исследования сложного закона распределения статистических данных о вагонопотоках при наличии достаточно большого объёма данных.

Список литературы

1 Стратегия развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года : утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 17 июня 2008 г. № 877-р. – URL: https://mintrans.gov.ru/documents/1/1010 (дата обращения: 12.09.2026).

2 **Эсаулов, В. А.** Об оптимальном распределении погрузки на припортовые станции / В. А. Эсаулов, Е. В. Мединцев // Железнодорожный транспорт. – 2026. – № 6. – С. 9–11. – EDN YAGOAA.

3 О перспективах разработки и применения технологии искусственного интеллекта при реализации транспортно-логистических задач в сфере грузовых перевозок / Б. М. Лапидус, А. Т. Осьминин, А. А. Лазарев, А. В. Кабанов // Железнодорожный транспорт. – 2025. – № 5. – С. 4–12. – EDN HJDXVF.

4 **Мозалевская, А. К.** Особенности оценки статистических данных о погрузке-выгрузке на железнодорожном транспорте / А. К. Мозалевская, Р. С. Большаков // Проблемы безопасности на транспорте : материалы XIV Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. пятилетке качества. В 2 ч. Ч. 2, Гомель, 20–21 ноября 2025 г. – Гомель : БелГУТ, 2025. – С. 138–139. – EDN NPAUMI.

5 **Мозалевская, А. К.** Анализ распределения статистических данных о вагонопотоках. Ч. I / А. К. Мозалевская, Е. В. Маловецкая, Р. С. Большаков // Crede Experto: транспорт, общество, образование, язык. – 2025. – № 3 (46). – С. 162–177. – DOI: 10.51955/2312-1327_2025_3_162. – EDN EFYEMG

6 **Мозалевская, А. К.** Анализ распределения статистических данных о вагонопотоках. Ч. II / А. К. Мозалевская, Е. В. Маловецкая, Р. С. Большаков // Crede Experto: транспорт, общество, образование, язык. – 2026. – Т. 13, № 2. – С. 94–110. – DOI: 10.51955/2312-1327-2026-2-94. – EDN LRVAWG.

УДК 539.4.014.13

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ

А. К. МОЗАЛЕВСКАЯ, Р. С. БОЛЬШАКОВ

Иркутский государственный университет путей сообщения, Российская Федерация

Обеспечение комфортных условий для пассажиров при реализации различного вида перевозок является основополагающей задачей для всего железнодорожного транспорта в контексте долгосрочного стратегического развития [1]. В частности, необходимо отметить важность учёта вибрационных процессов при движении пассажирских составов [2–6], а также прочность элементов кузова вагона [7].

В предлагаемом докладе рассматривается применение интегральных преобразований при определении остаточных напряжений.

После определения точек (*A*, *B*), необходимых для построения эпюры поверхностных остаточных напряжений, распределённой по параболическому закону [5] (рисунок 1) и при условии симметричного расположения этих точек, схематичное расположение распределений площадей положительных и отрицательных напряжений с учётом дополнительных параметров можно представить в виде, приведённом на рисунке 1, где проиллюстрирована детализированная расчетная схема, предназначенная для построения соотношений между площадями растягивающих и сжимающих напряжений.

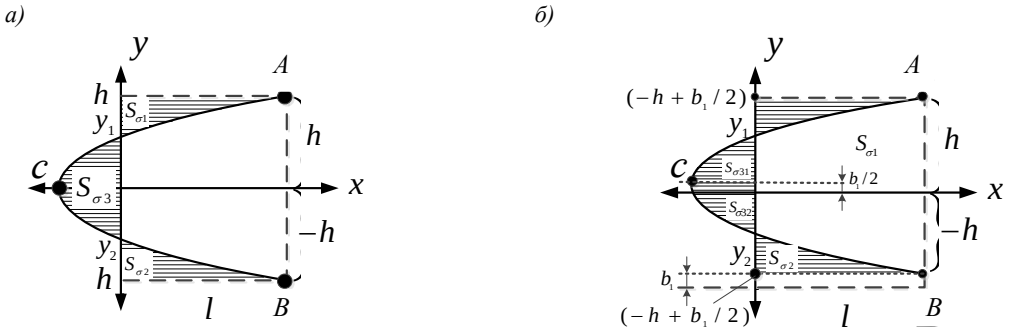


Рисунок 1 – Расчетная (*а*) и детализированная при снятии поверхностного слоя с одной грани (*б*) схемы определения площадей положительных и отрицательных остаточных напряжений

На рисунке 1, *а* представлены площади остаточных напряжений: $S_{\sigma 1}$, $S_{\sigma 2}$ – площади распределения отрицательных напряжений; $S_{\sigma 3}$ – площадь распределения положительных напряжений. Отрицательные напряжения в этом случае полагаются растягивающими, а положительные – сжимающими. Для удоб-

ства при проведении дальнейших математических выкладок, основанных на использовании выражений на базе параболической зависимости и интегральных преобразованиях, необходимо перейти к разделению области сжатия на две части, обозначив их как $S_{\sigma 1}$ и $S_{\sigma 2}$, что позволит уравновесить полученные области с имеющимися областями растягивающих напряжений (см. рисунок 1, *б*).

Предлагаются результаты исследований при снятии поверхностных слоёв с исследуемой заготовки. В первом случае происходит снятие поверхностного слоя толщиной b_1 с нижней грани образца, как показано на рисунке 1.

Параметры эпюры остаточных напряжений связаны через классическое уравнение параболы: $x = ay^2 - c$, $a > 0$, $c > 0$. Срез произведён на величину b_1, что смещает начало координат в сторону верхней грани на на $\frac{b_1}{2}$. В этом случае новые координаты примут следующий вид: верхняя грань $-h + \frac{b_1}{2}$; нижняя грань $h - \frac{b_1}{2}$. Тогда при $S_2 = S_4$ получим следующую систему преобразований [7]

$$S_2 = \left(h - \frac{b_1}{2}\right)\left[\frac{a}{3}\left(h - \frac{b_1}{2}\right)^2 - c\right] + y_2\left[c - \frac{a}{3}{y_2}^2\right], \quad (1)$$

$$S_4 = y_2\left[c - \frac{a{y_2}^3}{3}\right], \quad (2)$$

Отсюда

$$\left(h - \frac{b_1}{2}\right)\left[\frac{a}{3}\left(h - \frac{b_1}{2}\right)^2 - c\right] = 0. \quad (3)$$

С учётом предыдущих выкладок и [7]

$$c = \frac{l}{2}. \quad (4)$$

Заключение

Предложен подход к оценке изменения эпюры остаточных напряжений в алюминиевых заготовках при снятии поверхностного слоя при различных вариантах изменения толщины исследуемого плиты. Представлен математический аппарат, предназначенный для учёта общей картины распределения напряжений при изменении общей геометрии исследуемой заготовки. Показана целесообразность применения интегральных преобразований для прогнозирования изменения эпюры остаточных напряжений в процессе обработки алюминиевых плит.

Список литературы

1 Стратегия развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года : утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 17 июня 2008 г. № 877-р. – URL: https://mintrans.gov.ru/documents/1/1010 (дата обращения: 12.09.2026).

2 Методология системного анализа в задачах оценки, формирования и управления динамическим состоянием технологических и транспортных машин / С. В. Елисеев, А. В. Елисеев, Р. С. Большаков, А. П. Хоменко. – Новосибирск : Наука, 2021. – 679 с. – ISBN 978-5-02-041463-1. – EDN KGATIU.

3 Концепция обратной связи в динамике механических систем и динамическое гашение колебаний / С. В. Елисеев, А. Н. Трофимов, Р. С. Большаков, А. А. Савченко // Наука и образование: науч. изд. МГТУ им. Н. Э. Баумана. – 2012. – № 5. – С. 25. – DOI: 10.7463/0512.0378353. – EDN PGRQDH.

4 **Елисеев, С. В.** Особенности построения компактов упругих элементов в механических колебательных системах. Взаимодействия с элементами систем и формы соединения / С. В. Елисеев, С. В. Ковыршин, Р. С. Большаков // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2012. – № 4 (36). – С. 61–70. – EDN PJKJWT.

5 Патент № 2689901 C2 Российская Федерация, МПК F16F 15/02, F16F 7/10. Устройство управления вибрационным полем технологической машины : № 2017140746 : заявл. 22.11.2017 : опубл. 29.05.2019 / С. В. Елисеев, Р. С. Большаков, А. В. Елисеев [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Иркутский государственный университет путей сообщения. – EDN KTQODK.

6 Возможности интеграции методов теории цепей и теории автоматического управления в задачах динамики машин / С. В. Елисеев, А. О. Московских, Р. С. Большаков, А. А. Савченко // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н. Э. Баумана. – 2012. – № 6. – С. 19. – DOI: 10.7463/0612.0378699. – EDN PGXZJL.

7 **Гозбенко, В. Е.** Математическое моделирование при определении остаточных напряжений / В. Е. Гозбенко, Р. С. Большаков, А. К. Мозалевская // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Математическое моделирование и программирование. – 2026. – Т. 19, № 1. – С. 16–24. – DOI: 10.14529/mmp260102. – EDN PTAKTE.

УДК 621.762.34:539.4

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ СЕЛЕКТИВНОГО ЛАЗЕРНОГО СПЕКАНИЯ

Х. А. НАЙ
Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация

В работе исследуется динамическое поведение материалов, полученных селективным лазерным спеканием (SLS), с позиций механики деформируемого твёрдого тела. Актуальность обусловлена применением аддитивных технологий в авиационной, космической и машиностроительной технике, работающей при вибрационных и динамических нагрузках. Послойное лазерное спекание формирует специфическую микроструктуру, пористость и анизотропию механических свойств, которые влияют на динамические характеристики материала.

SLS-материал представляет собой неоднородную среду. Его механические свойства зависят от мощности лазерного излучения, скорости сканирования, толщины и шага слоя, температуры процесса и ориентации детали относительно направления построения. Поэтому динамические характеристики следует рассматривать как результат взаимодействия технологических параметров и сформированной структуры.

К важным динамическим параметрам относятся собственные частоты колебаний, коэффициент демпфирования, логарифмический декремент, динамический модуль упругости и амплитудно-частотные характеристики. При свободных затухающих колебаниях логарифмический декремент определяется через отношение последовательных амплитуд. Коэффициент демпфирования связан с логарифмическим декрементом; для малых значений демпфирования используют приближённое соотношение. Собственная частота системы определяется эквивалентной жёсткостью и приведённой массой.

Экспериментально предполагается исследовать образцы SLS с различной ориентацией построения и технологическими параметрами. Свободные затухающие колебания регистрируются бесконтактным измерительным средством. Полученные временные зависимости перемещения обрабатываются для определения собственных частот и параметров затухания. Особое внимание уделяется связи микроструктуры, механических свойств и динамического поведения. Наличие пор и межслойных областей изменяет жёсткость и диссипативные свойства материала.

Для математического описания динамического поведения используется модель в виде линейного дифференциального уравнения второго порядка, связывающего массу, коэффициент вязкого демпфирования, жёсткость, перемещение и внешнее динамическое воздействие. Модель позволяет оценить влияние механических характеристик SLS-материала на амплитуду и частоту колебаний. На следующем этапе целесообразно провести конечно-элементное моделирование и сопоставить расчётные результаты с экспериментальными данными.

В качестве программной среды применяется ANSYS Mechanical. Для расчёта задаются геометрия образца, плотность, упругие характеристики, коэффициент Пуассона и параметры демпфирования. При выраженной анизотропии используется ортотропная модель материала. Результатами расчёта являются собственные частоты и соответствующие формы колебаний. Сопоставление экспериментальных и расчётных частот, а также коэффициентов демпфирования выполняется по относительной погрешности.

Научная новизна работы заключается в установлении взаимосвязи между технологическими параметрами формирования SLS-материала и его динамическими характеристиками с учётом структурной неоднородности и анизотропии. Практическая значимость состоит в использовании полученных результатов при проектировании деталей авиационных, космических и машиностроительных конструкций, изготовленных аддитивными методами и подвергающихся вибрационным нагрузкам. Определение собственных частот, жёсткости и характеристик демпфирования повышает точность расчёта конструкций и снижает вероятность резонансных режимов при эксплуатации.

УДК 539.87,51-74,532.546

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПОРОДНОГО МАССИВА ПРИ ЕГО ПОДРАБОТКЕ ОЧИСТНЫМИ ЗАБОЯМИ С ЧАСТИЧНОЙ ЗАКЛАДКОЙ ВЫРАБОТАННОГО ПРОСТРАНСТВА БУТОВЫМИ ПОЛОСАМИ

Д. А. НАУМИК, М. А. НИКОЛАЙЧИК, М. А. ЖУРАВКОВ
Белорусский государственный университет. г. Минск

Разработка месторождений твёрдых полезных ископаемых с закладкой выработанного пространства является широко распространённой практикой. Использование технологии закладки выработанного пространства направлено на уменьшение деформаций подработанного массива горных пород и земной поверхности, управление горным давлением, увеличение извлечения полезного ископаемого из недр, создания условий для безопасного ведения горных работ [1].

Цель исследований заключалась в изучении (методами численного моделирования) влияния закладки выработанного пространства на процессы развития и затухания техногенной трещиноватости в подрабатываемом массиве горных пород.

В рамках исследований рассматривалась технология расположения бутовых полос у буртов лавы. Коэффициент закладки выработанного пространства составлял 25 %.

При построении конечно-элементной модели в области очистного забоя (лавы) использовались трёхмерные восьмиузловые конечные элементы (КЭ). При численном моделировании в области расположения бутовой полосы по мере продвижения очистного забоя сплошные элементы заменялись блочными элементами в виде упругих связей переменной жесткости, моделирующих усадку бутовой полосы.

Максимальная усадка закладочного материала, полученная при лабораторных испытаниях (25 %), оказалась меньше максимальной усадки закладочного материала в шахтных условиях (25–27 %), что объясняется расползанием закладки в натурных условиях под действием нагрузки от смещающихся пород кровли [1].

Поведение закладочного материала описывалось тремя стадиями, определяемыми относительной деформацией ε:

– при $\varepsilon \le \varepsilon_1 = 30$ % сопротивление закладочного материала отсутствует; в диапазоне $\varepsilon_1 < \varepsilon \le \varepsilon_2 =$ = 50 % жёсткость закладочного материала постоянна и составляет $k = E \cdot a / 4$; при $\varepsilon > \varepsilon_2$ жёсткость стремится к бесконечности.

Здесь ε_1 – предел податливости (деформирование без сопротивления); ε_2 – предел уплотнения (полное уплотнение массива).

Для моделирования контакта кровли и подошвы выработанного пространства в последнем также размещались блочные элементы в виде упругих связей переменной жёсткости: с минимальной жёсткостью при их сжатии менее чем на вынимаемую мощность пласта (например, при сжатии менее чем 2,5 м, при вынимаемой мощности 2,5 м) и с максимальной жёсткостью (стремящейся к бесконечности) при сжатии элементов на вынимаемую мощность пласта и более (например, при сжатии на 2,5 м или более, при вынимаемой мощности 2,5 м).

Разрешающая система уравнений состояла [2] из уравнений равновесия, уравнений состояния среды (закон Гука), соотношений Коши и граничных условий, которые будут уточнены далее при описании этапов алгоритма моделирования.

Алгоритм компьютерного моделирования состоял из двух основных расчетных этапов [3].

На *первом* этапе моделирования определялось начальное (естественное) напряженное состояние нетронутого массива горных пород. Расчетная область представляла собой параллелепипед с размерами 4700×4200×1750 метров (длина×ширина×высота). Граничное условие на боковых поверхностях области моделирования состояло в ограничении нормальных перемещений. На нижней границе имело место ограничение вертикальных перемещений. Задача решалась в поле силы тяжести при учете начального поля напряжений.

На *втором* этапе моделирования определялось НДС породного массива при последовательном перемещении очистного забоя (лавы). Граничные условия аналогичны принятым на предыдущем

этапе моделирования. В ходе решения учитывалось поле напряжений, полученное на первом этапе моделирования.

В ходе моделирования массив горных пород рассматривался состоящим из четырех обобщенных слоев: наносов, глинисто-мергилевой толщи (ГМТ) и соляных пород.

Физико-механические свойства рассматриваемых обобщенных слоев и закладочного материала были приняты в соответствии с [1, 4].

В качестве базовой модели реологического поведения массива горных пород была принята линейно-вязкоупругая модель для деформируемых твердых тел. Для описания ползучести горных пород использовалась модель вида

$$\dot{\varepsilon}(t) = C_1 \sigma_{eqv}^{c_2} t^{c_3} e^{-\frac{c_4}{T}}. \quad (1)$$

Набор реологических констант горных пород был получен подбором параметров в рамках верификационных расчётов.

При моделировании в качестве верификационного рассматривался очистной забой, по которому ранее выполнялись наблюдения в рамках системы геомеханического мониторинга. В окрестности очистного столба лавы были установлены реперы, фиксировавшие смещения дневной поверхности. Параметры отработки лавы: вынимаемая мощность пласта (высота лавы) – 2,05 м, длина лавы – 210 м, глубина ведения горных работ – 567 м.

Для оценки характера изменения размеров зон техногенной трещиноватости во времени использовалась величина необходимой мощности водопроводящей зоны трещинообразования **(**ВЗТ) $M_д$. В рассматриваемом случае мощность $M_д$ составляет 117,615 м.

Размер области техногенной трещиноватости в налегающей породной толщи определялся в соответствии с критерием максимальных растягивающих деформаций

$$\varepsilon_1 \leq \varepsilon_{\lim}^{ext}, \quad (2)$$

где ε_1 – первая главная деформация, %; $\varepsilon_{\lim}^{ext}$ – предельное значение деформаций растяжения, %.

По варианту отработки без бутовых полос (случай полного обрушения налегающей толщи) выполнена верификация модели по данным натурных замеров. Расчётные значения оседаний продемонстрировали малое расхождение с натурными данными.

При применении двух бутовых полос расчётные оседания по всем реперам стали меньше относительно варианта без бутовых полос (снижение на 23–26 мм).

Максимальная высота зоны техногенной трещиноватости при применении двух бутовых полос отличается от варианта без бутовых полос незначительно. Разница составила 1,14 м (1 %). Это свидетельствует о минимальном влиянии бутовых полос на высоту зоны техногенной трещиноватости.

Выполнена верификация численной модели по варианту без бутовых полос. Разработанный алгоритм численного моделирования показал малое расхождение расчётных и натурных данных по реперам, что подтверждает корректность численной модели.

Подтверждено, что использование бутовых полос оказывает заметное влияние на величину и характер оседаний дневной поверхности, снижая их в среднем на 11–12 % относительно варианта без бутовых полос. Вместе с тем максимальная высота зоны техногенной трещиноватости изменилась незначительно. Таким образом, бутовые полосы оказывают влияние на оседания дневной поверхности, но практически не изменяют высоту ВЗТ.

Список литературы

1 **Дешковский, В. Н.** Разработка методики расчета высоты распространения зоны водопроводящих трещин для столбовых систем разработки с частичной закладкой выработанного пространства в виде бутовых полос / В. Н. Дешковский, В. Н. Новокшонов, П. П. Палто // Горная механика. – 2007. – № 2. – С. 77–84.

2 **Журавков, М. А.** Механика сплошных сред. Теория упругости и пластичности : учеб. пособие / М. А. Журавков, Э. И. Старовойтов. – Минск : БГУ, 2011. – 543 с.

3 **Zhuravkov, M. A.** A coupled algorithm for numerical analysis of an undermined rock massif stress-strain state / M. A. Zhuravkov, M. A. Nikolaitchik, N. M. Klimkovich // Acta Mech. – 2025. – URL: https://doi.org/10.1007/s00707-025-04394-7 (date of access: 10.09.2026).

4 **Журавков, М. А.** Компьютерное моделирование в геомеханике / М. А. Журавков – Минск : Изд. Центр БГУ, 2008. – 443 с.

УДК 539.31

НЕСТАЦИОНАРНОЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ НЕОГРАНИЧЕННЫХ АНИЗОТРОПНЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК, ОСНОВАННЫХ НА ГИПОТЕЗАХ ЧОУ

А. В. НИКИФОРОВ, Д. О. СЕРДЮК, Г. В. ФЕДОТЕНКОВ
Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация
НИИ механики МГУ им. М. В. Ломоносова, г. Москва, Российская Федерация

Объектом исследования является тонкая, упругая, анизотропная, неограниченная по длине цилиндрическая оболочка постоянной толщины h с упруго-инерционным заполнителем, характеризуемым коэффициентом жесткости c и массовым коэффициентом m_f. В начальный момент времени $t=0$ на внешнюю боковую поверхность оболочки воздействует нестационарное нормальное давление $p(\alpha,z,t)$ с переменной по координатам и времени амплитудой.

Материал оболочки анизотропный, характеризуемый девятью независимыми упругими постоянными c_{11}, c_{12}, c_{16}, c_{22}, c_{26}, c_{44}, c_{45}, c_{55}, c_{66}, с симметрией относительно касательной плоскости к срединной поверхности в каждой ее точке. Математическая модель оболочки построена при обобщении гипотез Чоу [1–3] для тонких пластин на тонкие оболочки. В постановку задачи входят уравнения движения оболочки, начальные условия и условия ограниченности на бесконечности [4, 5].

В качестве основных инструментов исследования нестационарного напряженно-деформированного состояния оболочек выступают метод фундаментальных решений (функций Грина, функций влияния) [4, 5] и принцип суперпозиции. Связь искомых решений с нагрузкой осуществляется с помощью интегрального оператора типа свертки, ядром данного оператора являются фундаментальные решения:

$$\begin{aligned}
w_b(\alpha,z,t) &= \int_0^t\int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\pi}^{\pi} G_b(\alpha-\xi,z-\zeta,t-\tau)\,p(\xi,\zeta,\tau)\,d\xi d\zeta d\tau;\\
w_s(\alpha,z,t) &= \int_0^t\int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\pi}^{\pi} G_s(\alpha-\xi,z-\zeta,t-\tau)\,p(\xi,\zeta,\tau)\,d\xi d\zeta d\tau;\\
u_\alpha(\alpha,z,t) &= \int_0^t\int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\pi}^{\pi} U_\alpha(\alpha-\xi,z-\zeta,t-\tau)\,p(\xi,\zeta,\tau)\,d\xi d\zeta d\tau;\\
u_z(\alpha,z,t) &= \int_0^t\int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\pi}^{\pi} U_z(\alpha-\xi,z-\zeta,t-\tau)\,p(\xi,\zeta,\tau)\,d\xi d\zeta d\tau,
\end{aligned} \tag{1}$$

где w_b, w_c – компоненты нормального перемещения оболочки, вызванного изгибом; w_s – компонент нормального перемещения оболочки, вызванного сдвигом; u_α – перемещения в окружном направлении; u_z – перемещения вдоль образующей оболочки, G_b, G_s, U_α, U_z – фундаментальные решения для соответствующих компонент перемещений.

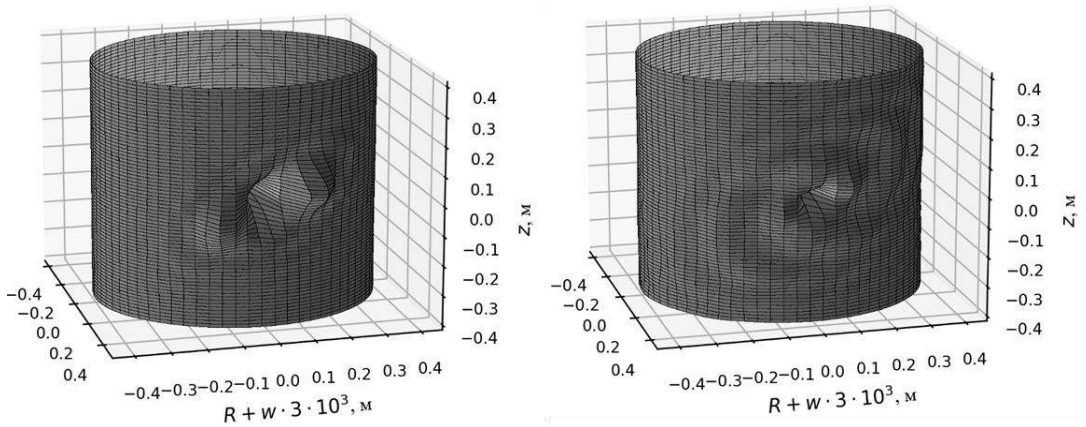
Напряжения и деформации выражаются через перемещения (с учетом физических соотношений):

$$\begin{aligned}
\sigma_\alpha &= \frac{c_{11}}{R}\left(\left(1-\frac{\gamma}{R}\right)\left(\frac{\partial u_\alpha}{\partial\alpha}+w_b+w_s\right)-\frac{\gamma}{R}\frac{\partial^2 w_b}{\partial\alpha^2}\right)+c_{12}\left(\frac{\partial u_z}{\partial z}-\gamma\frac{\partial^2 w_b}{\partial z^2}\right)+\frac{c_{16}}{R}\left(R\frac{\partial u_\alpha}{\partial z}+\left(1-\frac{\gamma}{R}\right)\frac{\partial u_z}{\partial\alpha}-2\gamma\frac{\partial^2 w_b}{\partial\alpha\partial z}\right),\\
\sigma_z &= \frac{c_{12}}{R}\left(\left(1-\frac{\gamma}{R}\right)\left(\frac{\partial u_\alpha}{\partial\alpha}+w_b+w_s\right)-\frac{\gamma}{R}\frac{\partial^2 w_b}{\partial\alpha^2}\right)+c_{22}\left(\frac{\partial u_z}{\partial z}-\gamma\frac{\partial^2 w_b}{\partial z^2}\right)+\frac{c_{26}}{R}\left(R\frac{\partial u_\alpha}{\partial z}+\left(1-\frac{\gamma}{R}\right)\frac{\partial u_z}{\partial\alpha}-2\gamma\frac{\partial^2 w_b}{\partial\alpha\partial z}\right),\\
\tau_{\alpha z} &= \frac{c_{16}}{R}\left(\left(1-\frac{\gamma}{R}\right)\left(\frac{\partial u_\alpha}{\partial\alpha}+w_b+w_s\right)-\frac{\gamma}{R}\frac{\partial^2 w_b}{\partial\alpha^2}\right)+c_{26}\left(\frac{\partial u_z}{\partial z}-\gamma\frac{\partial^2 w_b}{\partial z^2}\right)+\frac{c_{66}}{R}\left(R\frac{\partial u_\alpha}{\partial z}+\left(1-\frac{\gamma}{R}\right)\frac{\partial u_z}{\partial\alpha}-2\gamma\frac{\partial^2 w_b}{\partial\alpha\partial z}\right),\\
\varepsilon_\alpha &= d_{11}\sigma_\alpha+d_{12}\sigma_z+d_{16}\tau_{\alpha z},\ \varepsilon_z = d_{12}\sigma_\alpha+d_{22}\sigma_z+d_{26}\tau_{\alpha z},\ \gamma_{\alpha z} = d_{16}\sigma_\alpha+d_{26}\sigma_z+d_{66}\tau_{\alpha z}.
\end{aligned} \tag{2}$$

где R – радиус оболочки; d_{ij} – компоненты матрицы податливости, $\gamma\in[-h/2;h/2]$.

В качестве примера рассмотрено воздействие на боковую поверхность оболочки нестационарной нормальной сосредоточенной нагрузки $p(\alpha, z, t) = A(t)\delta(\alpha)\delta(z)$, вектор которой проходит через начало координат. Оболочка имеет радиус $R = 0{,}4$ м и толщину стенки $h = 0{,}003$ м. Материал оболочки – углепластик с плотностью $\rho = 1750$ кг/м^3 и упругими постоянными, ГПа $c_{11} = 95{,}5$, $c_{12} = 28{,}9$, $c_{16} = 44{,}7$, $c_{22} = 25{,}9$, $c_{26} = 15{,}6$, $c_{44} = 4{,}4$, $c_{45} = -1{,}78$, $c_{55} = 6{,}45$, $c_{66} = 32{,}7$. Характеристики заполнителя: $m_f = 2$ кг/м^2; $c = 3 \cdot 10^8$ Па/м^3. Характеристики нагрузки: $A(t) = \mu \sin(\omega t) e^{-\sigma t}$; $\mu = -3000;\ \omega = 1000;\ \sigma = 1900$

На рисунке 1 показана пространственная зависимость полного нормального перемещения $w = w_b + w_s$ оболочки при нестационарном воздействии в моменты времени $t = 0{,}5$ мс, $t = 1$ мс. По представленным изображениям видно, что распространение возмущений носит несимметричный характер, что соответствует рассматриваемой анизотропной упругой среде.



$t = 0{,}5$ мс $\qquad$ $t = 1$ мс

Рисунок 1 – Пространственные зависимости распространения прогиба оболочки при нестационарном воздействии

На рисунке 2 показаны распределения напряжений $\sigma_\alpha, \sigma_z, \tau_{\alpha z}$ и деформаций $\varepsilon_\alpha, \varepsilon_z, \gamma_{\alpha z}$ на внешней поверхности оболочки вдоль ее образующей при угловой координате $\alpha = 0$ в момент времени $t = 0{,}5$ мс.

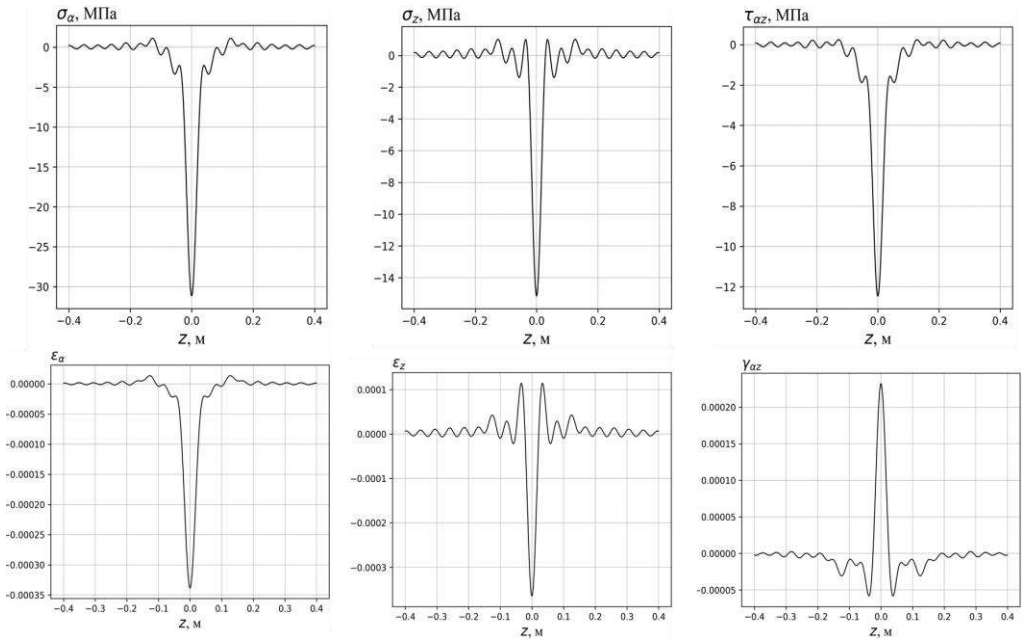


Рисунок 2 – Распределение напряжений и деформаций в момент времени $t = 0{,}5$ мс

Список литературы

1 **Михайлова, Е. Ю.** Общая теория упругих оболочек : учеб. пособие / Е. Ю. Михайлова, Д. В. Тарлаковский, Г. В. Федотенков. – М. : МАИ, 2018. – 112 с.

2 **Chow, T. S.** On the Propagation of Flexural Waves in an Orthotropic Laminated Plate and Its Response to an Impulsive Load / T. S. Chow // Journal of Composite Materials. – 1971. – 5:306. – DOI: 10.1177/002199837100500302.

3 **Timoshenko, S.** On the correction for shear of the differential equation for transverse vibrations of prismatic bars / S. Timoshenko // Phil. Mag., series 6. – Vol. 41, № 1921. – P. 744.

4 **Никифоров, А. В.** Исследование вопросов нестационарной динамики анизотропных цилиндрических оболочек, основанных на гипотезах Чоу / А. В. Никифоров, Д. О. Сердюк, Г. В. Федотенков // Проблемы безопасности на транспорте : материалы XIV Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. пятилетке качества (Гомель, 20–21 ноября 2025 г.) : в 2 ч. Ч. 2 ; под общ. ред. Н. Н. Казакова. – Гомель : БелГУТ, 2025. – С. 139–141.

5 **Никифоров, А. В.** Нестационарная динамика анизотропных цилиндрических оболочек по гипотезам Чоу / А. В. Никифоров, Д. О. Сердюк, Г. В. Федотенков // Проблемы прочности и пластичности. – 2026. – Т. 88, № 2. – С 45–59. – DOI: 10.32326/1814-9146-2026-88-2-45-59.

УДК 621.793.74,519.876.5,532, 533.9

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЛАЗМЕННОГО НАПЫЛЕНИЯ С ЗАЩИТНЫМ КОЖУХОМ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ РАСХОДАХ ТОПЛИВНОЙ СМЕСИ И МОЩНОСТЯХ ИСТОЧНИКА ИОНИЗАЦИИ

М. А. НИКОЛАЙЧИК, И. Н. КАРПОВИЧ, К. А. КОБУСЬ
Белорусский государственный университет. г. Минск

Для обеспечения конкурентоспособности продукции на рынке высокопрочных металлических изделий важно уметь создавать поверхности, которые мало изнашиваются, более устойчивы к потускнению и коррозии, а также сохраняют свои электрические, оптические или тепловые свойства в течение длительного времени. Поверхностная обработка и покрытия играют в этом отношении заметную роль [1]. Газовые напылители представляют собой оборудование, с помощью которого на детали наносят защитные покрытия, работающие в условиях повышенных температур и механических нагрузок (рисунок 1). Такой метод широко востребован для упрочнения лопаток турбин, поршней, клапанов и прочих нагруженных элементов двигателей, которые подвергаются интенсивному износу, нагреву и коррозии. Однако эффективность покрытия во многом зависит от выбора конфигурации напылительной установки и режимов её работы. В связи с этим актуальной задачей является подбор наиболее эффективной геометрической структуры плазменного напылителя, обеспечивающей максимальные скорости и температуры частиц при минимальных тепловых нагрузках на ее конструкцию [2].

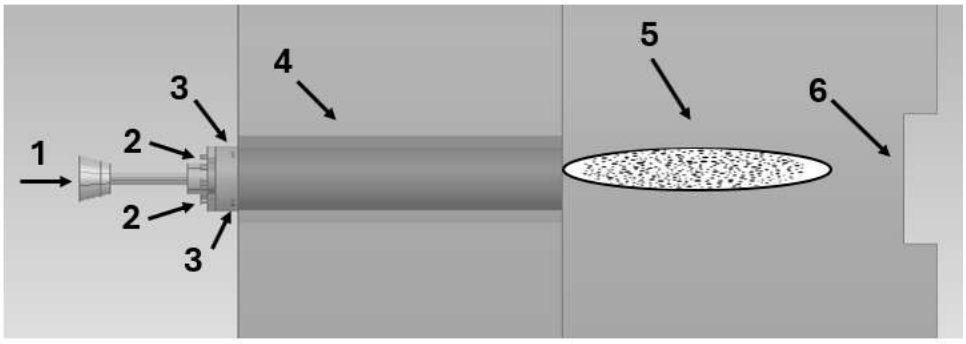


Рисунок 1 – Модель плазменного напылителя:
1 – входное отверстие для плазмообразующего газа; *2* – входные отверстия для вспомогательного потока; *3* – входные отверстия для частиц; *4* – защитный кожух; *5* – область потока газа; *6* – напыляемый образец

Проведение лабораторных испытаний с плазменным напылением требует значительных затрат: необходимы дорогостоящее оборудование и расходные материалы. В связи с этим всё большее распространение получают методы численного моделирования, позволяющие исследовать рассматриваемый процесс без необходимости проведения большого количества лабораторных испытаний.

Использование вычислительных программных комплексов даёт возможность изменять параметры установки и режимы напыления, оценивая их влияние на конечные характеристики покрытия.

Целью исследования является анализ процесса плазменного напыления частиц при различных расходах исходных материалов и сравнение режимов работы при разной мощности источника ионизации при наличии защитного кожуха. Применение кожуха позволяет изолировать плазменную струю от окружающей среды, за счёт чего снижается окисление напыляемых частиц и увеличивается их средняя скорость [3]. В основе исследования лежит построение эффективной расчётной модели плазменного напылителя, позволяющей воспроизвести процесс формирования покрытия на напыляемом образце. Численное моделирование включает в себя определение полей скорости и температуры в рабочей области сопла, а также траекторий, температур и скоростей частиц карбида вольфрама.

Для численного моделирования были заданы граничные условия: расход азота на входе в плазмообразующий канал, две мощности источника ионизации, четыре различных расхода пропановоздушной смеси в канале топливной смеси и расход воздуха, транспортирующего частицы через два канала подачи. Также были заданы теплофизические свойства газовой смеси и азота.

После проведения всех расчётов были проанализированы поля скорости и температуры газового потока, а также скорости, температуры, траектории и количество частиц, попавших на напыляемый образец, при двух значениях мощности источника плазмообразования и четырёх различных расходах пропановоздушной смеси.

В таблице 1 приведён прирост в процентах средней скорости и температуры частиц относительно режима без подачи пропановоздушной смеси для различных мощностей источника образования плазмы.

Таблица 1 – **Прирост скорости и температуры частиц карбида вольфрама при разной мощности источника образования плазмы**

В процентах

Расход	Прирост средней скорость	Прирост средней температуры
Мощность источника образования плазмы 30 кВт		
Минимальный	–5	+8,3
Средний	–15	+30,1
Максимальный	–20	+28,8
Мощность источника образования плазмы 20 кВт		
Минимальный	–7,3	+28,7
Средний	–17,1	+65,5
Максимальный	–23	+67,6

По результатам всех выполненных расчётов были сформулированы основные выводы: снижение мощности источника плазмообразования приводит к заметному уменьшению температуры газового потока. Расход топливной смеси оказывается ключевым фактором, определяющим тепловой режим напылителя: чем он выше, тем интенсивнее нагрев, однако при этом усиливаются локальные перегревы, тогда как скорость газового потока и частиц зависит от расхода в меньшей степени. Для обеих рассмотренных мощностей минимальная средняя скорость частиц на образце наблюдается при максимальном расходе пропановоздушной смеси – поток смеси прижимает частицы к стенкам кожуха, где скорость ниже, и на выходе они движутся под углом к образцу. При минимальном расходе частицы летят ближе к центру и достигают поверхности быстрее, поэтому минимальный расход, вплоть до полного исключения смеси, предпочтителен для сохранения высокой скорости осаждения. Реакция горения пропановоздушной смеси вносит существенный вклад в нагрев потока – её исключение приводит к заметному снижению максимальной температуры.

Список литературы

1 **Fauchais, P.** Overview of Thermal Spray / P. Fauchais, J. V. R. Heberlein // Thermal Spray Fundamentals: From Powder to Part / P. L. Fauchais, J. V. R. Heberlein, M. I. Boulos. – New York : Springer, 2014. – P. 1–20.

2 Численное моделирование процессов высокотемпературного напыления / М. А. Николайчик, А. В. Горбунов, И. Н. Карпович, А. Н. Поляков // Актуальные вопросы машиноведения : сб. науч. тр. / Объедин. ин-т машиностроения НАН Беларуси ; редкол.: С. Н. Поддубко [и др.]. – Минск, 2025. – Вып. 14. – С. 208–211.

3 Эффективность применения защитной насадки при плазменном напылении / А. П. Мурашов, А. П. Грищенко, Н. В. Вигилянская [и др.] // Автоматическая сварка. – 2012. – № 2 (706). – С. 33–37.

УДК 629.7.083

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ ЭНТРОПИИ В НЕРАЗРУШАЮЩЕМ КОНТРОЛЕ ДЕТАЛЕЙ МАШИН МЕТОДОМ КОНТАКТНОЙ РАЗНОСТИ ПОТЕНЦИАЛОВ

В. С. ОЛЕШКО
Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация

Повышение точности измерений физических параметров в процессе неразрушающего контроля (НК) деталей машин (ДМ) является ключевым фактором обеспечения требуемого качества их производства, испытаний, эксплуатации или ремонта [1–4].

Перспективным методом НК является метод контактной разности потенциалов (КРП) [1]. При проведении измерений КРП изменяется информационная энтропия (ИЭ) [5, 6].

Целью работы является оценка и использование изменений величины ИЭ в процессе измерений КРП на поверхности металлических ДМ, а также определение оптимального количества контролей, необходимого для обеспечения необходимого качества их производства, испытаний, эксплуатации или ремонта.

При проведении измерений КРП на поверхности ДМ всегда имеется неопределенность, поскольку результат измерений никогда не бывает абсолютно точным, а представляет собой интервал возможных значений с определённой степенью достоверности.

Неопределенность заложена в самой природе методов НК ДМ. Чем больше неопределенность, тем больше ИЭ. Уменьшение неопределенности критически важно для принятия обоснованных решений при определении качества изготавливаемых или технического состояния эксплуатируемых или ремонтируемых ДМ, что подчеркивает управляющую роль информации.

В контексте измерений КРП, связь между ИЭ и полезной информацией, полученной в результате измерений, можно выразить формулой [5]

$$H + I = 1, \tag{1}$$

где H – ИЭ измерений КРП на поверхности ДМ; I – полезная информация, получаемая при измерениях КРП.

Формула (1) показывает, что рост объема полезной информации I приводит к снижению ИЭ.

Максимальное значение энтропии $H_{\max}$ достигается тогда, когда все возможные состояния объекта контроля равновероятны [5]:

$$H_{\max} = \log_a(N), \tag{2}$$

где a – основание логарифма, определяющее единицу измерения ИЭ (если $a = 2$, то единицы измерения ИЭ биты; если $a = 16$, то байты и т. д.); N – общее число состояний объекта контроля.

Следовательно, получение информации представляет собой процесс уменьшения неопределенности (уменьшения ИЭ) при проведении НК. Качество НК определяется вероятностью обнаружения дефектов $P_{\text{об}}$ и вероятностью их необнаружения $P_{\text{н}}$ согласно формуле [5]

$$P_{\text{об}} + P_{\text{н}} = 1. \tag{3}$$

В условиях практического применения методов НК возникает необходимость повышения их качества путем повышения $P_{\text{об}}$. Одним из путей достижения этой цели является увеличение числа независимых контролей деталей. При увеличении числа независимых процедур обнаружения дефекта n, вероятность его обнаружения $P_{\text{об}}$ можно вычислить по формуле [5]

$$P_{\text{об}}(n) = 1 - (P_{\text{н}})n. \tag{4}$$

При этом ИЭ системы оценивается по формуле [2]

$$H = -P_{об} \cdot \log_2(P_{об}) - P_{н} \cdot \log_2(P_{н}). \quad (5)$$

При увеличении n происходит изменение значений $P_{об}$ и $P_{н}$, что, в свою очередь, влияет на ИЭ системы.

В ходе исследований разработана программа на языке Python, и с ее помощью проведены расчёты величины ИЭ при увеличении количества независимых контролей деталей на основании формул (1)–(5). Результаты расчётов величины ИЭ представлены на рисунке 1.

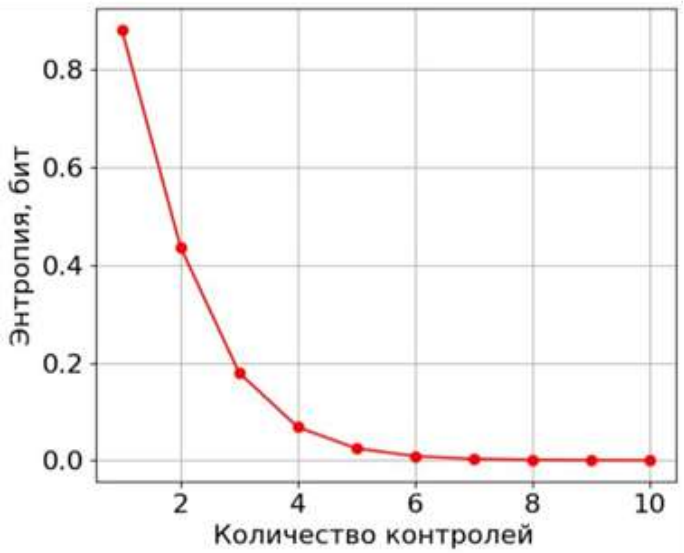


Рисунок 1 – Изменение ИЭ при увеличении количества контролей ДМ

Из рисунка 1 следует, что интенсивное снижение ИЭ происходит на начальном этапе НК. Этим подтверждается эффективность увеличения числа проверок, особенно на ранних этапах контроля. Однако после достижения точки насыщения дальнейшее увеличение числа проверок становится экономически нецелесообразным, поскольку снижение ИЭ замедляется. Это позволяет найти оптимальное количество проверок, которое нужно для установления баланса между вероятностью обнаружения дефектов и затратами на контроль. Оптимальное число проверок находится в области, где кривая ИЭ выходит на плато и приближается к нулю. В данном случае, это число составляет 4 или 5 контролей.

Вывод. В ходе проведенных исследований было установлено, что ИЭ тесно связана с неопределенностью состояния объекта НК. На основе экспериментальных данных определено оптимальное количество независимых контролей (4 или 5), которое позволяет достичь высокого уровня вероятности обнаружения дефектов ДМ. Результаты этих исследований направлены на повышение качества НК металлических ДМ.

Список литературы

1 **Вахтерова, Я. А.** Физически информированные нейронные сети для моделирования геометрически нелинейных колебаний упругого стержня / Я. А. Вахтерова, Г. В. Федотенков // Динамические и технологические проблемы механики конструкций и сплошных сред : материалы XXXII Междунар. симпозиума им. А. Г. Горшкова, Кремёнки, 18–22 мая 2026 г. Т. 2. – М. : ТРП, 2026. – С. 40–42.

2 **Будникова, Д. А.** Колебания пятислойного стержня / Д. А. Будникова // Динамические и технологические проблемы механики конструкций и сплошных сред : материалы XXXII Междунар. симпозиума им. А. Г. Горшкова, Кремёнки, 18–22 мая 2026 г. Т. 1. – М. : ТРП, 2026. – С. 38–40.

3 **Лачугина, Е. А.** Вынужденные колебания пятислойной круговой пластины / Е. А. Лачугина // Динамические и технологические проблемы механики конструкций и сплошных сред : материалы XXXII Междунар. симпозиума им. А. Г. Горшкова, Кремёнки, 18–22 мая 2026 г. Т. 1. – М. : ТРП, 2026. – С. 102–104.

4 **Гончаренко, В. И.** Метод контактной разности потенциалов в оценке энергетического состояния поверхности металлических деталей авиационной техники / В. И. Гончаренко, В. С. Олешко. – М. : Изд-во МАИ, 2019. – 160 с.

5 **Блинова, И. В.** Теория информации / И. В. Блинова, И. Ю. Попов. – СПб. : Ун-т ИТМО, 2018. – 84 с.

6 **Зубарев Н. А.** Обзор методов обработки вибродиагностических сигналов / Н. А. Зубарев // Актуальные исследования. – 2023. – № 15 (145). – Ч. I. – С. 9–11.

УДК 539.377:519.87

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В МНОГОСЛОЙНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ В ПРОЦЕССЕ СИНТЕЗА МЕТОДОМ ПОСЛОЙНОГО ЛАЗЕРНОГО ПЛАВЛЕНИЯ

А. А. ОРЕХОВ, Л. Н. РАБИНСКИЙ, ЛИ ЦЗЭХУА
Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация

Селективное лазерное плавление (СЛП) широко применяется для изготовления деталей сложной геометрии. Однако высокие температурные градиенты и скорость охлаждения приводят к накоплению остаточных напряжений и короблению изделий. Целью данной работы является математическое моделирование процессов в многослойном порошке AlSi10Mg для прогнозирования полей напряжений.

Построена двумерная модель для расчета температурных и механических полей в среде *COMSOL 6.3*. Расчетная схема показана на рисунке 1. Модель включает подложку из сплава *Al5083* и пять слоев порошка AlSi10Mg толщиной 30 мкм. Источником тепла служит движущийся лазерный луч с гауссовым распределением [1]. Граничные условия учитывают конвективный теплообмен, излучение и испарение. Начальная температура порошка и подложки составляет 298,15 и 353,15 К соответственно.

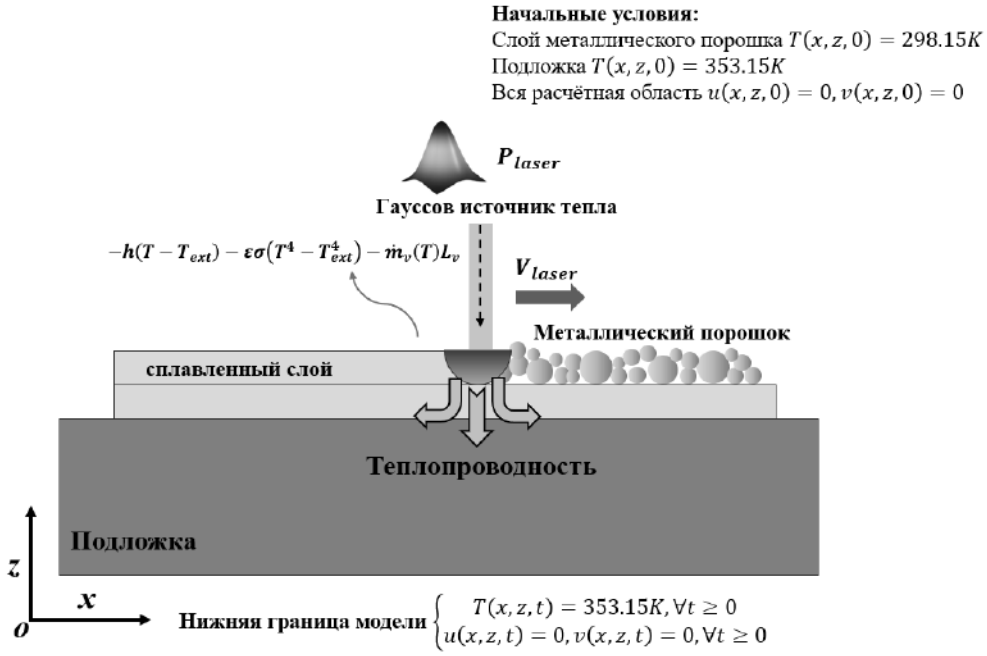


Рисунок 1 – Схематическая диаграмма термомеханических эффектов и граничных условий в порошковом слое в процессе лазерной обработки

Для управления активностью механических элементов в процессе послойного формирования применена технология «рождение и смерть элементов» [2]. Суть технологии состоит в том, что механические элементы могут быть активированы или деактивированы с помощью логических условий. В модели введена переменная состояния $S(T,x,z,t)$, начальное значение которой $S=1$ соответствует порошковому состоянию. Модель учитывает три состояния материала: порошковое, твердое и жидкое. При достижении температуры ликвидуса (T_{liq} = 893 К) материал полностью плавится и переходит в плотное состояние, переменная *S*. становится равной 0 и необратимо фиксируется. Разделение твердого и жидкого состояний осуществляется через температурно-зависимую объемную долю жидкой фазы. Эффективные физические свойства материала рассчитываются с учетом *S* При $S=1$ механические элементы неактивны, что обеспечивает нулевые начальные напряжения в

порошке. При $S = 0$ механические элементы активируются, и в них учитываются температурные деформации. Механическая задача решается поэтапно на основе рассчитанных температурных полей с использованием критерия текучести von Mises. Принята гипотеза плоской деформации: $\varepsilon_{yy}(x,z,t) = 0;\ \varepsilon_{xy}(x,z,t) = 0;\ \varepsilon_{zy}(x,z,t) = 0;\ \forall t \geq 0$. В расчете учтены скрытая теплота плавления и температурная зависимость свойств материала.

Результаты моделирования показали, что распределение температуры имеет выраженный асимметричный характер с максимумом около 3133 К. С увеличением числа слоев наблюдается накопление тепла. Анализ von Mises напряжений выявил их циклический характер. Повторный нагрев последующих слоев вызывает частичную релаксацию напряжений в ранее сформированных слоях. Максимальные остаточные растягивающие напряжения (до 268 МПа) локализованы в зоне соединения детали с подложкой. После завершения сканирования и достаточного охлаждения общий уровень остаточных напряжений в сформированных слоях имеет тенденцию к снижению с увеличением их числа. Установлено, что величина полной деформации по оси X меньше, чем по оси Z. Данное различие деформаций по осям приводит к возникновению коробления изделия.

Разработанная модель позволяет оценивать эволюцию температурных полей и остаточных напряжений в многослойной порошковой среде с учетом фазовых переходов, переменной состояния S и активации механических элементов. Полученные данные могут быть использованы для оптимизации параметров СЛП с целью снижения остаточных напряжений, предотвращения коробления и повышения геометрической точности изделий.

Список литературы

1 **Li, Y.** Parametric analysis of thermal behavior during selective laser melting additive manufacturing of aluminum alloy powder / Y. Li, D. Gu // Mater. Des. – 2014. – Vol. 63. – P. 856–867. – DOI: 10.1016/j.matdes.2014.07.006.

2 A three dimensional finite element analysis of the temperature field during laser melting of metal powders in additive layer manufacturing / I. A. Roberts, C. J. Wang, R. Esterlein [et al.] // Int. J. Mach. Tools Manuf. – 2009. – Vol. 49, № 12–13.– P. 916–923. – DOI: 10.1016/j.ijmachtools.2009.07.004.

УДК 539.3

К РАСЧЕТНОЙ МОДЕЛИ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ГИБКИХ ПОЛОГИХ ОБОЛОЧЕК ПРИ УПРУГО-ПЛАСТИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ

Г. Ф. ПИРНАЗАРОВ
Ташкентский государственный транспортный университет, Республика Узбекистан

О. Р. НУМАНОВ
Таджикский технический университет им. акад. М. С. Осими, г. Душанбе

А. АБДУСАТТАРОВ
Ташкентский государственный транспортный университет, Республика Узбекистан

Пологие оболочки с нелинейными характеристиками широко используются в конструкциях покрытий зданий и сооружений, а также в области машиностроения, авиастроения. Оболочка называется пологой, если ее стрела подъема меньше или равна одной пятой наименьшего линейного размера в плане.

В работах [1, 2] изложены теория и практика расчета тонкостенных элементов современных конструкций типа пластин и оболочек. Приведено систематическое изложение линейной и нелинейной теорий пластин и оболочек из упругого и неупругого материалов, обладающих склерономными или реономными свойствами. Приведены корректные постановки краевых задач и различные эффективные методы решения.

При формировании расчета несущих элементов тонкостенных оболочечных конструкций за пределом упругости при переменном нагружении используется главным образом теория малых упругопластических деформаций, сформулированная А. А. Ильюшиным и В. В. Москвитиным [3, 4]. Ими предложен эффективный метод решения краевых задач – метод упругих решений.

В настоящее время существует ряд удобных модификаций этого метода, позволяющих ускорить сходимость итерационных процессов.

В монографии Э. И. Старовойтова [5] изложены постановка и методы решения задач статики и динамики упругих, упругопластических и вязкоупругопластических трехслойных стержней, пластинок и оболочек. Численно исследована НДС трехслойных цилиндрических оболочек и пластин при действии однократных и циклических нагрузок с учетом тепловых, радиационных воздействий. В [6] рассмотрены деформирования элементов конструкций при исходном и переменном нагружении. Приведены решения задач изгиба пластин и оболочечных конструкций при различных видах нагружений с учетом упругопластических свойств материалов и накопления повреждений.

Рассмотрим задачу о нагружении из естественного состояния гибкой пологой оболочки толщиной h с определенными закреплениями по кромке. Компоненты перемещений определяются по следующим формулам [1]:

$$u_1 = u - \frac{z}{A}\frac{\partial w}{\partial x}; \quad u_2 = v - \frac{z}{B}\frac{\partial w}{\partial \phi}; \quad u_3 = w(x,y). \tag{1}$$

Принимая гипотезу Кирхгофа – Лява, запишем деформации оболочки при исходном нагружении в виде

$$\varepsilon'_{xx} = \varepsilon'_1 - z\chi'_1, \quad \varepsilon'_{yy} = \varepsilon'_2 - z\chi'_2, \quad \varepsilon'_{xy} = 2(\varepsilon'_3 - z\chi'_3)\ . \tag{2}$$

где

$$\varepsilon_1' = \frac{\partial u'}{\partial x} + \frac{1}{2}\left(\frac{\partial w'}{\partial x}\right)^2 - k_1 w'; \quad \varepsilon_2' = \frac{\partial v'}{\partial x} + \frac{1}{2}\left(\frac{\partial w'}{\partial y}\right)^2 - k_2 w'; \quad 2\varepsilon_3' = \frac{\partial u'}{\partial y} + \frac{\partial v'}{\partial x} + \frac{\partial w'}{\partial x}\frac{\partial w'}{\partial y}$$

$$\chi_1' = \frac{\partial^2 w'}{\partial x^2}, \ \chi_2' = \frac{\partial^2 w'}{\partial y^2}, \ \chi_3' = \frac{\partial^2 w'}{\partial x \partial y} \tag{3}$$

Связь между компонентами напряжений и деформаций при упругопластическом нагружении имеет вид [3]

$$\sigma'_{xx} - \frac{1}{2}\sigma'_{yy} = \frac{\sigma'_u}{\varepsilon'_u}\varepsilon'_{xx}, \quad \sigma'_{yy} - \frac{1}{2}\sigma'_{xx} = \frac{\sigma'_u}{\varepsilon'_u}\varepsilon'_{yy}, \quad \sigma'_{xy} = \frac{1}{3}\frac{\sigma'_u}{\varepsilon'_u}\varepsilon'_{xy} \quad , \tag{4}$$

здесь

$$\sigma'_u = \Phi(\varepsilon'_u) = E\varepsilon'_u\left[1 - \omega(\varepsilon'_u)\right]. \tag{5}$$

Согласно формулам (2), (4), (5) запишем связь усилий и моментов с компонентами деформаций срединного слоя.

Уравнения равновесия пологой оболочки с учетом больших прогибов имеют вид [1]

$$\frac{\partial T_1'}{\partial x} + \frac{\partial S'}{\partial y} = 0, \quad \frac{\partial T_2'}{\partial y} + \frac{\partial S'}{\partial x} = 0\ ; \tag{6}$$

$$\frac{\partial^2 M_1'}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 M_2'}{\partial y^2} - 2\frac{\partial^2 H'}{\partial x \partial y} + (k_2 T_2' + k_1 T_1') + T_1'\chi_1' + T_2'\chi_2' + 2S'\chi_3' = -q'. \tag{7}$$

Также должно удовлетворяться и уравнение совместности деформаций

$$\frac{\partial^2 \varepsilon_1'}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varepsilon_2'}{\partial x^2} - 2\frac{\partial^2 \varepsilon_3'}{\partial x \partial y} - (k_1\chi_2' + k_2\chi_1') = \chi_3^2 + \chi_1'\chi_2'. \tag{8}$$

Предполагаем, что в данной оболочке производятся разгрузка и последующее знакопеременное нагружение. Вводим разности величин [4]:

$$\bar{\sigma}_{ij} = \sigma'_{ij} - \sigma''_{ij}; \quad \bar{\varepsilon}_{ij} = \varepsilon'_{ij} - \varepsilon''_{ij}; \quad \bar{w} = w' - w'', \ldots \tag{9}$$

Аналогично формуле (2) для деформации $\bar{\varepsilon}_{ij}$ примем

$$\bar{\varepsilon}_{xx} = \bar{\varepsilon}_1 - z\bar{\chi}_1, \quad \bar{\varepsilon}_{yy} = \bar{\varepsilon}_2 - z\bar{\chi}_2, \quad \bar{\varepsilon}_{xy} = 2(\bar{\varepsilon}_3 - z\bar{\chi}_1). \tag{10}$$

Деформации срединной поверхности оболочки при повторном нагружении определяем по следующим формулам:

$$\bar{\varepsilon}_1 = \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \frac{1}{2}\left(\frac{\partial \bar{w}}{\partial x}\right)^2 - k_1\bar{w}; \quad \bar{\varepsilon}_2 = \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} + \frac{1}{2}\left(\frac{\partial \bar{w}}{\partial y}\right)^2 - k_2\bar{w}; \quad 2\bar{\varepsilon}_3 = \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{w}}{\partial x}\frac{\partial \bar{w}}{\partial y}; \tag{11}$$

Уравнения состояния представим при повторном нагружении в виде

$$\frac{1}{Eh}\left(\bar{T}_1 - \frac{1}{2}\bar{T}_2\right) = \left(1 - \frac{1}{2}\bar{\Omega}_1\right)\bar{\varepsilon}_1 + \frac{h}{4}\bar{\Omega}_2\bar{\chi}_1, \qquad \frac{1}{Eh}\left(\bar{T}_2 - \frac{1}{2}\bar{T}_1\right) = \left(1 - \frac{1}{2}\bar{\Omega}_1\right)\bar{\varepsilon}_2 + \frac{h}{4}\bar{\Omega}_2\bar{\chi}_2;$$

$$\frac{3}{2}\frac{1}{Eh}\bar{S} = \left(1 - \frac{1}{2}\bar{\Omega}_1\right)\bar{\varepsilon}_3 + \frac{h}{4}\bar{\Omega}_2\bar{\chi}_3; \tag{12}$$

$$\frac{4}{3D}\left(\bar{M}_1 - \frac{1}{2}\bar{M}_2\right) = -\frac{3}{h}\bar{\Omega}_2\bar{\varepsilon}_1 - \left(1 - \frac{1}{2}\bar{\Omega}_3\right)\bar{\chi}_1, \quad \frac{4}{3D}\left(\bar{M}_2 - \frac{1}{2}\bar{M}_1\right) = -\frac{3}{h}\bar{\Omega}_2\bar{\varepsilon}_2 - \left(1 - \frac{3}{2}\bar{\Omega}_3\right)\bar{\chi}_2;$$

$$\frac{2H}{D} = -\frac{3}{h}\bar{\Omega}_2\bar{\varepsilon}_3 - \left(1 - \frac{3}{2}\bar{\Omega}_3\right)\bar{\chi}_3, \tag{13}$$

где

$$\bar{\Omega}_i = \int_{-1}^{1} \bar{\omega} z^{*(i-1)} dz^*; \quad z^* = \frac{2z}{h}; \; \bar{\Omega}_4 = \left(1 - \frac{1}{2}\bar{\Omega}_1\right)^{-1}; \quad \bar{\Omega}_5 = \bar{\Omega}_4\bar{\Omega}_2; \quad \bar{\Omega} = \frac{3}{4}\left(\bar{\Omega}_2{}^2\bar{\Omega}_4 + 2\bar{\Omega}_3\right). \tag{14}$$

Функция пластичности с учетом повреждаемости материалов имеет вид

$$\boldsymbol{\omega}^{(n)} = \begin{cases} \mathbf{0}, при \bar{\boldsymbol{\varepsilon}}_u^{(n)} \le \bar{\boldsymbol{\varepsilon}}_s^{(n)}(\boldsymbol{\eta}) \\ \boldsymbol{\lambda}_n\left[\mathbf{1} - \dfrac{\bar{\boldsymbol{\varepsilon}}_s^{(n)}(\boldsymbol{\eta})}{\bar{\boldsymbol{\varepsilon}}_u^{(n)}}\right], при \bar{\boldsymbol{\varepsilon}}_u^{(n)} > \bar{\boldsymbol{\varepsilon}}_s^{(n)}(\boldsymbol{\eta}) \end{cases}$$

В случае обобщенного принципа Мазинга $\boldsymbol{\lambda_n = \lambda}$, $\bar{\boldsymbol{\varepsilon}}_u^{(n)} = \boldsymbol{\alpha_n \varepsilon_s}$, а при учете накопления повреждений

$$\bar{\varepsilon}_s^{(n)}(\eta) = \alpha_1^{n-z}(1+\alpha_1)\varepsilon_s + (3G)^{-1}B^{1/\alpha} \cdot [1 - 0{,}5(1+\alpha_1)\alpha_1^{n-2}][1 - (1-\eta)^{1+\alpha}]^{1/\alpha}(n-1)^{-1/\alpha}$$

Функция повреждаемости η определяется из кинетического уравнения

$$\frac{d\eta}{dn} = f(\bar{\sigma}_u, \eta_n) \text{ или } \eta = \int_0^n F(n-m)\psi\left(\bar{\sigma}_u^{(n)}\right)dm \tag{15}$$

при условии $\eta(0) = 0$, $\eta(N) = 1$, где N – число полуциклов до наступления предельного состояния (разрушения).

Следуя (6)–(8), составим уравнения равновесия и условия совместности деформаций для величин с «чертой»:

$$\frac{\partial \bar{T}_1}{\partial x} + \frac{\partial \bar{S}}{\partial y} = 0, \quad \frac{\partial \bar{S}}{\partial x} + \frac{\partial T_2}{\partial y} = 0; \tag{16}$$

$$\frac{\partial^2 \bar{M}_1}{\partial x^2} + 2\frac{\partial^2 \bar{H}}{\partial x \partial y} + \frac{\partial^2 \bar{M}_2}{\partial y^2} + (k_2\bar{T}_2 + k_1\bar{T}_1) + \bar{T}_1\bar{\chi}_1 + \bar{T}_2\bar{\chi}_2 + 2\bar{S}\bar{\chi}_3 = -(\bar{q} + \bar{Q}); \tag{17}$$

$$\frac{\partial^2 \bar{\varepsilon}_1}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 \bar{\varepsilon}_2}{\partial x^2}-2\frac{\partial^2 \bar{\varepsilon}_3}{\partial x \partial y}-(k_2\bar{\chi}_1-k_1\bar{\chi}_2)=\bar{\chi}_3^2-\bar{\chi}_1\bar{\chi}_2+\bar{\Gamma}. \tag{18}$$

Представим функцию напряжений в виде

$$\bar{T}_1=Eh\frac{\partial^2\bar{\phi}}{\partial y^2};\qquad \bar{T}_2=Eh\frac{\partial^2\bar{\phi}}{\partial x^2};\qquad \bar{S}_1=-Eh\frac{\partial^2\bar{\phi}}{\partial x\partial y}; \tag{19}$$

Учитывая (12) и уравнения равновесия (16), (17), а также условие совместности (18), получим следующие системы нелинейных уравнений для определения прогиба и функции напряжений:

1) $$\nabla^4\overline{w}-\frac{\partial^2}{\partial x^2}\left[\overline{\Omega}\left(\overline{\chi}_1+\frac{1}{2}\overline{\chi}_2\right)\right]-\frac{\partial^2}{\partial y^2}\left[\overline{\Omega}\left(\frac{1}{2}\overline{\chi}_1+\overline{\chi}_2\right)\right]-\frac{\partial^2}{\partial y^2}\left(\overline{\Omega}\overline{\chi}_3\right)+\frac{9}{4h}\left[\frac{\partial^2}{\partial y^2}\left(\overline{\Omega}_5\frac{\partial^2\overline{F}}{\partial y^2}\right)+\right.$$
$$\left.+\frac{\partial^2}{\partial y^2}\left(\overline{\Omega}_5\frac{\partial^2\overline{F}}{\partial y^2}\right)-2\frac{\partial^2}{\partial x\partial y}\left(\overline{\Omega}_5\frac{\partial^2\overline{F}}{\partial y^2}\right)\right]-\frac{9}{h^2}\left[\frac{\partial^2\overline{F}}{\partial y^2}\overline{\chi}_1+\frac{\partial^2\overline{F}}{\partial x^2}\overline{\chi}_2-2\frac{\partial^2\overline{F}}{\partial x\partial y}\overline{\chi}_3=\frac{1}{D}\left(\overline{q}+\overline{Q}\right)\right]; \tag{20}$$

2) $$\frac{\partial^2}{\partial x^2}\left[\overline{\Omega}_4\left(\frac{\partial^2\overline{F}}{\partial x^2}-\frac{1}{2}\frac{\partial^2\overline{F}}{\partial y^2}\right)\right]+\frac{\partial^2}{\partial y^2}\left[\overline{\Omega}_4\left(\frac{\partial^2\overline{F}}{\partial y^2}-\frac{1}{2}\frac{\partial^2\overline{F}}{\partial x^2}\right)\right]+3\frac{\partial^2}{\partial x\partial y}\left[\overline{\Omega}_4\frac{\partial^2\overline{F}}{\partial x\partial y}\right]-\frac{h}{4}\left[\frac{\partial^2}{\partial y^2}\left(\overline{\Omega}_5\overline{\chi}_1\right)+\right.$$
$$\left.+\frac{\partial^2}{\partial x^2}\left(\overline{\Omega}_5\overline{\chi}_2\right)-2\frac{\partial^2}{\partial x\partial y}\left(\overline{\Omega}_5\overline{\chi}_3\right)\right]=\overline{\chi}_3^2-\overline{\chi}_1\overline{\chi}_2+\overline{\Gamma}. \tag{21}$$

Здесь

$$\overline{Q}=Eh\left\{\left[\frac{\partial^2\overline{F}}{\partial y^2}\left(\chi'_1-\overline{\chi}_1\right)+\overline{\chi}_1\frac{\partial^2\left(F'-\overline{F}\right)}{\partial y^2}\right]+\left[\frac{\partial^2\overline{F}}{\partial x^2}\left(\chi'_2-\overline{\chi}_2\right)+\overline{\chi}_2\frac{\partial^2\left(F'-\overline{F}\right)}{\partial x^2}\right]+\right.$$
$$\left.+2\left[\frac{\partial^2\overline{F}}{\partial x\partial y}\left(\chi'_1-\overline{\chi}_2\right)+\overline{\chi}_3\frac{\partial^2\left(F'-\overline{F}\right)}{\partial x\partial y}\right]\right\};$$
$$\overline{\Gamma}=\left[\frac{\partial\overline{w}}{\partial x}\frac{\partial(w'-\overline{w})}{\partial x}\right]-\left[\frac{\partial\overline{w}}{\partial y}\frac{\partial(w'-\overline{w})}{\partial y}-\frac{\partial}{\partial x\partial y}\left\{\frac{\partial\overline{w}}{\partial x}\frac{\partial(w'-\overline{w})}{\partial y}-\frac{\partial\overline{w}}{\partial y}\frac{\partial(w'-\overline{w})}{\partial x}\right\}\right]. \tag{22}$$

Заметим, полученные системы уравнений для пологих оболочек при повторном нагружении отличаются от соответствующих уравнений исходного нагружения дополнительной силой $\overline{Q}$ и дополнительной «кривизной» $\overline{\Gamma}$ в уравнении совместности [6]. Для решения краевых задач используется метод последовательных приближений. К приведенным уравнениям необходимо присоединить соответствующие граничные условия. В частном случае из (20), (21) вытекают уравнения изгиба гибких пластин при переменном нагружении.

Список литературы

1 **Огибалов, П. М.** Оболочки и пластины / П. М. Огибалов, М. А. Колтунов. – М. : Изд-во Московского ун-та, 1969. – 695 с.

2 **Амосов А. А.** Техническая теория тонких упругих оболочек : монография / А. А. Амосов. – М. : АСВ, 2009. – 304 с.

3 **Ильюшин, А. А.** Труды. Пластичность / А. А. Ильюшин. – М. : Логос, 2004. – 388 с.

4 **Москвитин, В. В.** Циклические нагружения элементов конструкций / В. В. Москвитин. – М. : URSS, 2019. – 344 с.

5 **Старовойтов, Э. И.** Вязкоупругопластические слоистые пластины и оболочки / Э. И. Старовойтов. – Гомель : БелГУТ. –2002. – 344 с.

6 **Абдусаттаров, А.** Моделирование процессов деформирования элементов конструкций при однократных и циклических нагружениях с учетом повреждаемости / А. Абдусаттаров, Ғ. Ф. Пирназаров, Н. Х. Сабиров. – Ташкент : ТГТУ ; Транспорт, 2026. – 174 с.

УДК 539.374

ДЕФОРМИРОВАНИЕ МЕТАЛЛОПОЛИМЕРНОЙ ТРЕХСЛОЙНОЙ ПЛАСТИНЫ НА УПРУГОМ ОСНОВАНИИ

Ю. М. ПЛЕСКАЧЕВСКИЙ
Национальная академия наук Беларуси, г. Минск

Расчету напряженно-деформированного состояния трехслойных металлополимерных конструкций посвящен ряд монографий, в том числе [1–10]. В статьях [11–13] исследуется деформирование трехслойных пластин при динамических нагрузках. Квазистатическое нагружение трехслойных конструкций в термомеханических полях рассмотрено в [14–23]. Здесь исследуется цилиндрический изгиб упругопластической трехслойной прямоугольной пластины с жестким заполнителем. На внешние металлические слои действуют распределенная нагрузка $q(x)$ и реакция упругого основания Винклера $q_r(x)$. Для описания кинематики пакета приняты гипотезы ломаной линии: в несущих слоях справедливы гипотезы Кирхгофа, в несжимаемом по толщине полимерном заполнителе нормаль остается прямолинейной, не изменяет своей длины, но поворачивается на некоторый дополнительный угол, составляющий с координатными осями величины $\psi_x(x, y)$, $\psi_y(x, y)$.

Система координат x, y, z связывается со срединной плоскостью заполнителя. На контуре пластины предполагается наличие жесткой диафрагмы, препятствующей относительному сдвигу слоев. Уравнения равновесия следуют из вариационного принципа Лагранжа. В слоях пластины используются физические уравнения состояния в соответствии с теорией малых упругопластических деформаций Ильюшина:

$$s_{ij}^{(k)} = 2G_k(1-\omega_k(\varepsilon_u^{(k)}))\vartheta_{ij}^{(k)},$$
$$\sigma^{(k)} = 3K_k\varepsilon^{(k)} \quad (k = 1, 2, 3;\ i, j = x, y, z),$$

где $s_{ij}^{(k)}$, $\vartheta_{ij}^{(k)}$ – девиаторы; $\sigma^{(k)}$, $\varepsilon^{(k)}$ – шаровые части тензоров напряжений и деформаций; G_k, K_k – модули сдвиговой и объемной деформации; $\omega_k(\varepsilon_u^{(k)})$ – функции физической нелинейности материалов; $\varepsilon_u^{(k)}$ – интенсивность деформаций; k – номер слоя.

Система нелинейных дифференциальных уравнений равновесия рассматриваемой пластины точного решения не имеет. В итерациях она будет следующей:

$$a_1 u_{,xx}^{(n)} + a_2 \psi_{,xx}^{(n)} - a_3 w_{,xxx}^{(n)} = p_\omega^{(n-1)};$$
$$a_2 u_{,xx}^{(n)} + a_4 \psi_{,xx}^{(n)} - a_6 w_{,xxx}^{(n)} - a_5 \psi^{(n)} = h_\omega^{(n-1)};$$
$$a_3 u_{,xxx}^{(n)} + a_6 \psi_{,xxx}^{(n)} - a_7 w_{,xxxx}^{(n)} + \kappa w^{(n)} = q_0 - q_\omega^{(n-1)}.$$

где a_i (i = 1, …, 10) – коэффициенты, отражающие упругие и геометрические параметры пластины, слагаемые с индексом ω, включают нелинейные добавки.

В случае граничных условий свободного опирания пластины по кромкам на неподвижные в пространстве жесткие опоры решение этой системы представимо в виде

$$u^{(n)} = \sum_{m=1}^{\infty} U_m^{(n)} \cos\frac{\pi m x}{l},\ \psi^{(n)} = \sum_{m=1}^{\infty} \Psi_m^{(n)} \cos\frac{\pi m x}{l},\ w^{(n)} = \sum_{m=1}^{\infty} W_m^{(n)} \sin\frac{\pi m x}{l},$$

где U_{1mn}, Ψ_{1mn}, $W_m^{(n)}$ – искомые амплитуды перемещений.

Система алгебраических уравнений относительно искомых амплитуд следует из исходных уравнений, после подстановки в них выражений для перемещений. Решение этой системы можно выписать в определителях или получать на каждом шаге итерации численно.

Список литературы

1 **Плескачевский, Ю. М.** Деформирование металлополимерных систем / Ю. М. Плескачевский, Э. И. Старовойтов, А. В. Яровая. – Минск : Бел. навука, 2004. – 342 с.

2 **Плескачевский, Ю. М.** Механика трехслойных стержней и пластин, связанных с упругим основанием / Ю. М. Плескачевский, Э. И. Старовойтов, Д. В. Леоненко. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2011. – 560 с.

3 **Плескачевский, Ю. М.** Динамика металлополимерных систем / Ю. М. Плескачевский, Э. И. Старовойтов, А. В. Яровая. – Минск : Бел. навука, 2004. – 386 с.

4 **Zhuravkov, M. A.** Mechanics of Solid Deformable Body / M. A. Zhuravkov, Lyu Yongtao, E. I. Starovoitov. – Singapore : Springer, 2022. – 317 p.

5 Deformation of Three-layer Structural Elements in Thermal Radiation Fields / E. I. Starovoitov, M. A. Zhuravkov, D. V. Leonenko, Lyu Yongtao. – Springer Nature Singapore, Pte Ltd, 2024. – 384 p.

6 Деформирование трехслойных пластин при термосиловых нагрузках / Э. И. Старовойтов, Ю. В. Шафиева, А. В. Нестерович, А. Г. Козел. – Гомель : БелГУТ, 2024. – 395 с.

7 **Старовойтов, Э. И.** Механика материалов / Э. И. Старовойтов. – Гомель : БелГУТ, 2011. – 380 с. – ISBN 978-985-468-720-9. – EDN SRNTHC.

8 **Старовойтов, Э. И.** Сопротивление материалов / Э. И. Старовойтов. – Гомель : БелГУТ, 2004. – 376 с. – ISBN 985-6550-79-3. – EDN IZTRBI.

9 **Старовойтов, Э. И.** Сопротивление материалов / Э. И. Старовойтов. – Гомель : БелГУТ, 2025. – 396 с.

10 **Яровая, А. В.** Строительная механика. Статика стержневых систем / А. В. Яровая. – Гомель : БелГУТ, 2013. – 447 с. – ISBN 978-985-468-954-8.

11 **Старовойтов, Э. И.** Колебания трехслойных цилиндрических оболочек в упругой среде Винклера при резонансе / Э. И. Старовойтов, Д. В. Леоненко, Ю. М. Плескачевский // Механика машин, механизмов и материалов. – 2013. – № 4 (25). – С. 70–73. – EDN RVNKPD.

12 **Старовойтов, Э. И.** Колебания трехслойной пластины, вызванные тепловым ударом и импульсной нагрузкой / Э. И. Старовойтов, Ю. М. Плескачевский, Д. В. Леоненко // Инженерно-физический журнал. – 2025. – Т. 98, № 3. – С. 764–772. – EDN IEFRVN.

13 **Leonenko, D. V.** Vibrations of Cylindrical Sandwich Shells with Elastic Core under Local Loads / D. V. Leonenko, E. I. Starovoitov // International Applied Mechanics. – 2016. – Vol. 52, № 4. – P. 359–367. – DOI: 10.1007/s10778-016-0760-8. – EDN YVTYID.

14 Металлополимерная пластина на упругом основании. Ч. 1. Равномерная нагрузка / Ю. М. Плескачевский, Э. И. Старовойтов, А. В. Яровая, Д. В. Леоненко // Весці НАНБ. Сер. фізіка-тэхнічных навук. – 2005. – № 3. – С. 48–52.

15 Металлополимерная пластина на упругом основании. Ч. 2. Локальная нагрузка / Ю. М. Плескачевский, Э. И. Старовойтов, А. В. Яровая, Д. В. Леоненко // Весці НАНБ. Сер. фізіка-тэхнічных навук. – 2005. – № 4. – С. 41–45.

16 **Starovoitov, E. I.** Thermal Force Loading of a Physically Nonlinear Three-Layer Circular Plate / E. I. Starovoitov, D. V. Leonenko, Y. M. Pleskachevskii // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. – 2020. – Vol. 93, № 3. – P. 533–542. – DOI: 10.1007/s10891-020-02150-3. – EDN ADXXUR.

17 **Плескачевский, Ю. М.** Деформирование трехслойного металлополимерного стержня сосредоточенными нагрузками / Ю. М. Плескачевский, Э. И. Старовойтов, А. В. Яровая // Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия физико-технических наук. – 2005. – № 1. – С. 25–30. – EDN QVBXWL.

18 **Старовойтов, Э. И.** Термосиловое локальное нагружение физически нелинейной трехслойной круговой пластины / Э. И. Старовойтов, Ю. М. Плескачевский, Д. В. Леоненко // Инженерно-физический журнал. – 2020. – Т. 93, № 3. – С. 554–564. – EDN QWPBDG.

19 Термосиловой изгиб трехслойной балки со сжимаемым заполнителем / М. А. Журавков, Д. В. Леоненко, Ю. М. Плескачевский, Э. И. Старовойтов // Доклады Национальной академии наук Беларуси. – 2017. – Т. 61, № 4. – С. 96–102. – EDN ZGYWIJ.

20 **Старовойтов, Э. И.** Нелинейное термосиловое деформирование трехслойной цилиндрической оболочки / Э. И. Старовойтов, Ю. М. Плескачевский, А. Абдусаттаров // Актуальные вопросы машиноведения. – 2025. – Т. 14. – С. 7–10. – EDN JGJMYL.

21 **Старовойтов, Э. И.** Сэндвич-пластина под действием резонансной круговой нагрузки в температурном поле / Э. И. Старовойтов, Д. В. Леоненко, А. Абдусаттаров // Проблемы механики. – 2025. – Т. 34, № 1. – С. 10–16. – EDN QZJRCG.

22 **Старовойтов, Э. И.** Деформирование локальными нагрузками композитной пластины на упругом основании / Э. И. Старовойтов, Д. В. Леоненко, М. Сулейман // Механика композитных материалов. – 2007. – № 1 (43). – С. 109–120.– EDN DIPPEO.

23 **Старовойтов, Э. И.** Деформирование трехслойной пластины со сжимаемым заполнителем в температурном поле / Э. И. Старовойтов, Ю. В. Шафиева, Г. В. Москвитин // Журнал Белорусского государственного университета. Математика. Информатика. – 2025. – № 1. – С. 58–67.

УДК 517.958

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО ДЕМПФИРОВАНИЯ СТЕНКИ КОЛЬЦЕВОГО КАНАЛА ПРИ НЕСИММЕТРИЧНОМ ТОРЦЕВОМ ИСТЕЧЕНИИ

В. С. ПОПОВ
Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю. А., Российская Федерация
Институт проблем точной механики и управления Российской академии наук – обособленное структурное подразделение Федерального исследовательского центра «Саратовский научный центр РАН»

Л. И. МОГИЛЕВИЧ, А. А. ПОПОВА
Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю. А., Российская Федерация

М. В. ПОПОВА
Саратовский национальный исследовательский государственный университет им. Н. Г. Чернышевского, Российская Федерация

Математические модели для исследования гидродемпфирования посредством вязкой жидкости играют важную роль при проектировании изделий современного транспортного комплекса. Построение таких моделей связано с решением задач о взаимодействии упругозакрепленных конструкций с жидкостью [1–3]. Как правило, в гидродемпферах и системах газо- и гидропривода жесткие элементы в виде пластин и цилиндров образуют стенки узких каналов с вязкой жидкостью [4, 5]. В [6] исследован узкий кольцевой канал с жесткими стенками (внешней вибрирующей и неподвижной внутренней) и показано преобладание в жидкости вязких сил над силами инерции. В [7, 8] исследованы кольцевые каналы с внутренней и внешней жесткой стенкой соответственно при симметричном торцевом истечении: в [7] – с внешней стенкой как балка кольцевого сечения, окруженная упругой средой, а в [8] – с внутренней стенкой в виде ребристой оболочки. Однако в указанных выше работах не рассмотрена задача о колебаниях упругозакрепленной внутренней жесткой стенки кольцевого канала, вызванных вибрацией его внешней стенки при несимметричном торцевом истечении.

Рассмотрим узкий кольцевой канал со стенками в виде двух жестких цилиндров (полого и сплошного), одинаковой длины 2ℓ (рисунок 1). Канал заполнен вязкой несжимаемой жидкостью, на левом торце свободное истечение в ту же жидкость, а на правом имеется торцевое уплотнение. Внешняя стенка канала совершает гармонические колебания в направлении нормали к ее образующей, возбуждая поперечные колебания в том же направлении упругозакрепленной внутренней стенки. Амплитуда колебаний внешней и внутренней стенок z_{0m} и z_m соответственно, значительно меньше зазора δ между ними в невозмущенном состоянии. Изучаем установившиеся колебания, т. к. диссипативные свойства тонкого слоя жидкости ведут к быстрому затуханию собственных колебаний в рассматриваемой механической системе. Вводим декартову систему координат $Oxyz$ и соответствующую ей цилиндрическую систему $Or\theta y$, центры которых совпадают с центром стенки внутреннего цилиндра в невозмущенном состоянии.

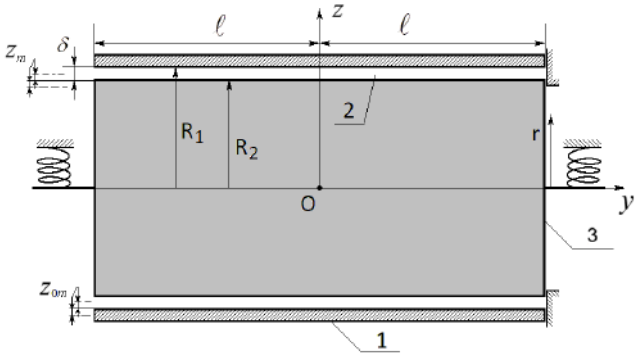


Рисунок 1 – Узкий кольцевой канал с несимметричным торцевым истечением:
1 – внешняя вибрирующая стенка; *2* – вязкая жидкость; *3* – внутренняя стенка на линейно-упругом подвесе

Согласно [5, 6] движение вязкой жидкости в узком канале ползущее и описывается уравнениями Навье – Стокса, без инерционных членов, дополненные уравнением неразрывности

$$\nabla p = \mu \Delta \mathbf{U}\ ,\ \nabla \mathbf{U} = 0\ , \tag{1}$$

граничные условия для уравнений динамики жидкости (1) записываются как

$$V_r = \frac{dz}{dt}\cos\theta, V_\theta = -\frac{dz}{dt}\sin\theta,\ V_y = 0\ \text{ при }\ r = R_2\ ; \tag{2}$$

$$V_r = \frac{dz_0}{dt}\cos\theta, V_\theta = -\frac{dz_0}{dt}\sin\theta,\ V_y = 0\ \text{ при }\ r = R_1\ ;$$

$$p = p_0\ \text{ при } y = -\ell\ , \frac{\partial p}{\partial y} = 0\ \text{ при }\ y = \ell\ , \tag{3}$$

где Δ – оператор Лапласа; ∇ – оператор Гамильтона; p – давление жидкости; $\mathbf{U}(V_r, V_\theta, V_y)$ – вектор скорости жидкости; μ – коэффициент динамической вязкости жидкости; $z_0 = z_{0m} f_0(\omega t)$ – заданный закон движения внешней стенки канала; $z = z_m f(\omega t)$ – искомый закон движения внутренней стенки канала; ω – частота вибраций стенок канала; p_0 – постоянный уровень давления на левом торце канала.

Уравнение движения внутренней стенки канала запишем как [7]

$$m\frac{d^2 z}{dt^2} + nz = \int_0^{2\pi}\int_{-\ell}^{\ell}\left[q_\theta \sin\theta - q_r \cos\theta\right]_{r=R_2} R_2 d\theta\, dy\ . \tag{4}$$

Здесь q_r q_θ – радиальное и окружное напряжения в жидкости; m – масса внутренней стенки; t – время; n – коэффициент жесткости подвеса стенки.

В силу тонкости слоя вязкой жидкости проведен асимптотический анализ сформулированной задачи гидроупругости (1)–(4). Это позволило перейти к задаче динамики тонкого слоя вязкой жидкости в узкой кольцевой щели в рамках гидродинамической смазки. В ходе решения данной задачи определены законы изменения гидродинамических параметров в жидкости. На следующем этапе решалось уравнение (4) для режима установившихся гармонических колебаний. После этого был определен гидроупругий отклик внутренней стенки в виде амплитудной и фазовой частотных характеристик. Исследуя данные характеристики, можно найти резонансные частоты колебаний и соответствующие им амплитуды гидроупругих колебаний внутренней стенки, а также оценить демпфирующие свойства рассматриваемого кольцевого канала.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (государственное задание по теме 125020501400-6).

Список литературы

1 **Ziegler, F.** Mechanics of Solids and Fluids / F. Ziegler. – 2nd ed. – New York : Springer, 1998. – 845 p.

2 Аэрогидроупругость конструкций / А. Г. Горшков, В. И. Морозов, А. Т. Пономарев, Ф. Н. Шклярчук. – М. : Физматлит, 2000. – 592 с.

3 Païdoussis, M. P. Fluid-structure interactions: cross-flow-induced instabilities / M. P. Païdoussis, S. J. Price, E. de Langre. – Cambridge : Cambridge University Press, 2010. – 414 p.

4 **Hori, Y.** Hydrodynamic Lubrication / Y. Hori. – New York : Springer, 2006. – 231 p.

5 **Константинеску, В. Н.** Газовая смазка / В. Н. Константинеску. – М. : Машиностроение, 1968. – 718 с.

6 **Mekanik, A.** Unsteady pressure in the annular flow between two concentric cylinders, one of which is oscillating: Experiment and theory / A. Mekanik, M. P. Païdoussis // J. Fluids Struct. – 2007. – Vol. 23. – P. 1029–1046.

7 Bending oscillations of a cylinder, surrounded by an elastic medium and containing a viscous liquid and an oscillator / L. I. Mogilevich, V. S. Popov, D. V. Kondratov, L. N. Rabinskiy // Journal of Vibroengineering. – 2017. –Vol. 19, № 8. – P. 5758–5766.

8 **Попов, В. С.** Колебания ребристой оболочки, окруженной слоем вязкой несжимаемой жидкости / В. С. Попов // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н. И. Вавилова. – 2003. – № 4. – С. 47–50.

УДК 621.9.048.7

ДИНАМИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ СЛОЖНЫХ СТРУКТУР ИЗ СТАЛИ PH1, ПОЛУЧАЕМЫХ ПО ТЕХНОЛОГИИ ПОСЛОЙНОГО ЛАЗЕРНОГО ПЛАВЛЕНИЯ

Л. Н. РАБИНСКИЙ, М. Н. ЙЕ, Х. А. НАЙ
Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация

Технология послойного лазерного плавления (СЛП) является одним из наиболее перспективных направлений аддитивного производства и обеспечивает получение сложных структур из мартенситностареющих нержавеющих сталей типа PH1, применяемых в ответственных элементах конструкций авиационно-космического назначения. Существенное влияние на структуру и механические свойства получаемых изделий из стали PH1 оказывают технологические параметры процесса: мощность лазерного излучения, скорость сканирования, толщина слоя, шаг штриховки и состав защитной инертной атмосферы. В работе [1] выполнена верификация механических свойств изделий из стали PH1, полученной методом СЛП, тогда как систематические данные о влиянии состава защитной среды на их динамические характеристики в открытой печати ограничены, что сдерживает обоснованный выбор технологических режимов.

Целью работы является установление количественных закономерностей формирования структуры и динамических характеристик сложных структур из стали PH1, получаемых по технологии СЛП, в зависимости от параметров процесса и состава защитной атмосферы.

Основное содержание работы составляет экспериментальное исследование, в рамках которого предусматривается изготовление образцов стали PH1 на установке селективного лазерного плавления при варьируемом составе защитной среды – аргоне, азоте и их смесях. Для полученных образцов выполняется физико-механическая характеризация, включающая определение плотности методом Архимеда, микроструктурный анализ и измерение микротвёрдости. Динамические свойства оцениваются по результатам испытаний на ударный изгиб по методу Шарпи, определения динамического модуля упругости резонансным методом и построения кривых усталостной долговечности при знакопеременном нагружении. Влияние ориентации построения образца относительно направления послойного нанесения материала оценивается путём испытания серий образцов, изготовленных под углами 0, 45 и 90° к плоскости построения; в отличие от известных работ [2] указанные испытания проводятся при варьируемом составе защитной среды, что позволяет разделить вклады ориентационного и атмосферного факторов.

Эта работа заключается в том, что устанавливается количественная зависимость динамического модуля упругости и характеристик усталостной долговечности стали PH1, полученной методом СЛП, от состава защитной атмосферы при одновременном учёте ориентации построения образца. Полученные результаты могут быть использованы при обосновании технологических режимов послойного лазерного плавления при производстве ответственных элементов конструкций из перспективных металлических материалов.

Список литературы

1 Verification of mechanical properties and surface topography of PH1 stainless steel samples obtained by selective laser melting / A. V. Babaytsev, A. N. Astapov, A. V. Ripetskiy, M. Sha // Periodicals of Engineering and Natural Sciences. – 2021. – Vol. 9, № 4. – P. 417–432.

2 **Sarkar, S.** Effects of heat treatment and build orientations on the fatigue life of selective laser melted 15-5 PH stainless steel / S. Sarkar, C. S. Kumar, A. K. Nath // Materials Science and Engineering: A. – 2019. – Vol. 755. – P. 235–245.

УДК 539.422.5

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕХСЛОЙНЫХ ПАНЕЛЕЙ С СОТОВЫМ ЗАПОЛНИТЕЛЕМ

Л. Н. РАБИНСКИЙ, М. И. МАРТИРОСОВ, Д. В. ДЕДОВА
Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация

Задачи поведения конструкций из полимерных композиционных материалов (ПКМ) актуальны на современном этапе развития техники. Наряду с конструкциями из многослойных ПКМ в совре-

менной промышленности используются трехслойные композиционные панели с сотовым заполнителем. Такие панели представляют собой высокоэффективные и высокотехнологические конструкции, состоящие из трех основных компонентов: внешних обшивок (несущих слоев), сотового заполнителя и клеевого соединения. Принцип работы панелей основан на оптимальном распределении нагрузок между элементами конструкции. Внешние обшивки воспринимают основные силовые воздействия (растяжение, сжатие, изгиб), а сотовый заполнитель обеспечивает жесткость конструкции и предотвращает потерю устойчивости обшивок. Ключевые преимущества таких конструкций заключаются в высокой удельной прочности и жесткости при малом весе, хороших вибро-, звуко- и теплоизоляционных характеристиках, возможности создания радиопрозрачных конструкций, устойчивости к различным внешним воздействиям.

Одним из этапов производства техники с использованием трехслойных панелей с сотовым заполнителем является экспериментальное исследование образцов таких панелей. Экспериментальное исследование трехслойных панелей с сотовым заполнителем проводят для того, чтобы убедиться, что готовая конструкция выдержит реальные условия эксплуатации, а ее компоненты (сам заполнитель, его обшивки и клеевое соединение) работают слаженно. Экспериментальное исследование направлено на решение следующих задач:

– определение динамических характеристик панелей (например, исследование частот собственных колебаний);

– оценка прочности (например, исследование прочности при растяжении, сжатии, изгибе);

– оценка адгезии (например, исследование максимальной силы отслаивания обшивки от заполнителя);

– анализ повреждаемости (например, исследование сопротивляемости панели ударным нагрузкам);

– изучение акустических свойств (например, измерение коэффициента звукопоглощения);

– оценка термостойкости (например, исследование воздействия высоких температур в лабораторной печи).

В работе проводится экспериментальное исследование деформирования и разрушения трехслойных сотовых панелей с обшивками из ПКМ при действии нагрузки сжатия и при ударе падающим грузом заданной массы.

Испытания на сжатие проводят в соответствии с ГОСТ Р 56816-2015 [1] по следующей схеме

1 Отбор образцов для испытаний. Проводят испытание не менее пяти образцов для каждого набора испытательных условий. Образцы должны быть круглого или квадратного поперечного сечения, не превышающего 1000 мм^2. Маркировка образцов осуществляется таким образом, чтобы образцы можно было отличить друг от друга и чтобы маркировка не повреждалась в ходе испытаний.

2 Измерение длины, ширины и толщины каждого образца. Погрешность измерений не должна превышать 1 % размера.

3 Скорость при испытании задают так, чтобы разрушение произошло в течение 3–6 минут. Рекомендуемая стандартная скорость перемещения активного захвата – 0,5 мм/мин.

4 Размещение образца на нижней плите и его центровка.

5 Осуществление предварительного нагружения в 45 Н.

6 Приложение сжимающей нагрузки к образцу с заданной скоростью до разрушения образца или пока прогиб не достигнет 2 % первоначальной толщины материала внутреннего слоя сэндвич-конструкции.

7 Регистрация данных, полученных в ходе эксперимента, в протоколе испытаний.

8 Обработка результатов испытаний.

В ходе испытаний на сжатие определяют максимальную силу разрушения сотовых панелей.

Испытания при ударе падающим грузом проводят в соответствии с ГОСТ Р 57954-2017 [2] по следующей схеме.

1 Отбор образцов для испытаний. Образцы должны иметь форму круга или квадрата и быть на 25 мм больше диаметра отверстия в опорной плите.

2 Установка опорной плиты согласно выбранным размерам и бойка.

3 Расположение образца в установке для испытаний. При этом каждый образец необходимо размещать одной и той же стороной к поверхности бойка.

4 Расположение груза выбранной массы на требуемой высоте.

5 Падение груза на боек, вследствие чего боек наносит удар по образцу.

6 Осмотр образца на наличие разрушения.

7 При разрушении образца необходимо уменьшить высоту падения на одну ступень, не уменьшая его массу. Если образец не разрушился, то необходимо увеличить высоту падения груза на одну ступень. Одна ступень высоты падения груза – 25 мм.

Так испытываются все образцы. При этом каждый образец испытывается только один раз.

В ходе испытаний при ударе падающим грузом определяют среднюю высоту разрушений и среднюю энергию разрушения.

Для проведения исследования использовались образцы из отечественных материалов. В качестве материала обшивок сотовой панели рассматривался клеевой препрег КМКС-2м.120.Т60 (стеклоткань Т60/2(ВМП)-78 и клеевая композиция). Схема укладки смешанная и имеет вид [-45°/+45°/0°/-45°/+45°]. В качестве материала сотового заполнителя рассматривался полимеросотопласт ПСП-1-2,0-48 (на основе полимерной бумаги типа «Номекс», пропитанной фенолформальдегидной смолой).

Экспериментальное исследование образцов при сжатии проводилось на сервогидравлической испытательной машине INSTRON 5985 (Великобритания). Скорость нагружения образцов V = 0,25 мм/мин. Общее количество испытанных образцов – 12 штук с номинальной толщиной сотовой панели 12 мм.

Экспериментальное исследование образцов при ударе падающим грузом проводилось на специальной установке для испытаний по определению энергии удара методом Гарднера. Масса падающего груза m = 1 кг. Общее количество испытанных образцов – 24 штуки с номинальной толщиной сотовой панели 9,6 мм.

Из испытаний на сжатие получено, что средняя максимальная сила разрушения образцов сотовых панелей составляет P = 6,79 Н.

Из испытаний на удар грузом заданной массы получено, что средняя высота разрушения H = 614 мм, а средняя энергия разрушения панели E = 6,03 Дж.

Проведенные исследования подтверждают эффективность применения трехслойных панелей с сотовым заполнителем в конструкциях из ПКМ. Полученные данные могут быть использованы при проектировании и расчете подобных конструкций, используемых в машиностроении, а также при разработке технологических процессов их производства.

Список литературы

1 ГОСТ Р 56816-2015. Композиты полимерные. Определение механических характеристик при сжатии материала внутреннего слоя «сэндвич»-конструкций перпендикулярно к плоскости образца. – Введ. 27.11.2015. – М. : Стандартформ, 2016. – 14 с.

2 ГОСТ Р 57954-2017. Пластмассы. Метод определения энергии удара по Гарднеру. Введ. 16.11.2017. – М. : Стандартинформ, 2017. – 30 с.

УДК 539.4:678.067

РАЗЛИЧИЕ МЕЖДУ ПЕРВЫМ РАЗРУШЕНИЕМ СЛОЯ И РАЗРУШАЮЩИМ НАПРЯЖЕНИЕМ УГЛЕПЛАСТИКОВОГО ЛАМИНАТА В ЗАДАЧАХ ОБОСНОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ

Л. Н. РАБИНСКИЙ, М. И. МАРТИРОСОВ
Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация

С. Ю. РОЖКОВ
Московский авиационный институт (НИУ), ПАО «Яковлев», г. Москва, Российская Федерация

При расчетно-экспериментальном обосновании прочности авиационных конструкций из полимерных композиционных материалов необходимо различать напряжение первого разрушения слоя и разрушающее напряжение ламината. Под напряжением первого разрушения слоя далее понимается расчетное напряжение, при котором принятый критерий разрушения монослоя впервые выполняется хотя бы для одного слоя. После этого ламинат может продолжать воспринимать возрастающую нагрузку вследствие ее перераспределения между слоями других ориентаций. Поэтому напряжение первого разрушения слоя не следует непосредственно интерпретировать как разрушающее напряжение всего ламината.

Испытание гладкого образца, в котором регистрируется только максимальная нагрузка, определяет экспериментальное разрушающее напряжение ламината, соответствующее потере его несущей способности. Такое испытание не позволяет установить уровень нагружения, при котором впервые произошло разрушение отдельного слоя, если одновременно не регистрируются изменение жесткости, локальные деформации или иные признаки развития повреждений. Таким образом, расчет до первого разрушения слоя и испытание до потери несущей способности характеризуют разные предельные состояния.

Цель работы состояла в количественной оценке различия между указанными состояниями для гладких симметричных и сбалансированных углепластиковых ламинатов. Рассматривались укладки 50/40/10, 25/50/25 и 10/80/10, где числа обозначают суммарные доли слоев 0, ±45 и 90° соответственно. Использованы опубликованные характеристики однонаправленного термопластичного углепластика Toray Cetex TC1225, армированного волокном T700GC, и результаты испытаний соответствующих ламинатов при растяжении и сжатии [1, 2]. Для каждой укладки и вида нагружения приняты нормированные средние значения по трем производственным партиям и 18 образцам. Эти значения использовались только для сопоставления расчетных подходов и не рассматривались как расчетные допускаемые характеристики материала.

Напряжения в слоях определялись по классической теории слоистых пластин в мембранной постановке. Напряжение первого разрушения слоя устанавливалось по критерию максимальных напряжений. В упрощенной модели прогрессирующего разрушения при достижении предельной продольной, поперечной или сдвиговой компоненты соответствующий модуль E1, E2 или G12 снижался до 1 % исходного значения. Этот остаточный уровень принят как консервативное расчетное допущение, а не как экспериментально идентифицированная характеристика. Он не влияет на напряжение первого разрушения слоя, но определяет последующее перераспределение напряжений и расчетное разрушающее напряжение ламината.

Очередное событие определялось прямым вычислением минимального коэффициента пропорционального нагружения, при котором условие разрушения впервые выполнялось в одном или нескольких слоях. При одновременном достижении нескольких условий соответствующие модули снижались одновременно. После обновления матрицы жесткости расчет продолжался до первого пика диаграммы несущей способности, принятого за расчетное разрушающее напряжение ламината.

При растяжении для всех трех укладок расчетное первое разрушение инициировалось в слоях ±45° по сдвиговой компоненте. Для укладки 50/40/10 напряжение первого разрушения слоя составило 685,1 МПа, расчетное разрушающее напряжение – 1349,6 МПа, среднее экспериментальное – 1410,7 МПа. После расчетного первого разрушения слоев ±45° при 813,2 МПа вовлекались слои 90°, а разрушающее напряжение определялось началом разрушения несущих слоев 0°. Для укладки 25/50/25 соответствующие значения составили 490,5; 827,7 и 972,2 МПа, причем разрушение слоев ±45° и вовлечение слоев 90° происходили практически при одном уровне нагружения. Для укладки 10/80/10 получены значения 274,8; 312,0 и 516,8 МПа.

Применение модели прогрессирующего разрушения уменьшило расхождение с экспериментом для всех рассмотренных укладок. При растяжении расчетное разрушающее напряжение было ниже среднего экспериментального значения на 4,3 % для укладки 50/40/10 и на 14,9 % для 25/50/25. Для укладки 10/80/10 расхождение 39,6 % указывает на необходимость уточнения критерия инициирования и закона деградации для композитных пакетов с преобладанием слоев ±45°.

При сжатии различие между напряжением первого разрушения слоя и расчетным разрушающим напряжением оказалось существенно меньше. Для укладки 50/40/10 эти значения составили 685,1 и 703,3 МПа, а для укладок 25/50/25 и 10/80/10 совпали и были практически равны: 489,7 и 274,8 МПа соответственно. Близость напряжений первого разрушения слоя при растяжении и сжатии не является следствием округления: для укладок 50/40/10 и 10/80/10 первое расчетное событие связано со слоями ±45° и контролирующей сдвиговой компонентой, тогда как для 25/50/25 при сжатии первым достигается продольный предел в слое 0°. Количественные результаты сжатия следует интерпретировать осторожно, поскольку модель не описывает микропотерю устойчивости волокон, нелинейное деформирование матрицы и межслойные механизмы разрушения.

Если напряжение первого разрушения слоя ошибочно принять за разрушающее напряжение ламината, оценка экспериментально установленной несущей способности при растяжении будет занижена на 51,4 % для укладки 50/40/10, на 49,5 % для 25/50/25 и на 46,8 % для 10/80/10. Такое рас-

хождение не следует трактовать как погрешность классического критерия: он используется для определения другого предельного состояния. Ошибка возникает при подмене напряжения первого разрушения слоя разрушающим напряжением всего композитного пакета.

Первое расчетное разрушение слоя сопровождалось изменением эффективных характеристик ламината, но не полной потерей его жесткости. Для укладки 50/40/10 эффективные продольный и поперечный модули после первого события изменялись соответственно с 69,40 и 29,29 ГПа до 65,42 и 26,66 ГПа. Для укладки 25/50/25 оба исходных модуля 45,82 ГПа снижались до 41,64 ГПа, а для укладки 10/80/10 – с 30,21 до 20,55 ГПа. Следовательно, даже при сохранении способности воспринимать возрастающую нагрузку первое разрушение слоя может сопровождаться изменением деформативности и перераспределением внутренних усилий.

Следующее сопоставление имеет исключительно методический характер и не является проверкой выполнения нормативных требований. При статическом обосновании прочности авиационных конструкций эксплуатационные и расчетные нагрузки обычно связаны коэффициентом безопасности 1,5, тогда как рассматриваемые величины являются напряжениями гладких образцов. При растяжении отношение экспериментального разрушающего напряжения ламината к расчетному напряжению первого разрушения слоя составляет 1,88–2,06 и превышает 1,5. Это означает, что по результатам испытания, в котором фиксируется только разрушающее напряжение, нельзя сделать заключение об отсутствии расчетного первого разрушения слоя на предшествующих уровнях нагружения, в том числе ниже величины, получаемой делением экспериментального разрушающего напряжения на 1,5.

Расчетное достижение критерия первого разрушения слоя без экспериментальной верификации не тождественно подтвержденному физическому повреждению и само по себе не свидетельствует о потере несущей способности всего пакета. Поэтому расчет по классическим критериям разрушения монослоя и испытание гладкого ламината до потери несущей способности не являются взаимозаменяемыми. Для обоснованной оценки состояния композитной конструкции необходимо раздельно определять напряжение первого разрушения слоя и разрушающее напряжение ламината, а интервал между ними исследовать с использованием моделей прогрессирующего разрушения и инструментированных испытаний с регистрацией изменения жесткости, локальных деформаций и последовательности развития повреждений.

Список литературы

1 Medium Toughness PAEK Thermoplastics Toray Cetex // National Institute for Aviation Research TC1225 T700GC 12K T1E Unidirectional Tape Material Allowables Statistical Analysis Report. NCP-RP-2019-011 Rev. A. Wichita, 2021. – 108 с.

2 Toray Cetex TC1225 T700GC 12K T1E Unidirectional Tape Material Property Data Report. CAM-RP-2019-036 Rev. A. // National Institute for Aviation Research Wichita, 2021. – 443 с.

УДК 539.3

ЧИСЛЕННО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТОНКОСТЕННЫХ НАНОМОДИФИЦИРОВАННЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ УГЛЕПЛАСТИКА

В. В. РАСКАЧАЕВ, Л. Н. РАБИНСКИЙ
Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация

Тонкостенные композиционные материалы на основе углепластика широко применяются в авиационной, космической, транспортной и энергетической технике благодаря высокому уровню удельной прочности, жесткости и коррозионной стойкости. Одним из перспективных направлений совершенствования таких материалов является их наномодификация, позволяющая повысить межслойную прочность, трещиностойкость, ударную вязкость и устойчивость к эксплуатационным повреждениям. В связи с этим особую актуальность приобретает численно-экспериментальное исследование тонкостенных наномодифицированных углепластиков, направленное на установление закономерностей их деформирования и разрушения при различных режимах нагружения.

Цель работы заключается в исследовании механического поведения тонкостенных наномодифицированных композиционных материалов на основе углепластика с использованием комплекса

экспериментальных и численных методов. Основное внимание уделяется оценке влияния наномодифицирующих добавок на прочностные, жесткостные и деформационные характеристики материала, а также на особенности напряженно-деформированного состояния тонкостенных элементов.

Экспериментальная часть исследования включает испытания образцов углепластика с различным содержанием наномодификаторов при растяжении, сжатии, изгибе, межслойном сдвиге и, при необходимости, ударном нагружении. По результатам испытаний определяются основные механические характеристики материала, фиксируются диаграммы деформирования, предельные нагрузки, параметры повреждаемости и особенности разрушения. Для уточнения картины деформирования и локализации повреждений могут использоваться современные методы диагностики, включая цифровую корреляцию изображений, оптический контроль и микроструктурный анализ.

Численное исследование базируется на построении модели тонкостенного композитного элемента с учетом анизотропии, слоистой структуры, геометрической нелинейности и особенностей межслойного взаимодействия. Для расчета напряженно-деформированного состояния применяется метод конечных элементов, позволяющий анализировать распределение напряжений, деформаций, локальные зоны потери устойчивости и развитие повреждений. Параметры расчетной модели идентифицируются и уточняются по экспериментальным данным, что обеспечивает повышение достоверности моделирования.

В ходе работы исследуется влияние типа и концентрации наномодификатора, схемы укладки слоев, толщины материала, формы тонкостенного элемента и условий нагружения на его механическое поведение. Особый интерес представляет сопоставление результатов эксперимента и численного расчета, позволяющее оценить адекватность принятых моделей и выявить основные механизмы повышения эксплуатационных характеристик углепластика за счет наномодификации.

Ожидаемые результаты связаны с получением новых данных о влиянии наномодификации на прочность, жесткость, устойчивость и повреждаемость тонкостенных углепластиковых конструкций, а также с разработкой верифицированной численной модели, пригодной для инженерного анализа и проектирования. Практическая значимость исследования определяется возможностью использования полученных результатов при создании легких, прочных и надежных конструкций для ответственных элементов современной техники.

УДК 539.3

РАЗРАБОТКА РАСЧЕТНЫХ МОДЕЛЕЙ УПРУГОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ ТРЕХМЕРНОГО ТЕЛА С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ КОНЕЧНЫХ РАЗНОСТЕЙ

М. М. РАСУЛМУХАМЕДОВ, А. АБДУСАТТАРОВ, З. М. МИРЗАЕВА
Ташкентский государственный транспортный университет, Республика Узбекистан

Для формирования краевой задачи трехмерного изотропного тела используется вариационный принцип Гамильтона – Остроградского. Из вариационного уравнения получена система уравнений движения (равновесия) упругого тела с естественными граничными и начальными условиями [1,2].

Для построения точных решений трехмерных краевых задач применяются, в основном численные методы. Наиболее распространенным являются методы конечных разностей и конечных элементов [3, 4]. В результате применения конечно-разностных схем получим систему обыкновенных дифференциальных уравнений (в динамических задачах)

$$-R_k\ddot{Y}_k - B_kY_{k-1} + C_kY_k - D_kY_{k+1} = g_k(t) \tag{1}$$

с начальными данными

$$Y_k(t_0) = \varphi_0, \qquad Y_k(t_0) = \psi_0 \qquad (k = \overline{0,\ nz}). \tag{2}$$

В случае статики из (1) получим

$$-B_kY_{k-1} + C_kY_k - D_kY_{k+1} = g_k \qquad (k = \overline{1,\ nz-1}) \tag{3}$$

Для решения системы алгебраических уравнений (3) применяем метод блочного исключения Гаусса. На прямом ходу получим следующие рекуррентные соотношения:

$$\left.\begin{array}{l} F_k = \bar{F}_k D_k, \bar{F}_k = (C_k \;\; B_k F_{k1})^1 \\ V_k = \bar{F}_k (B_k V_{k1} + G_k)(k = \overline{(0, nz)}) \end{array}\right\}, \tag{4}$$

а на обратном

$$Y_k = F_k Y_{k+1} + V_k \qquad (k = \overline{(nz, 0)}). \tag{5}$$

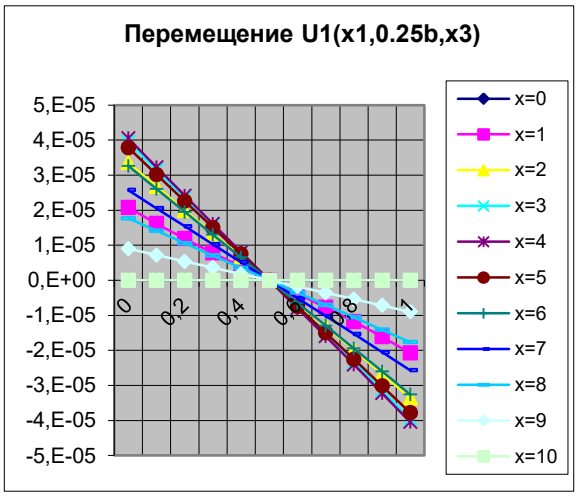
Данный алгоритм считается корректным, если матрицы $(C_k \;\; B_k F_{k1})$ не вырождены; алгоритм устойчив, если выполняется условие $F \le 1$ (при $(k = \overline{(0, nz)}$. В зависимости от заданных нагрузок и условий закрепления упругого тела системы разрешающих уравнений заключают в себе решения различных задач (стесненное кручение, изгиб, сжатие и др.).

Алгоритм их построения и объем арифметических операций непосредственно зависят от геометрии тела. Кроме того, в задачах статики эти матрицы строятся один раз, а в задачах динамики – на каждом шагу по времени. Отсюда возникает задача оптимизации вычислительного алгоритма, решения задач статики и динамики трехмерных тел в зависимости от их геометрии и характера нагружения [5].

В качестве примера рассмотрена задача о равновесии упругого прямоугольного параллелепипеда, боковые поверхности которого защемлены, на верхнюю поверхность действует равномерно распределенная нагрузка q_0, а нижняя поверхность свободна от нагрузок. В силу симметрии ограничивались исследованием полей напряжений и деформаций для первой четверти параллелепипеда. Расчетные данные: $a = b = 0{,}2$ м; $\delta = 1/20;1/10;1/5;1/4;1/3;1/2$ ($\delta = c/a$); $E = 2 \cdot 10^5$ МПа; $\mu = 0{,}3$.

На рисунке1 приведены эпюры перемещения u_1 для плоскости $x_2 = 0{,}25b$ при $\delta = 1/20$ ($\delta = c/a$) значениях $x_1 = 0, 1, 2, \ldots, 10$ см и $x_3 = 0, 0{,}1, 0{,}2, \ldots, 1$ см. При $\delta = 1/20$ значение u_1 изменяется по высоте по линейному закону, что указывает на справедливость гипотезы Кирхгоффа (см. рисунок 1, *а*). Также можно из рисунка 1, *б* установить, что перемещение u_1 является симметричной параболической функцией координат y.

а)



б)

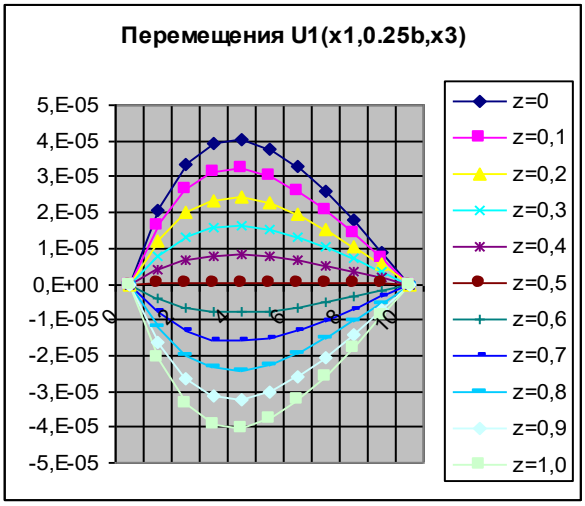


Рисунок 1

В таблице 1 приведены значения u_3 при различных δ, полученные по трехмерной и двумерной теориям (изгиб защемленной по контуру квадратной плиты при тех же данных). Отсюда следует, что при больших δ наблюдается хорошее совпадение значений u_3 по двум теориям.

Таблица 1

δ	20	10	8	6	4	2
По трехмерной теории	11,127	1,584	0,878	0,431	0,180	0,066
По двумерной теории	11,059	1,382	0,707	0,297	0,084	0,011

Из расчета следует, что при $\delta = 20$ напряжение σ_{11} по высоте изменяются по линейному закону. Это указывает на справедливость гипотезы Кирхгоффа. При $\delta = 8$ результаты расчета показали, что закон изменения напряжения σ_{11} по высоте достаточно точно описывается линейной функцией

только на отрезке $0{,}125a \le x_1 \le 0{,}875a$, а при $\delta = 4$ область линейного изменения σ_{11} по высоте сужается до $0{,}2a \le x_1 \le 0{,}8a$. Заметим что в этом случае σ_{11} по высоте изменяется не по линейному закону, т. е. задача становится трехмерной.

Список литературы

1 **Старовойтов Э. И.** Деформирование и повреждаемость упругопластических элементов конструкций при циклических нагружениях : монография / Э. И. Старовойтов, А. Абдусаттаров, Н. Б. Рузиева. – Ташкент : IDEAL PRESS, 2023. – 381 с.

2 **Буриев, Т.** Алгоритмизация расчета несущих элементов тонкостенных конструкций / Т. Буриев. – Ташкент : Фан. – 1986. – 244 с.

3 **Годунов, С. К.** Разностные схемы (Введение в теорию) / С. К. Годунов, В. С. Рябенький. – М. : Наука. – 1977. – 440 с.

4 Расчеты машиностроительных конструкций методом конечных элементов // В. И. Мяченков, В. П. Мальцев, В. П. Майборода [и др.]. –М. : Машиностроение, 1989. −620 с.

5 **Расулмухамедов, М. М.** Исследование НДС прямоугольного параллелепипеда за пределами упругости / М. М. Расулмухамедов, А. Абдусатаров, З. М. Мирзаева // Проблемы безопасности на транспорте : материалы XII Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 160-летию Бел. ж. д. (Гомель, 23–24 ноября 2022 г.) : в 2 ч. Ч. 2. – Гомель, 2022. – С. 244–246.

УДК 539.3

НАПРЯЖЕНИЯ В КРУГОВОЙ СИММЕТРИЧНОЙ ПО ТОЛЩИНЕ ПЯТИСЛОЙНОЙ ПЛАСТИНЕ

В. С. САЛИЦКИЙ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Разработка методов расчета слоистых элементов конструкций является актуальной проблемой в связи с их широким применением в машиностроении и строительстве. Методики исследования напряженно-деформированного состояния предложены в монографиях [1–6].

В статьях [7–11] рассмотрены резонансные, свободные и вынужденные колебания трехслойных оболочек и пластин. В работах [13–21] содержатся результаты исследования квазистатического деформирования трехслойных и пятислойных пластин.

Здесь рассмотрено напряженное состояние защемленной по контуру упругой симметричной по толщине круговой пятислойной пластины с двумя жесткими заполнителями, . Цилиндрическая система координат r, φ, z, связана со срединной плоскостью центрального несущего слоя. В тонких внутреннем и внешних несущих слоях выполняются гипотезы Кирхгофа, в жестких несжимаемых по толщине заполнителях справедлива гипотеза Тимошенко. На внешний слой пластины действует осесимметричная равномерно распределенная поперечная нагрузка q. На контуре ($r = r_0$) предполагается наличие жесткой диафрагмы, препятствующей относительному сдвигу слоев.

Используя вариационный принцип Лагранжа, в [14] получена и решена система обыкновенных дифференциальных уравнений для определения перемещений при изгибе. С помощью закона Гука радиальные и окружные напряжения в слоях пластины выражены через прогиб $w(r)$ и относительный сдвиг $\psi(r)$ в заполнителях, а также получены радиальные и окружные напряжения в слоях:

$$\sigma_r = \begin{cases} K_4^+(-zw_{,rr} + h_3\psi_{,r}) + K_4^- \dfrac{1}{r}(-zw_{,r} + h_3\psi), & \dfrac{h_1}{2} + h_3 \le z \le \dfrac{h_1}{2} + h_3 + h_2; \\ K_5^+(-zw_{,rr} + (z - \dfrac{h_1}{2})\psi_{,r}) + K_5^- \dfrac{1}{r}(-zw_{,r} + (z - \dfrac{h_1}{2})\psi), & \dfrac{h_1}{2} \le z \le \dfrac{h_1}{2} + h_3; \\ K_1^+(-zw_{,rr}) + K_1^- \dfrac{1}{r}(-zw_{,r}), & -\dfrac{h_1}{2} \le z \le \dfrac{h_1}{2}; \\ K_3^+(-zw_{,rr} + (z + \dfrac{h_1}{2})\psi_{,r}) + K_3^- \dfrac{1}{r}(-zw_{,r} + (z + \dfrac{h_1}{2})\psi), & -\dfrac{h_1}{2} - h_3 \le z \le -\dfrac{h_1}{2}; \\ K_2^+(-zw_{,rr} - h_3\psi_{,r}) + K_2^- \dfrac{1}{r}(-zw_{,r} - h_3\psi), & -\dfrac{h_1}{2} - h_3 - h_2 \le z \le -\dfrac{h_1}{2} - h_3, \end{cases}$$

$$\sigma_{\varphi}=\begin{cases} K_4^-(-zw_{,rr}+h_3\psi_{,r})+K_4^+\dfrac{1}{r}(-zw_{,r}+h_3\psi); & \dfrac{h_1}{2}+h_3\le z\le\dfrac{h_1}{2}+h_3+h_2; \\ K_5^-(-zw_{,rr}+(z-\dfrac{h_1}{2})\psi_{,r})+K_5^+\dfrac{1}{r}(-zw_{,r}+(z-\dfrac{h_1}{2})\psi); & \dfrac{h_1}{2}\le z\le\dfrac{h_1}{2}+h_3; \\ K_1^-(-zw_{,rr})+K_1^+\dfrac{1}{r}(-zw_{,r}); & -\dfrac{h_1}{2}\le z\le\dfrac{h_1}{2}; \\ K_3^-(-zw_{,rr}+(z+\dfrac{h_1}{2})\psi_{,r})+K_3^+\dfrac{1}{r}(-zw_{,r}+(z+\dfrac{h_1}{2})\psi); & -\dfrac{h_1}{2}-h_3\le z\le-\dfrac{h_1}{2}; \\ K_2^-(-zw_{,rr}-h_3\psi_{,r})+K_2^+\dfrac{1}{r}(-zw_{,r}-h_3\psi); & -\dfrac{h_1}{2}-h_3-h_2\le z\le-\dfrac{h_1}{2}-h_3. \end{cases}$$

где $K_k+\frac{4}{3}G_k\equiv K_k^+;\ K_k-\frac{2}{3}G_k\equiv K_k^-;\ K_k, G_k$ – модули упругости материалов слоев.

Численно исследованы напряжения в защемленной по контуру пятислойной пластине. Показано, что при увеличении жесткости несущих слоев напряжения в них увеличиваются, а в заполнителях – падают. При уменьшении жесткостей заполнителей больше нагружаются несущие слои. Радиальные напряжения больше окружных примерно в два раза. Следовательно, варьирование материалами внешних несущих слоев и заполнителей позволяет добиться эффективной и равномерной работы всей конструкции.

Список литературы

1 **Zhuravkov, M. A.** Mechanics of Solid Deformable Body / M. A. Zhuravkov, Lyu Yongtao, E. I. Starovoitov. – Singapore : Springer, 2022. – 317 p.

2 Deformation of Three-layer Structural Elements in Thermal Radiation Fields / E. I. Starovoitov, M. A. Zhuravkov, D. V. Leonenko, Lyu Yongtao. – Springer, Nature Singapore, Pte Ltd, 2024. – 384 p.

3 Деформирование трехслойных пластин при термосиловых нагрузках / Э. И. Старовойтов, Ю. В. Шафиева, А. В. Нестерович, А. Г. Козел. – Гомель : БелГУТ, 2024. – 395 с.

4 **Старовойтов, Э. И.** Механика материалов / Э. И. Старовойтов. – Гомель : БелГУТ, 2011. – 380 с. – ISBN 978-985-468-720-9. – EDN SRNTHC.

5 **Старовойтов, Э. И.** Сопротивление материалов / Э. И. Старовойтов. – Гомель : БелГУТ, 2004. – 376 с. – ISBN 985-6550-79-3. – EDN IZTRBI.

6 **Яровая, А. В.** Строительная механика. Статика стержневых систем / А. В. Яровая. – Гомель : БелГУТ, 2013. – 447 с. – ISBN 978-985-468-954-8. – EDN XLSWLZ.

7 **Gorshkov, A. G.** Oscillations of a circular linearly viscoelastic three-layered disk / A. G. Gorshkov, E. I. Starovojtov, A. V. Yarovaya // Проблемы прочности. – 2001. – № 3. – P. 100–107.

8 **Leonenko, D. V.** Vibrations of Cylindrical Sandwich Shells with Elastic Core under Local Loads / D. V. Leonenko, E. I. Starovoitov // International Applied Mechanics. – 2016. – Vol. 52, № 4. – № 359–367. – DOI: 10.1007/s10778-016-0760-8. – EDN YVTYID.

9 **Леоненко, Д. В.** Колебания круговой трехслойной пластины под действием внешней нагрузки / Д. В. Леоненко, М. В. Маркова // Журнал Белорусского государственного университета. Математика. Информатика. – 2023. – №. 1. – С. 49–63.

10 **Будникова, Д. А.** Собственные частоты колебаний пятислойного стержня / Д. А. Будникова // Проблемы физики, математики и техники. – 2025. – № 2 (63). – С. 11–15.

11 **Лачугина, Е. А.** Свободные колебания пятислойной круговой пластины с легкими заполнителями / Е. А. Лачугина // Механика. Исследования и инновации. – 2023. – № 16. – С. 111–116.

12 **Старовойтов, Э. И.** Деформирование локальными нагрузками композитной пластины на упругом основании / Э. И. Старовойтов, Д. В. Леоненко, М. Сулейман // Механика композитных материалов. – 2007. – № 1 (43). – С. 109–120. – EDN DIPPEO.

13 **Старовойтов, Э. И.** Термосиловое деформирование ступенчатого трехслойного физически нелинейного стержня / Э. И. Старовойтов, Д. В. Леоненко, Д. В. Тарлаковский // Инженерно-физический журнал. – 2016. – Т. 89, № 6. – С. 1608–1616. – EDN XAAHGN.

14 **Козел, А. Г.** Уравнения равновесия упругопластической круговой пластины на основании Пастернака / А. Г. Козел // Механика. Исследования и инновации. – 2018. – № 11 (11). – С. 127–133.

15 **Захарчук, Ю. В.** Перемещения в круговой трехслойной пластине со сжимаемым заполнителем / Ю. В. Захарчук // Механика. Исследования и инновации. – 2017. – № 10 (6). – С. 55–66.

16 **Салицкий, В. С.** Уравнения равновесия упругопластической пятислойной симметричной по толщине пластины / В. С. Салицкий // Проблемы физики, математики и техники. – 2025. – № 4 (65). – С. 42–46. – DOI: 10.54341/20778708_2025_4_65_42.

17 **Салицкий, В. С.** Деформирование круглой пятислойной пластины несимметричной по толщине / В. С. Салицкий // Механика. Исследования и инновации. – 2025. – № 18 (18). – С. 143–150.

18 **Старовойтов, Э. И.** Деформирование круговой пятислойной пластины с упругими и упругопластическими слоями / Э. И. Старовойтов, В. С. Салицкий // Механика. Исследования и инновации. – 2025. – № 18. – С. 151–159.

19 **Старовойтов, Э. И.** Изгиб круговой пятислойной пластины, несимметричной по толщине / Э. И. Старовойтов, В. С. Салицкий // Механика композиционных материалов и конструкций. – 2025. – Т. 31, № 3. – С. 397–412.

20 **Старовойтов, Э. И.** Изгиб упругопластической симметричной по толщине круговой пятислойной пластины / Э. И. Старовойтов, В. С. Салицкий // Механика машин, механизмов и материалов. – 2026. – № 2 (75). – С. 62–70. – DOI: 10.46864/1995-0470-2026-2-75-62-70.

УДК 378.147:[54+57]:656.08

ОПЫТ РАБОТЫ ПРЕПОДАВАТЕЛЯ ХИМИИ И БИОЛОГИИ В ОБУЧЕНИИ УЧАЩИХСЯ КОЛЛЕДЖА ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

М. П. САСНОВСКАЯ
Оршанский колледж – филиал Белорусского государственного университета транспорта

Современные транспортные системы представляют собой сложные инженерно-технические комплексы, безопасность функционирования которых требует междисциплинарного подхода. Естественные науки, прежде всего химия и биология, играют фундаментальную роль в подготовке специалистов среднего звена для транспортной отрасли. Как показывает практика ежегодных международных конференций «Проблемы безопасности на транспорте», секция «Естественные науки в обеспечении безопасности транспортных систем» неизменно собирает рекордное количество докладов, что подтверждает востребованность естественнонаучного знания в этой сфере.

Настоящий доклад обобщает многолетний опыт преподавания химии и биологии в транспортном колледже, направленный на формирование у обучающихся компетенций в области обеспечения безопасности транспортных систем.

Подготовка кадров в области обеспечения безопасности жизнедеятельности человека в современной техносфере началась в 1994 году с открытия специальности «Безопасность жизнедеятельности». Сегодня подготовка специалистов среднего звена по транспортным специальностям невозможна без качественной естественнонаучной базы.

Химия и биология как учебные предметы входят в цикл естественнонаучных дисциплин и являются обязательной частью общеобразовательного цикла образовательной программы среднего профессионального образования. Их значимость для транспортной безопасности определяется несколькими ключевыми факторами.

1) **химическая безопасность** – знание физико-химических свойств опасных грузов, правил их транспортировки и хранения;

2) **медико-биологическая безопасность** – понимание воздействия вредных факторов на организм человека, психофизиологических аспектов трудовой деятельности;

3) **экологическая безопасность** – оценка влияния транспорта на окружающую среду и разработка мер по снижению негативного воздействия.

Содержание программ по химии и биологии в колледже направлено на достижение следующих целей;

– **формирование системы химических и биологических знаний** как основы естественнонаучной картины мира;

– **воспитание культуры безопасности** (ноксологической культуры) – готовности к безопасной профессиональной деятельности;

– **развитие практических навыков** применения естественнонаучных знаний в ситуациях, связанных с транспортными рисками.

В своей работе мы ставим следующие задачи.

1 Дать обучающимся теоретические знания о химической и биологической составляющей природных и техногенных процессов.

2 Сформировать практические навыки оценки опасностей химической и биологической природы на транспорте.

3 Развить способность применять знания о свойствах веществ для обеспечения безопасности транспортных процессов.

4 Воспитать ответственное отношение к вопросам экологической и биологической безопасности.

В основе преподавания лежат учебные программы общеобразовательных учебных предметов.

Преподавание химии включает следующие содержательные блоки, имеющие прикладное значение для транспортной безопасности.

1 *Общая и неорганическая химия* – основы химической кинетики и термодинамики, энергетические эффекты химических реакций.

2 *Органическая химия* – свойства органических веществ, составляющих горюче-смазочные материалы; полимерные материалы, применяемые в транспорте.

3 *Физико-химические свойства веществ* – изучение свойств опасных грузов, коррозионных процессов и методов защиты металлов.

4 *Химическая экология* – химические аспекты загрязнения окружающей среды транспортными средствами.

Преподавание биологии ориентировано:

– *на общую биологию* – фундаментальные знания о биологических системах: клетке, организме, популяции;

– *анатомию и физиологию человека* – понимание воздействия вредных факторов транспортной среды на здоровье человека;

– *экологию* – взаимодействие транспортных систем с биосферой, охрана животного мира;

– *медико-биологические основы безопасности* – факторы рабочей среды, системы жизнеобеспечения.

В своей педагогической практике мы используем разнообразные методы и формы обучения, направленные на формирование у учащихся устойчивых компетенций в области безопасности.

1 **Проблемно-ориентированное обучение.**

Создание проблемных ситуаций, связанных с реальными рисками на транспорте. Например, анализ возможных последствий утечки опасных химических веществ при железнодорожных перевозках или оценка биологических рисков при работе с грузами животного происхождения.

2 **Практико-ориентированные занятия.**

Лабораторные и практические работы, моделирующие профессиональные ситуации:

– определение физико-химических свойств веществ, перевозимых в качестве грузов;

– изучение методов идентификации опасных химических веществ;

– оценка экологического состояния объектов транспортной инфраструктуры.

3 **Междисциплинарная интеграция.**

Химия и биология не преподаются изолированно, они интегрируются с другими учебными предметами: физикой, материаловедением, безопасностью жизнедеятельности. Такой подход позволяет формировать целостное естественнонаучное мировоззрение.

4 **Использование современных образовательных технологий.**

Применение цифровых инструментов, виртуальных лабораторий, мультимедийных материалов для визуализации химических и биологических процессов, что особенно важно при изучении опасных веществ и биологических рисков.

5 **Формирование культуры безопасности.**

Особое внимание уделяется воспитанию устойчивых привычек безопасного поведения. Изучаются:

– классификацию вредных факторов (физических, химических, биологических) и их воздействие на человека;

– правила безопасности при проведении лабораторных и практических работ.

Результаты и эффективность.

Многолетний опыт работы показывает, что системное преподавание химии и биологии в контексте транспортной безопасности дает следующие результаты.

1 **Повышение уровня профессиональной компетентности** выпускников в вопросах безопасности. Учащиеся демонстрируют понимание химических и биологических рисков и способность применять знания в практических ситуациях.

2 **Формирование ответственного отношения к безопасности**. Выпускники осознают, что знание химических и биологических закономерностей – необходимое условие предотвращения аварий и чрезвычайных ситуаций на транспорте.

3 **Развитие экологической культуры**. Учащиеся понимают последствия воздействия транспорта на окружающую среду и владеют методами минимизации этого воздействия.

Дальнейшее совершенствование преподавания химии и биологии в колледже видится в следующих направлениях.

1 **Усиление прикладной направленности** – разработка учебных модулей, максимально приближенных к реальным профессиональным ситуациям.

2 **Интеграция с современными технологиями мониторинга** – знакомство учащихся с распределёнными системами химического и биологического мониторинга на объектах транспорта.

3 **Развитие междисциплинарных проектов** – совместная работа с преподавателями специальных дисциплин для решения комплексных задач безопасности.

4 **Цифровизация образовательного процесса** – использование симуляторов аварийных ситуаций с химическими и биологическими факторами.

Опыт преподавания химии и биологии в колледже показывает, что эти учебные предметы являются не просто общеобразовательными предметами, а фундаментом профессиональной подготовки специалистов в области транспортной безопасности. Интеграция естественнонаучных знаний в профессиональное образование позволяет формировать у учащихся не только теоретическую базу, но и практические навыки, необходимые для предотвращения и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций на транспорте.

Как отмечается в материалах международных конференций, естественные науки играют ключевую роль в обеспечении безопасности транспортных систем. Задача преподавателя – сделать так, чтобы каждый выпускник понимал: знание химии и биологии – это не абстрактная теория, а реальный инструмент сохранения жизни и здоровья людей на транспорте.

УДК 539.3

О ВЛИЯНИИ ИЗГИБА В ИСПЫТАНИЯХ НА ОДНОСРЕЗНОЕ И ДВУХСРЕЗНОЕ СМЯТИЕ С ЗЕНКОВАННЫМИ ОТВЕРСТИЯМИ

Е. И. СМАГИН
ПАО «Яковлев», г. Москва, Российская Федерация

В. А. ВЕСТЯК, М. И. МАРТИРОСОВ
Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация

Уникальное сочетание свойств ортотропных материалов, в частности полимерных композиционных материалов (ПКМ), способствует повышению прочности создаваемой конструкции и весовой эффективности. При проектировании современных машиностроительных конструкций различного назначения обязательно следует учитывать факторы, препятствующие широкому практическому внедрению ПКМ. Так, для ПКМ характерна особая чувствительность к концентраторам напряжений в виде отверстий.

Для экспериментальной оценки несущей способности в ортотропных пластинах (выполненных, например, из конструктивных углепластиков разных марок) влияния плоскости среза и зенковки проводят статические испытания, используя при этом различные типы образцов с концентраторами в виде нагруженных отверстий. Испытания на статическое нагружение проводятся по стандарту, описанному в ГОСТ 33498-2015. В стандарте предусмотрены различные схемы нагружения образцов по методам А и В.

Для оценки прочности ортотропных пластин с концентраторами напряжений в виде прямых и зенкованных отверстий может применяться также ГОСТ Р 56788-2015. В стандарте предполагается проведение испытаний пластины прямоугольной формы с выполненным отверстием (прямым или зенкованным) на пересечении осей симметрии образца.

В соединениях нескольких конструктивных элементов используется крепеж различной формы и материала. Для внешних поверхностей часто используют крепежные элементы с конусовидными шляпками. Главным преимуществом таких соединений является возможность не менять геометрию внешнего контура и, следовательно, не вносить паразитных эффектов в аэродинамическое качество изделия, например, для элементов конструкций авиационной техники.

Для ПКМ на основе углеволокон характерно хрупкое разрушение. Заметная чувствительность здесь проявляется к концентраторам напряжений в виде отверстий. В отраслях промышленности могут встречаться различные типы болтовых соединений ортотропных пластин с другими элементами конструкций. Места нагруженных соединений, как правило, находятся в защищенных зонах, и визуально обнаружить последствия действия нагрузок высокой интенсивности не всегда возможно,

что в свою очередь может привести к растрескиванию и расслоению используемого ПКМ, а также вызывает снижение местной и общей прочности всей конструкции.

Для определения механических свойств ПКМ в работе проведены экспериментальные исследования на образцах из углепластика на основе эпоксидного модифицированного связующего и высокомодульного волокна. Образцы для испытаний изготавливались по инфузионной технологии. В конструкции образцов применялись отверстия с выполненной зенковкой 90°. Крепежный элемент изготавливался из титанового сплава ВТ16 по ОСТ 1 10571.

Исследование прочности образцов с прямым и зенкованным 90° отверстием со смешанными укладками монослоев из 50 % слоев по направлению 0°, 37 % слоев по направлению 45°, 13 % слоев по направлению 90° (50/37/13) позволяет оценить изменение несущей способности от разных форм концентраторов напряжений. Так, при испытании образцов на наиболее чувствительный вид нагружения – сжатие наблюдается снижение несущей способности на 0,86 относительно прямого отверстия.

При анализе результатов испытаний образцов на смятие с оценкой влияния плоскости среза наблюдается значительное падение предела прочности при смятии. Средние значения предела прочности при смятии в случае двухсрезного соединения составляло примерно 980 МПа, а в случае односрезного соединения – около 470 МПа. Таким образом, можно говорить, что эффект влияния в плоскости среза в данном эксперименте составляет около 0,47 относительно двухсрезного соединения.

Исходя из проведенных в работе экспериментальных исследований можно предположить, что при отсутствии зенковки можно повысить значения предела прочности при смятии с 470 до 546 МПа. В таком случае чистое влияние плоскости среза с одинаковыми прямыми отверстиями составляет 0,55.

Для проведения углубленного анализа причин снижения прочности ортотропных пластин с концентраторами напряжений в виде отверстий разработаны модели типовых соединений таких пластин с механическими крепежными элементами, на основе которых создавались серии конечно-элементных моделей (КЭМ) для различных схем армирования.

Моделирование приведенных выше испытаний проводилось в программном комплексе LS-DYNA, использовалась модель материала «MAT_221_ORTHOTROPIC_SIMPLIFIED_DAMAGE», основанная на критерии разрушения максимальных деформаций.

По полученным результатам расчета модели с односрезным соединением наглядно наблюдается совместное действие растягивающих и изгибающих усилий в центральной части. В связи с установкой потайного крепежа имеет место высокая степень «подмятия» зенкованной области пластины, которая в свою очередь провоцирует потерю несущей способности. В случае с моделью двухсрезного соединения наблюдается равномерное нагружение с выраженной сдвиговой модой разрушения.

Учитывая различные схемы армирования рассматриваемых ортотропных пластин, наблюдаются различные формы разрушения. Так, для образцов односрезного соединения, с укладкой монослоев из 13,3 % слоев по направлению 0°, 40 % слоев по направлению 45°, 46,7 % слоев по направлению 90° (13,3/40/46,7) имеет место незначительное количество поврежденных вдоль 0° слоев и множественное повреждение слоев от сдвигающих деформаций. В результате наблюдается неравномерное распределение повреждений, наибольшее количество очагов повреждений фиксируется в местах контакта шляпки крепежного элемента с пластиной и по всей толщине пластины под гайкой. Это свидетельствует о наличии изгиба высокой интенсивности.

Анализ результатов выполненной расчётно-экспериментальной работы показывает, что ортотропные пластины подвержены сильному влиянию геометрических концентраторов и типов соединения. При проектировании элементов конструкций из ортотропного материала целесообразно использовать комплексный подход по определению несущей способности. Исследования показали, что введение потайного крепежа в односрезном соединении снижает несущую способность на 0,86 относительно прямого отверстия и не может быть учтено путем пропорционального пересчета на уменьшенную площадь поперечного сечения. Также чистое влияние плоскости среза с одинаковыми прямыми отверстиями составляет 0,55.

УДК 539.374

ПРОГИБ УПРУГОПЛАСТИЧЕСКОГО ТРЕХСЛОЙНОГО СТЕРЖНЯ ПОД ДЕЙСТВИЕМ СИНУСОИДАЛЬНОЙ НАГРУЗКИ

Э. И. СТАРОВОЙТОВ
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Физически нелинейное деформирование неоднородных конструкций рассматривалось во многих работах, в том числе [1–21]. Здесь приведено решение задачи о деформировании трехслойного стержня с упругопластическими несущими слоями и физически нелинейным заполнителем при воздействии локальной синусоидальной нагрузки. Для описания кинематики несимметричного по толщине пакета приняты гипотезы ломаной линии: в тонких несущих слоях справедливы гипотезы Бернулли, в жестком несжимаемом по толщине сравнительно толстом заполнителе нормаль остается прямолинейной, не изменяет своей длины, но поворачивается на некоторый дополнительный угол $\psi(x)$.

На внешний слой стержня действует поверхностная силовая нагрузка $q(x)$. Через $w(x)$ и $u(x)$ обозначены прогиб и продольное перемещение срединной плоскости заполнителя, $\psi(x)$ – сдвиг в заполнителе. На торцах предполагается наличие жестких диафрагм, препятствующих относительному сдвигу слоев, на границах слоев – склейки. С помощью введенных гипотез, продольные перемещения в слоях $u^{(k)}$ выражаются через три искомые функции $u(x)$, $\psi(x)$ и $w(x)$.

В слоях стержня используются физические соотношения теории малых упругопластических деформаций Ильюшина:

$$s_{ij}^{(k)} = 2G_k f^{(k)}(\varepsilon_u^{(k)})\vartheta_{ij}^{(k)}, \quad \sigma^{(k)} = 3K_k\varepsilon^{(k)} \quad (k=1,2; \quad i,j=x,y,z),$$

где $s_{ij}^{(k)}$, $\vartheta_{ij}^{(k)}$ – девиаторы напряжений и деформаций; $\sigma^{(k)}$, $\varepsilon^{(k)}$ – шаровые части тензоров напряжений и деформаций; G_k, K_k – модули сдвига и объемного деформирования материалов слоев; $f^{(k)}(\varepsilon_u^{(k)})$ – функция физической нелинейности; $\varepsilon_u^{(k)}$ – интенсивность деформаций; $\varepsilon_y^{(k)}$ – деформационный предел текучести материала, параметры функций пластичности приведены в [1].

Система нелинейных дифференциальных уравнений равновесия стержня для определения искомых перемещений получена с помощью метода Лагранжа. Применение метода упругих решений Ильюшина позволяет на каждом шаге приближения сводить рассматриваемую задачу к линейной задаче теории упругости с дополнительными «внешними» нагрузками.

При действии локальной поперечной синусоидальной нагрузки

$$q(x) = q_0 H_0(b-x)\sin\left(\frac{\pi x}{b}\right),$$

аналитическое решение для прогиба

$$w^{(n)}(x) = \frac{1}{\alpha_2}\Big[\alpha_1\int\psi^{(n)}\,\mathrm{d}x - a_7 L_3^{-1}\left(p_\omega^{(n-1)}\right) +$$

$$+a_1 L_4^{-1}(q - q_\omega^{(n-1)}) + \frac{a_1 C_1^{(n)}}{6}x^3\Big] + \frac{C_4^{(n)}}{2}x^2 + C_5^{(n)}x + C_6^{(n)},$$

где $p_\omega^{(n-1)}, q_\omega^{(n-1)}$ – дополнительные «внешние» нагрузки, учитывающие физически нелинейные свойства материалов слоев; L_3^{-1}, L_4^{-1} – линейные интегральные операторы,

$$L_3^{-1}(g) \equiv \iiint g\,dx\,dx\,dx; \quad L_4^{-1}(g) \equiv \iint\iint g\,dx\,dx\,dx\,dx.$$

Для остальных перемещений получены подобные формулы. Приведенное решение позволяет составить алгоритм расчета перемещений в упругопластическом трехслойном стержне при синусоидальной и других видах внешней нагрузки.

Работа выполнена при финансовой поддержке Государственной программы научных исследований «Механика, машиностроение, роботизированные, беспилотные и интеллектуальные системы».

Список литературы

1 **Zhuravkov, M. A.** Mechanics of Solid Deformable Body / M. A. Zhuravkov, Lyu Yongtao, E. I. Starovoitov. – Singapore : Springer, 2022. – 317 p.

2 Deformation of Three-layer Structural Elements in Thermal Radiation Fields / E. I. Starovoitov, M. A. Zhuravkov, D. V. Leonenko, Lyu Yongtao. – Springer Nature Singapore, Pte Ltd, 2024. – 384 p.

3 Деформирование трехслойных пластин при термосиловых нагрузках / Э. И. Старовойтов, Ю. В. Шафиева, А. В. Нестерович, А. Г. Козел. – Гомель : БелГУТ, 2024. – 395 с.

4 **Старовойтов, Э. И.** Механика материалов / Э. И. Старовойтов. – Гомель : БелГУТ, 2011. – 380 с. – ISBN 978-985-468-720-9. – EDN SRNTHC.

5 **Старовойтов, Э. И.** Сопротивление материалов / Э. И. Старовойтов. – Гомель : БелГУТ, 2004. – 376 с. – ISBN 985-6550-79-3. – EDN IZTRBI.

6 **Старовойтов, Э. И.** Сопротивление материалов / Э. И. Старовойтов. – Гомель : БелГУТ, 2025. – 396 с.

7 **Яровая, А. В.** Строительная механика. Статика стержневых систем / А. В. Яровая. – Гомель : БелГУТ, 2013. – 447 с. – ISBN 978-985-468-954-8.

8 **Leonenko, D. V.** Vibrations of Cylindrical Sandwich Shells with Elastic Core under Local Loads / D. V. Leonenko, E. I. Starovoitov // International Applied Mechanics. – 2016. – Vol. 52, № 4. – P. 359–367. – DOI: 10.1007/s10778-016-0760-8. – EDN YVTYID.

9 **Tarlakovskii, D. V.** Two-dimensional nonstationary contact of elastic cylindrical or spherical shells / D. V. Tarlakovskii, G. V. Fedotenkov // Journal of Machinery Manufacture and Reliability. – 2014. – Vol. 43, № 2. – P. 145–152.

10 **Старовойтов, Э. И.** Деформирование локальными нагрузками композитной пластины на упругом основании / Э. И. Старовойтов, Д. В. Леоненко, М. Сулейман // Механика композитных материалов. – 2007. – № 1 (43). – С. 109–120. – EDN DIPPEO.

11 **Горшков, А. Г.** Гармоническое нагружение слоистых вязкоупругопластических систем / А. Г. Горшков, Э. И. Старовойтов, А. В. Яровая // Известия Академии наук. Механика твердого тела. – 2000. – № 6. – С. 91–98.

12 **Старовойтов, Э. И.** Деформирование упругого трехслойного стержня локальными нагрузками / Э. И. Старовойтов, А. В. Яровая, Д. В. Леоненко // Проблемы машиностроения и автоматизации. – 2001. – № 4. – С. 37–40.

13 **Gorshkov, A. G.** Oscillations of a circular linearly viscoelastic three-layered disk / A. G. Gorshkov, E. I. Starovojtov, A. V. Yarovaya // Проблемы прочности. – 2001. – № 3. – P. 100–107.

14 **Будникова, Д. А.** Влияние условий закрепления пятислойного стержня на частоты собственных колебаний / Д. А. Будникова // Актуальные вопросы машиноведения. – 2025. – Т. 14. – С. 66–69. – EDN JEZIAZ.

15 **Могилевич, Л. И.** Гидроупругость виброопоры с трехслойной круглой упругой пластиной с несжимаемым заполнителем / Л. И. Могилевич, В. С. Попов, Э. И. Старовойтов // Наука и техника транспорта. – 2006. – № 2. – С. 56–63.

16 **Starovoitov, E. I.** Natural Vibrations of a Circular Five-Layer Plate Caused by Initial Deflection / E. I. Starovoitov, E. A. Lachugina / Journal of Machinery Manufacture and Reliability. – 2026. – Vol. 55. – P. 124–133.

17 **Лачугина, Е. А.** Собственные колебания пятислойной круговой пластины при различных закреплениях контура / Е. А. Лачугина // Проблемы физики, математики и техники. – 2025. – № 1 (62). – С. 25–30.

18 **Леоненко, Д. В.** Колебания круговых трехслойных пластин на упругом основании Пастернака / Д. В. Леоненко // Экологический вестник научных центров Черноморского экономического сотрудничества. – 2014. – № 1. – С. 59–63.

19 **Козел, А. Г.** Об аналитическом решении задачи для шарнирно опертой трехслойной пластины на основании Пастернака / А. Г. Козел // Механика композиционных материалов и конструкций. – 2023. – Т. 29, № 4. – С. 520–537.

20 **Захарчук, Ю. В.** Перемещения в круговой трехслойной пластине со сжимаемым заполнителем / Ю. В. Захарчук // Механика. Исследования и инновации. – 2017. – № 10 (6). – С. 55–66.

21 **Rabinskiy, L. N.** Study of thermal effects of electromagnetic radiation on the environment from space rocket activity / L. N. Rabinskiy, O. V. Tushavina, E. I. Starovoitov // INCAS Bulletin. – 2020. – Vol. 12, special is. – P. 141–148. – DOI: 10.13111/2066-8201.2020.12.S.13. – EDN LIZOLS.

УДК 539.374

ИЗГИБ ТРЕХСЛОЙНОЙ ОРТОТРОПНОЙ ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ПЛАСТИНЫ

Э. И. СТАРОВОЙТОВ
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Д. В. ТАРЛАКОВСКИЙ, Г. В. ФЕДОТЕНКОВ
Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация

Композиционные, в том числе слоистые конструкции широко используются в транспортном машиностроении: в качестве корпусных элементов вагонов, авиационных аппаратов, строительных панелей. В связи с этим актуальным является их расчет при различных внешних воздействиях и внутренней конфигурации. Статическое деформирование слоистых элементов конструкций исследовалось в работах [1–13], динамическое – в [14–20]. Здесь рассмотрен цилиндрический изгиб трех-

слойной изотропной прямоугольной пластины с усиленным нижним слоем накладкой. На пластину действует вертикальная осесимметричная нагрузка $q(x)$. Через $w(x)$ и $u(x)$ обозначены прогиб и продольное перемещение серединной плоскости заполнителя вдоль оси ox; h_k – толщина k-го слоя, причем суммарная толщина нижнего слоя

$$h_2^+ = h_2 + h_s H_0\left(x - x_0\right),$$

где h_s – толщина накладки; $H_0(x)$ – функция Хэвисайда.

Для описания кинематики пакета приняты гипотезы ломаной линии: в несущих слоях и накладке справедливы гипотезы Кирхгофа, в несжимаемом по толщине заполнителе нормаль остается прямолинейной, не изменяет своей длины, но поворачивается на некоторый $\psi(x)$. На торцах пластины жесткие диафрагмы, препятствующих относительному сдвигу слоев. Система трех обыкновенных дифференциальных уравнений равновесия получена вариационным методом Лагранжа:

$$\begin{gathered}
(a_3 + a_3^{(s)} H(x-x_0))u_{,xx} + (a_6 + a_6^{(s)} H(x-x_0))\psi_{,xx} - (a_7 + a_7^{(s)} H(x-x_0))w_{,xxx} = 0; \\
(a_7 + a_7^{(s)} H(x-x_0))u_{,xxx} + (a_3 + a_3^{(s)} H(x-x_0))\psi_{,xxx} - (a_{21} + a_{21}^{(s)} H(x-x_0))w_{,xxxx} + q = 0; \\
(a_6 + a_6^{(s)} H(x-x_0))u_{,xx} + (a_{24} + a_{24}^{(s)} H(x-x_0))\psi_{,xx} \\
-(a_{17} + a_{17}^{(s)} H(x-x_0))w_{,xxx} - G_{xz}^{(3)} c\psi = 0,
\end{gathered}$$

где запятая в нижнем индексе обозначает дифференцирование по следующей за ней координате;

$$\begin{gathered}
a_1 = K_1^+ h_1 + K_2^+ h_{20} + 2K_3^+ c, \quad a_{10} = K_2^+ h_{21}, \quad a_2 = c^2\left[K_1^+ h_1 + K_2^+ h_{20} + \tfrac{2}{3} K_3^+ c\right], \quad a_{20} = c^2 K_2^+ h_{21}, \\
a_3 = c\left[K_1^+ h_1\left(c + \tfrac{1}{2} h_1\right) + K_2^+ h_{20}\left(c + \tfrac{1}{2} h_{20}\right) + \tfrac{2}{3} K_3^+ c^2\right], \quad a_{30} = cK_2^+ h_{21}(c + h_{20} + \tfrac{1}{2} h_{21}), \\
a_4 = K_1^+ h_1\left(c^2 + ch_1 + \tfrac{1}{3} h_1^2\right) + K_2^+ h_{20}\left(c^2 + ch_{20} + \tfrac{1}{3} h_{20}^2\right) + \tfrac{2}{3} K_3^+ c^3, \\
a_{40} = K_2^+ h_{21}\left(c(c + 2h_{20} + h_{21}) + h_{20}h_{21} + h_{20}^2 + \tfrac{1}{3} h_{21}^2\right), \quad a_5 = 2G_3 c, \quad a_6 = c\left[K_1^+ h_1 - K_2^+ h_{20}\right], \quad a_{60} = -cK_2^+ h_{21}, \\
a_7 = K_1^+ h_1\left(c + \tfrac{1}{2} h_1\right) - K_2^+ h_{20}\left(c + \tfrac{1}{2} h_{20}\right), \quad a_{70} = -K_2^+ h_{21}\left(c + h_{20} + \tfrac{1}{2} h_{21}\right).
\end{gathered}$$

Система дифференциальных уравнений равновесия содержит разрывные коэффициенты. Ее решение проводилось раздельно в областях непрерывности коэффициентов. Затем полученные решения «сшивались» в точке нерегулярности границы. В области без накладки

$$\psi_1(x) = C_{21}\mathrm{sh}(\beta_1 x) + C_{31}\mathrm{ch}(\beta_1 x) - \frac{1}{\beta_1^2}\left[\gamma_{21} p + \gamma_{11}(qx + C_{11})\right],$$

$$\begin{gathered}
w_1(x) = \frac{1}{\alpha_{21}}\left[\frac{\alpha_{11}}{\beta_1}\left[C_{21}\mathrm{ch}(\beta_1 x) + C_{31}\mathrm{sh}(\beta_1 x) - \frac{x}{\beta_1}\left(\gamma_{21} p + \gamma_{11}\left(\frac{1}{2} qx + C_{11}\right)\right)\right] - \right. \\
\left. - a_7 p\frac{x^3}{6} + a_1 q\frac{x^4}{24} + \frac{a_1 C_{11}}{6} x^3\right] + \frac{C_{41}}{2} x^2 + C_{51} x + C_{61},
\end{gathered}$$

$$u_1(x) = \gamma_{31}\psi_1 + \frac{1}{\alpha_{21}}\left[-a_4 p\frac{x^2}{2} + a_7 q\frac{x^3}{6} + \frac{a_7}{2} C_{11} \qquad x^2\right] + C_{71} x + C_{81}.$$

Предложенное общее решение краевой задачи позволяет проводить анализ напряженно-деформированного состояния трехслойных элементов конструкций при непрерывных и локальных нагрузках в зависимости от прочностных и геометрических параметров слоев. При отсутствии накладки все приведенные аналитические результаты совпадают с соответствующими решениями для трехслойного стержня постоянной толщины.

Список литературы

1 **Zhuravkov, M. A.** Mechanics of Solid Deformable Body / M. A. Zhuravkov, Lyu Yongtao, E. I. Starovoitov. – Singapore : Springer, 2022. – 317 p.

2 Deformation of Three-layer Structural Elements in Thermal Radiation Fields / E. I. Starovoitov, M. A. Zhuravkov, D. V. Leonenko, Lyu Yongtao. – Springer Nature Singapore, Pte Ltd, 2024. – 384 p.

3 Деформирование трехслойных пластин при термосиловых нагрузках / Э. И. Старовойтов, Ю. В. Шафиева, А. В. Нестерович, А. Г. Козел. – Гомель : БелГУТ, 2024. – 395 с.

4 **Старовойтов, Э. И.** Механика материалов / Э. И. Старовойтов. – Гомель : БелГУТ, 2011. – 380 с. – ISBN 978-985-468-720-9. – EDN SRNTHC.

5 **Старовойтов, Э. И.** Сопротивление материалов / Э. И. Старовойтов. – Гомель : БелГУТ, 2004. – 376 с. – ISBN 985-6550-79-3. – EDN IZTRBI.

6 **Старовойтов, Э. И.** Сопротивление материалов / Э. И. Старовойтов. – Гомель : БелГУТ, 2025. – 396 с.

7 **Яровая, А. В.** Строительная механика. Статика стержневых систем / А. В. Яровая. – Гомель : БелГУТ, 2013. – 447 с. – ISBN 978-985-468-954-8.

8 **Старовойтов, Э. И.** Деформирование локальными нагрузками композитной пластины на упругом основании / Э. И. Старовойтов, Д. В. Леоненко, М. Сулейман // Механика композитных материалов. – 2007. – № 1 (43). – С. 109–120. – EDN DIPPEO.

9 **Салицкий, В. С.** Уравнения равновесия упругопластической пятислойной симметричной по толщине пластины / В. С. Салицкий // Проблемы физики, математики и техники. – 2025. – № 4 (65). – С. 42–46. – DOI: 10.54341/20778708_2025_4_65_42. – EDN VWYSNY.

10 **Старовойтов, Э. И.** Термосиловое деформирование ступенчатого трехслойного физически нелинейного стержня / Э. И. Старовойтов, Д. В. Леоненко, Д. В. Тарлаковский // Инженерно-физический журнал. – 2016. – Т. 89, № 6. – С. 1608–1616. – EDN XAAHGN.

11 **Старовойтов, Э. И.** Деформирование упругого трехслойного стержня локальными нагрузками / Э. И. Старовойтов, А. В. Яровая, Д. В. Леоненко // Проблемы машиностроения и автоматизации. – 2001. – № 4. – С. 37–40.

12 **Козел, А. Г.** Уравнения равновесия упругопластической круговой пластины на основании Пастернака / А. Г. Козел // Механика. Исследования и инновации. – 2018. – № 11 (11). – С. 127–133.

13 **Захарчук, Ю. В.** Перемещения в круговой трехслойной пластине со сжимаемым заполнителем / Ю. В. Захарчук // Механика. Исследования и инновации. – 2017. – № 10 (6). – С. 55–66.

14 **Gorshkov, A. G.** Oscillations of a circular linearly viscoelastic three-layered disk / A. G. Gorshkov, E. I. Starovojtov, A. V. Yarovaya // Проблемы прочности. – 2001. – № 3. – P. 100–107

15 **Leonenko, D. V.** Vibrations of Cylindrical Sandwich Shells with Elastic Core under Local Loads / D. V. Leonenko, E. I. Starovoitov // International Applied Mechanics. – 2016. – Vol. 52, № 4. – P. 359–367. – DOI: 10.1007/s10778-016-0760-8. – EDN YVTYID.

16 **Tarlakovskii, D. V.** Two-dimensional nonstationary contact of elastic cylindrical or spherical shells / D. V. Tarlakovskii, G. V. Fedotenkov // Journal of Machinery Manufacture and Reliability. – 2014. – Vol. 43, № 2. – P. 145–152.

17 **Горшков, А. Г.** Гармоническое нагружение слоистых вязкоупругопластических систем / А. Г. Горшков, Э. И. Старовойтов, А. В. Яровая // Известия Академии наук. Механика твердого тела. – 2000. – № 6. – С. 91–98.

18 **Будникова, Д. А.** Собственные частоты колебаний пятислойного стержня / Д. А. Будникова // Проблемы физики, математики и техники. – 2025. – № 2 (63). – С. 11–15.

19 **Лачугина, Е. А.** Свободные колебания пятислойной круговой пластины с легкими заполнителями / Е. А. Лачугина // Механика. Исследования и инновации. – 2023. – № 16. – С. 111–116.

20 **Rabinskiy, L. N.** Study of thermal effects of electromagnetic radiation on the environment from space rocket activity / L. N. Rabinskiy, O. V. Tushavina, E. I. Starovoitov // INCAS Bulletin. – 2020. – Vol. 12, special is. – P. 141–148. – DOI: 10.13111/2066-8201.2020.12.S.13. – EDN LIZOLS.

УДК 629.331:620.179.1

ВИБРОАКУСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ АГРЕГАТОВ И МАШИН

Д. А. СТАСЮК, О. С. КИСЕЛЕВСКИЙ
Белорусско-Российский университет, г. Могилев, Республика Беларусь

Неразрушающий контроль играет ключевую роль в обеспечении надежности и безопасности промышленного оборудования, позволяя своевременно выявлять скрытые дефекты без нарушения целостности конструкций. Применение этих методов в современной индустрии минимизирует риски техногенных катастроф и существенно снижает экономические затраты на техническое обслуживание. Республика Беларусь обладает огромным научным наследием и интеллектуальным потенциалом в области теоретических исследований принципов функционирования сложных, многослойных, композитных механических систем, а также применения этих принципов в практике неразрушающего контроля и диагностики [1]. В Беларуси, а вернее – в БССР, в свое время под руководством В. А. Белого была создана первая научная школа изучения триботехнических, коррозионных и прочностных свойств и научного обоснования методов конструирования, расчета, изготовления и эксплуатации полимерных и металлополимерных материалов и конструкций. Практикоориентированные подходы в научных исследованиях развития машиностроения, а также железнодорожного транспорта

находят свое продолжение в работе молодых исследователей: аспирантов студентов, демонстрируя тем самым преемственность поколений и развитие отечественных научных школ [2].

Неразрушающий контроль и диагностика являются неотъемлемой частью экономичных ресурсосберегающих технологий. Применение неразрушающего контроля способствует оперативному корректированию технологического процесса, а также установлению причинно-следственных связей возникновения дефектов и поломок [3].

Среди применяемых методов неразрушающего контроля технического состояния агрегатов и машин наиболее информативным является виброакустический анализ. К его преимуществам относят возможность применения без разборки оборудования, высокую чувствительность к ранним стадиям образования дефектов, пригодность для непрерывного мониторинга.

Известно, что динамические процессы в подвижных соединениях неизбежно вызывают вибрацию и шум. Оба явления обладают одинаковой механической природой, но отличаются частотой и амплитудой. Основными источниками механических колебаний являются ударные взаимодействия в подшипниках и зацеплениях, не менее важными источниками шума выступают явления автоколебаний в зоне трения скольжения [4], переменные электромагнитные силы в трансформаторах и электродвигателях. Суть виброакустического анализа заключается в измерении, регистрации и последующем анализе параметров вибрации (колебаний) и шума, генерируемых работающей машиной. Метод основан на принципе «исправная машина шумит иначе, чем неисправная», причем изменение шума проявляется задолго до ее отказа. Каждый узел и каждая неисправность создают характерный «вибрационный портрет» (набор частот и амплитуд). Спектр шума и вибрации складывается:

– из вращательной частоты f_r (основной тон, связанный с оборотами вала);

– гармоник вращательной частоты ($2\ f_r$, $3\ f_r$, …), указывающих на дисбаланс, расцентровку, ослабление креплений;

– зубцовых частот для редукторов $f_z = f_r \cdot z$ (где z – число зубьев);

– частот перекатывания подшипников – частоты, характерных для внутреннего/наружного кольца, тел качения и сепаратора;

– высокочастотной шумовой составляющей (до 10–20 кГц), вызываемой автоколебательными процессами при адгезионном взаимодействии шероховатостей трущихся поверхностей, а также микроударами в зарождающихся дефектах.

Наиболее значимые, измеряемые на практике параметры представлены в таблице 1. Чаще всего в анализе виброакустических данных исследователи руководствуются правилом интерпретации: полученный амплитудно-частотный спектр сравнивают с эталонным спектром исправного агрегата или отслеживают его динамику во времени.

Таблица 1

Параметр	Что показывает	Интерпретация
Среднеквадратичное значение (СКЗ), м/с², мм/с	Общий уровень вибрации (энергия)	Рост СКЗ – ухудшение состояния, но низкая чувствительность к ранним дефектам
Пик-фактор (отношение пика к СКЗ)	Наличие ударных импульсов	>3…5 – ударные процессы (дефекты подшипников)
Спектр амплитуд (БПФ), м/с²/Гц	Распределение энергии по частотам	Появление новых гармоник, рост боковых полос – локализация дефекта
Огибающая (Envelope), м/с²	Высокочастотные ударные модуляции	Обнаружение микроударов (ранние дефекты подшипников)

Определёнными преимуществами перед таким интегральным методом обладает узкополосный дискриминантный анализ (УДА). В ходе УДА анализируются амплитуды в заранее прогнозируемых частотных полосах (полосы пропускания 1–5 % от центральной частоты), соответствующих ожидаемым дефектам. Такой способ инвариантен к помехам, ориентирован на поиск конкретной ожидаемой проблемы, адаптивен к изменениям условий эксплуатации [5]. Применение многомерного S-дискриминантного анализа позволяет сопоставлять одновременно несколько частотных каналов (дискриминант), формируя многомерное пространство признаков. S-дискриминантный анализ хорошо формализуется математически и совместим с современными методами машинного обучения (нейронных сетей и опорных векторов) применительно к вибрационной диагностике [6]. Его использование позволяет перейти от планово-предупредительных ремонтов к обслуживанию техники

по ее фактическому состоянию в соответствии с ключевым принципом Индустрии 4.0. Узкополосный дискриминантный анализ выступает в качестве высокоэффективного инструмента современной дефектоскопии, способного кардинально повысить безопасность движения на железнодорожном транспорте. Интеграция этого метода с алгоритмами машинного обучения открывает широкие перспективы для создания интеллектуальных систем мониторинга критических дефектов колесных пар, букс, двигателей внутреннего сгорания. Переход к оценке фактического состояния инфраструктуры на основе УДА минимизирует риски аварийных ситуаций и оптимизирует затраты на техническое обслуживание железных дорог.

Список литературы

1 **Шимановский, А. О.** Научное наследие академика В. А. Белого / А. О. Шимановский, О. И. Цыганок // Механика. Исследования и инновации. – Гомель, 2022. – Вып. 15. – С. 241–245. –

2 **Кулаженко, Ю. И.** Практико-ориентированные подходы в научных исследованиях развития железнодорожного транспорта. Опыт научной школы профессора И. Г. Тихомирова / Ю. И. Кулаженко, Н. Н. Казаков, А. А. Ерофеев // Тихомировские чтения: наука и современная практика технологии перевозочного процесса : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 20–21 окт. 2022 г. – Гомель : БелГУТ, 2023. – С. 7–14.

3 **Холодилов, О. В.** Влияние частоты вращения и массы колесных пар на результат вибродиагностики буксовых узлов на стенде УДП-2021 / О. В. Холодилов, А. Г. Отока // Надежность. – 2024. – Т. 24, № 1. – С. 58–64. – DOI: 10.21683/1729-2646-2024-24-1-58-64.

4 **Хоменко, А. В.** Стохастическая модель прерывистого режима граничного трения с учетом деформационного дефекта модуля сдвига смазочного материала / А. В. Хоменко, Я. А. Ляшенко // Трение и износ. – 2010. – Т. 31, № 4. – С. 412–422.

5 **Костюков, В. Н.** Синтез инвариантных диагностических признаков и моделей состояния агрегатов для целей диагностики / В. Н. Костюков // Омский научный вестник. – 2000. – № 12. – С. 77–81.

6 **Radicioni, L.** Vibration-Based Anomaly Detection in Industrial Machines: A Comparison of Autoencoders and Latent Spaces / L. Radicioni, F. M. Bono, S. Cinquemani // Machines. – 2025. – № 2. – P. 139. – DOI: 10.3390/machines13020139.

УДК 539.3

ФУНКЦИИ ВЛИЯНИЯ ДЛЯ КРУГОВЫХ УПРУГИХ МОМЕНТНЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК

Д. В. ТАРЛАКОВСКИЙ, М. Ю. РЯЗАНЦЕВА, А. Ж. ФАРМАНЯН
НИИ механики МГУ им. М. В. Ломоносова, г. Москва, Российская Федерация

В работе в плоской постановке решена задача о построении нестационарных функций влияния для круговых упругих моментных цилиндрических оболочек.

Рассматривается круговая цилиндрическая моментная упругая тонкая оболочка постоянной толщины h, радиус срединной поверхности которой R:

$$\frac{h}{R} = \delta << 1. \tag{1}$$

Материал оболочки описывается моделью Коссера [1].

В исследовании использовалась цилиндрическая система координат, в которой продольная ось x совпадает с осью цилиндрической оболочки, а угловая координата $\alpha_2 \left(-\pi < \alpha_2 \le \pi\right)$ соответствует азимутальному углу.

В работе [2] построены уравнения движения моментных упругих цилиндрических оболочек. На основе полученных результатов построено уравнение плоского движения изотропной моментной круговой цилиндрической оболочки постоянной толщины [3]. Полученная система включает шесть уравнений с неизвестными: $\overset{p}{u}_\alpha, \overset{p}{w}, \overset{p}{\omega}_x, \overset{p}{\psi}_\alpha, \overset{p}{\varphi}_x, \overset{p}{\psi}$. Все уравнения и операторы преобразованы к безразмерному виду с использованием безразмерных параметров.

Построено аналитическое решение (функции влияния) уравнений плоского движения изотропных моментных упругих круговых цилиндрических оболочек под действием сосредоточенной силы.

Заданы начальные условия:

$$\overset{p}{u_\alpha}\Big|_{\tau=0} = \overset{p}{w}\Big|_{\tau=0} = \overset{p}{\omega_x}\Big|_{\tau=0} = \overset{p}{\psi_\alpha}\Big|_{\tau=0} = \overset{p}{\varphi_x}\Big|_{\tau=0} = \overset{p}{\psi}\Big|_{\tau=0} = 0, \frac{\partial \overset{p}{u_\alpha}}{\partial t}\Big|_{\tau=0} = \frac{\partial \overset{p}{w}}{\partial t}\Big|_{\tau=0} = \frac{\partial \overset{p}{\omega_x}}{\partial t}\Big|_{\tau=0} = \frac{\partial \overset{p}{\psi_\alpha}}{\partial t}\Big|_{\tau=0} = \frac{\partial \overset{p}{\varphi_x}}{\partial t}\Big|_{\tau=0} = \frac{\partial \overset{p}{\psi}}{\partial t}\Big|_{\tau=0} = 0.$$

Заданы внешние нагрузки:

$$q_\alpha = \tilde{m}_{Mx} = m_\alpha = \tilde{m}_{2Mx} = m = 0, q = \delta(\alpha)\delta(\tau).$$

Здесь и далее величины, относящиеся к плоской задаче, обозначаются верхним индексом p.

Введем обозначения для искомых функций влияния, необходимые для решения задачи о плоском движении:

$$\overset{p}{u_\alpha} = F_u(\alpha,\tau), \overset{p}{w} = F_w(\alpha,\tau), \overset{p}{\omega_x} = F_{\omega_x}(\alpha,\tau), \overset{p}{\psi_\alpha} = F_{\psi_\alpha}(\alpha,\tau), \overset{p}{\varphi_x} = F_{\varphi_x}(\alpha,\tau), \overset{p}{\psi} = F_\psi(\alpha,\tau). \quad (2)$$

Поскольку зависимость от угловой координаты является периодической, введем представление всех заданных и искомых функций в виде комплексных рядов Фурье:

$$F_u(\alpha,\tau) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} F_{un}(\tau)e^{in\alpha}, F_w(\alpha,\tau) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} F_{wn}(\tau)e^{in\alpha}, F_{\omega_x}(\alpha,\tau) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} F_{\omega_x n}(\tau)e^{in\alpha},$$
$$F_{\psi_\alpha}(\alpha,\tau) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} F_{\psi_\alpha n}(\tau)e^{in\alpha}, F_{\varphi_x}(\alpha,\tau) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} F_{\varphi_x n}(\tau)e^{in\alpha}, F_\psi(\alpha,\tau) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} F_{\psi n}(\tau)e^{in\alpha}, \quad (3)$$
$$p(\alpha,\tau) = \delta(\alpha)\delta(\tau) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} p_n(\tau)e^{in\alpha}, p_n(\tau) = \frac{1}{2\pi}\int_{-\pi}^{\pi} \delta(\alpha)\delta(\tau)e^{-in\alpha}d\alpha = \frac{\delta(\tau)}{2\pi}.$$

Применяя к полученным уравнениям интегральное преобразование Лапласа по временной переменной, с учетом начальных условий и свойств данного преобразования, сводим задачу к системе линейных алгебраических уравнений относительно изображений коэффициентов рядов:

$$\left[\mathrm{K}(n) - p^2\mathrm{E}\right]\mathrm{g}_n = \mathrm{b}, \mathrm{g}_n = \left(F_{un}^L, F_{wn}^L, F_{\omega_x n}^L, F_{\psi_\alpha n}^L, F_{\varphi_x n}^L, F_{\psi n}^L\right).$$
$$\mathrm{K}(n) = \left(K_{nij}\right)_{6x6}, \mathrm{b} = \left(0, -\frac{1}{2\pi}, 0, 0, 0, 0\right)^T. \quad (4)$$

Верхний индекс L у функции обозначает ее трансформанту по Лапласу; p – параметр преобразования Лапласа, а K_{nij} задаются в следующем виде:

$$K_{n11} = -n^2 - \gamma_1^2, K_{n12} = \left(1+\gamma_1^2\right)ni, K_{n13} = 2\alpha', K_{n14} = r'^2n^2 + \gamma_2^2, K_{n15} = -2\alpha' r'^2, K_{n16} = kni;$$
$$K_{n21} = -\left(1+\gamma_1^2\right)ni, K_{n22} = -\gamma_1^2 n^2 - 1; K_{n23} = 2\alpha' ni, K_{n24} = \gamma_2^2 ni, K_{n25} = -2\alpha' r'^2 ni, K_{n26} = \gamma_1^2 r'^2 n^2 - k;$$
$$K_{n31} = 2\alpha'\vartheta, K_{n32} = -2\alpha'\vartheta ni, K_{n33} = -\gamma_3^2 n^2 - 4\alpha'\vartheta, K_{n34} = 2\alpha'\vartheta, K_{n35} = r'^2\gamma_3^2 n^2, K_{n35} = 0;$$
$$K_{n41} = n^2 + \frac{\gamma_2^2}{r'^2}, K_{n42} = -\frac{\gamma_2^2}{r'^2}ni, K_{n43} = -\frac{2\alpha'}{r'^2}, K_{n44} = n^2 + \frac{\gamma_2^2}{r'^2}, K_{n45} = 2\alpha', K_{n46} = \left(1+\gamma_1^2\right)ni;$$
$$K_{n51} = -2\alpha'\vartheta, K_{n52} = 2\alpha'\vartheta ni, K_{n53} = \gamma_3^2 n^2, K_{n54} = 2\alpha'\vartheta, K_{n55} = \gamma_3^2\left(-n^2 - \frac{1}{r'^2}\right), K_{n56} = -2\alpha'\vartheta ni;$$
$$K_{n61} = \frac{kni}{r'^2}, K_{n62} = \gamma_1^2 n^2 - \frac{k}{r'^2}, K_{n63} = 0, K_{n64} = -\left(1+\gamma_1^2\right)ni, K_{n65} = 2\alpha' ni, K_{n66} = -\gamma_1^2 n^2 - \frac{1}{r'^2}.$$

Решая систему уравнений (4) в операторной форме, получаем аналитические выражения для искомых функций. Эти выражения зависят от дискретного параметра n и комплексной переменной p (оператора преобразования Лапласа):

$$F_{un}^L = F_{un}^L(p,n), F_{wn}^L = F_{wn}^L(p,n), F_{\omega_x n}^L = F_{\omega_x n}^L(p,n), F_{\psi_\alpha n}^L = F_{\psi_\alpha n}^L(p,n), F_{\varphi_x n}^L = F_{\varphi_x n}^L(p,n), F_{\psi n}^L = F_{\psi n}^L(p,n).$$

В результате применения обратного преобразования Лапласа получаем оригинал, который представляет собой искомое решение исходного дифференциального уравнения:

$$F_{un}(\tau)=\sum_m \operatorname*{res}_{p_{pm}} F_{un}^{Lc}(p)e^{p\tau}, F_{wn}(\tau)=\sum_m \operatorname*{res}_{p_{pm}} F_{wn}^{Lc}(p)e^{p\tau}, F_{\omega_x n}(\tau)=\sum_m \operatorname*{res}_{p_{pm}} F_{\omega_x n}^{Lc}(p)e^{p\tau},$$

$$F_{\psi_\alpha n}(\tau)=\sum_m \operatorname*{res}_{p_{pm}} F_{\psi_\alpha n}^{Lc}(p)e^{p\tau}, F_{\varphi_x n}(\tau)=\sum_m \operatorname*{res}_{p_{pm}} F_{\varphi_x n}^{Lc}(p)e^{p\tau}, F_{\psi n}(\tau)=\sum_m \operatorname*{res}_{p_{pm}} F_{\psi n}^{Lc}(p)e^{p\tau}.$$

Подставив найденные значения в (3), получаем искомые функции: $\overset{p}{u}_\alpha, \overset{p}{w}, \overset{p}{\omega}_x, \overset{p}{\psi}_\alpha, \overset{p}{\varphi}_x$ и $\overset{p}{\psi}$.

Для демонстрации конкретных эффектов и проведения сравнительного анализа необходимо решить ряд задач, включающих все геометрические и физические параметры.

Исследование выполнено в рамках государственного задания МГУ им. М. В. Ломоносова.

Список литературы

1 **Ерофеев, В. И.** Волновые процессы в твердых телах с микроструктурой / В. И. Ерофеев. – М. : Изд-во МГУ, 1999. – 328 с.

2 **Тарлаковский, Д. В.** Начально-краевые задачи для моментных упругих круговых цилиндрических оболочек / Д. В. Тарлаковский, А. Ж. Фарманян // Вестник Московского университет. Серия 1: Математика. Механика. – 2025. – № 4. – С. 36–43.

3 **Tarlakovskii, D. V.** Equations of axisymmetrical and plane motion of moment elastic circular cylindrical shells / D. V. Tarlakovskii, M. Yu. Ryzantseva, A. Zh. Farmanyan // AIP Conference Proceeding, International Conference Advanced Mechanics: Structure, Materials, Tribology Samarkand. – 2025. – P. 136–146.

УДК 536.2:004.8

ПРИМЕНЕНИЕ PINN ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ В ЗАДАЧАХ ТЕПЛОВОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

М. В. ТРЕНЁВ, Я. А. ВАХТЕРОВА
Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация

В последние годы физически информированные нейронные сети (Physics-Informed Neural Networks, PINN) рассматриваются как один из наиболее перспективных подходов к решению задач математической физики. Их основное преимущество состоит в том, что при обучении нейронной сети учитываются не только данные, но и структура дифференциального уравнения, а также начальные и граничные условия. Такой подход особенно востребован при решении многомерных нестационарных задач, где традиционные сеточные методы требуют построения расчётной сетки, аккуратного выбора дискретизации и могут сопровождаться существенными вычислительными затратами. В отличие от классических численных схем PINN реализует бессеточную аппроксимацию решения на основе коллокационных точек и автоматического дифференцирования, что делает метод удобным для работы со сложными уравнениями и для последующего расширения к обратным задачам и задачам идентификации параметров.

В задачах обеспечения безопасности транспортных систем моделирование тепловых процессов представляет особый интерес, поскольку температурные режимы оказывают прямое влияние на надёжность, работоспособность и долговечность элементов конструкций. Это относится к тонкостенным деталям, функциональным материалам, оболочкам и другим элементам, для которых локальные тепловые воздействия могут приводить к ухудшению эксплуатационных характеристик. В ряде случаев классическая модель Фурье оказывается недостаточной, так как соответствует параболическому уравнению теплопроводности и предполагает бесконечную скорость распространения теплового сигнала. Поэтому интерес представляют обобщённые гиперболические модели, допускающие конечную скорость распространения тепловых возмущений. В работе в качестве тестовой физической постановки рассматривается уравнение теплопроводности Грина – Нагди II типа, обладающее волновыми свойствами и позволяющее исследовать возможности PINN на более сложной задаче, чем классическое диффузионное уравнение.

В работе рассматривалась двумерная начально-краевая задача в заполненной дюралюминием квадратной области, подверженной температурному возмущению. В качестве материала в исходной постановке использовался дюралюминий, а переход к безразмерным параметрам осуществлялся с введением координаты $x^* = x / l$, времени $t = c_T t / l$, где $c_T^2 = \tilde{\kappa} / \rho c_\varepsilon$, температурного возмущения $\vartheta^* = \vartheta / T_0$ и объемной плотности теплового потока $q^{(e)*} = q^{(e)} l / c_\varepsilon c_T T_0$. Здесь c_ε – коэффициент удельной теплоемкости при постоянной деформации; ρ – плотность среды; T_0 – начальная температура; $\tilde{\kappa}$ – скорость теплопроводности. Данное действие позволило выровнять масштабы членов уравнения, повысить устойчивость обучения и сделать его более универсальным. Для выбранной постановки задавались однородные граничные условия Дирихле и два начальных условия, что соответствует гиперболическому характеру модели. Для верификации результата было получено аналитическое решение в виде разложения в ряд Фурье, использованное далее как эталон при анализе точности нейросетевой аппроксимации.

Вычислительным ядром PINN служит полносвязная нейронная сеть прямого распространения, принимающая на вход пространственные координаты и время, а на выходе возвращающая скалярное значение корректирующей функции. Существенным нововведением разработанного подхода является использование специального анзаца, в который аналитически встроены граничные и начальные условия, а также фреймворка Optuna, позволяющего производить автоматический подбор параметров нейронной сети, без чего некоторые задачи практически не представляются решаемыми, а преобладающая часть занимает больше времени с получением менее качественных результатов. Пространственный множитель автоматически обеспечивает выполнение однородных граничных условий на границе области, а временной множитель позволяет точно удовлетворить двум начальным условиям гиперболической задачи. Таким образом, нейронная сеть аппроксимирует не всё решение напрямую, а только его корректирующую часть, тогда как основные физические ограничения закладываются в архитектуру нейронной сети, что повышает устойчивость процедуры обучения.

Для формирования коллокационных точек использовались случайные последовательности Соболя, обеспечивающие более равномерное заполнение пространственно-временной области по сравнению с обычной случайной выборкой. Это особенно важно для физически информированных нейронных сетей, поскольку качество решения определяется тем, насколько полно контролируется невязка уравнения внутри области. Производные, входящие в остаток дифференциального уравнения, вычислялись средствами автоматического дифференцирования, что позволило отказаться от конечно-разностных приближений. Отдельное внимание уделялось выбору архитектуры сети и функции активации. В работе рассматривались различные конфигурации многослойного перцептрона, а среди функций активации анализировались tanh, SiLU, GELU и sin. Использование гладких функций активации принципиально важно для PINN, так как в невязку входят вторые производные по пространству и времени, и кусочно-линейные функции типа ReLU в таких задачах менее предпочтительны.

Оптимизация параметров сети выполнялась в два этапа. На первом этапе применялся метод Adam, обеспечивающий устойчивый выход в область разумных значений параметров даже при сложном ландшафте функции потерь. На втором этапе проводилась дооптимизация методом L-BFGS, позволяющим более точно минимизировать невязку в окрестности найденного решения. Дополнительно использовался автоматизированный подбор гиперпараметров с помощью Optuna, не применявшийся ранее в контексте физически информированных нейронных сетей. С использованием алгоритма TPESampler (Tree-structured Parzen Estimator), подбирающего параметры с учетом истории испытаний, а также MedianPruner, досрочно прекращающего испытания с промежуточными результатами хуже медианных, подбирались число скрытых слоёв, ширина сети, тип функции активации, скорость обучения, количество внутренних коллокационных точек и ограничение нормы градиента. Таким образом, была достигнута значительная оптимизация процесса разработки нейронной сети, а качество полученного решения существенно выросло.

Оценка качества решения проводилась по нескольким показателям: среднеквадратичной невязке дифференциального уравнения на обучающем и валидационном наборах, контролю выполнения начальных и граничных условий, а также визуальному сравнению с аналитическим решением. Чис-

ленные эксперименты выполнялись как для однородного, так и для неоднородного уравнения. Для однородного случая была получена высокая точность: порядок валидационной невязки достигал10^{-4}, а карты распределения температуры и срезы решения хорошо согласовывались с аналитическим эталоном. Для этого случая эффективной оказалась конфигурация сети с четырьмя скрытыми слоями по 64 нейрона и функцией активации SiLU. В неоднородной постановке задача оказалась существенно более комлпексной: даже при значительном увеличении параметров нейронной сети и её обучения (и, соответственно, вычислительной сложности обучения) минимальная невязка оставалась на уровне порядка 10^{-2}. Тем не менее полученное решение сохраняло физическую согласованность и удовлетворительное совпадение с аналитическим решением. Для неоднородного случая конфигурацию сети необходимо было сделать более комплексной: шесть скрытых слоёв по 96 нейронов с функцией активации GELU.

Полученные результаты показывают, что PINN действительно может рассматриваться как перспективный инструмент решения гиперболических задач теплопроводности. При этом установлено, что качество аппроксимации существенно зависит от выбора архитектуры, типа активации, числа коллокационных точек и стратегии оптимизации. Метод уступает классическим численным схемам по скорости обучения и вычислительной стоимости, однако обладает важной гибкостью и универсальностью: после завершения обучения получается непрерывная аппроксимация решения во всей области, удобная для последующего анализа, масштабирования и использования в задачах с неполными данными. Подход обладает потенциалом получения решения задач, не позволяющих использование численных методов решения. Это позволяет рассматривать PINN как перспективный вычислительный инструмент при моделировании тепловых процессов в инженерных приложениях, связанных с обеспечением безопасности транспортных систем.

УДК 539.3

ЧИСЛЕННАЯ ВЕРИФИКАЦИЯ ТЕРМОУПРУГОГО СОСТОЯНИЯ ОРТОТРОПНОЙ КОМПОЗИТНОЙ ПЛАСТИНЫ ПРИ НЕСТАЦИОНАРНОМ ТЕПЛОВОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

Н. А. ТУШАВИН, С. А. КОЛЕСНИК
Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация

Проведено численное моделирование нестационарного теплового и термоупругого состояния прямоугольной пластины из композиционного материала на основе углеродного волокна AS4. Моделирование выполнено в программном комплексе ANSYS Workbench с использованием последовательного связанного анализа: сначала нестационарный тепловой расчёт (Transient Thermal), затем расчёт напряжённо-деформированного состояния (Static Structural) с импортом температурного поля. Целью является верификация аналитического решения, полученного ранее, путём сравнения температурных полей и оценка уровня термических напряжений, возникающих в пластине при заданных тепловых нагрузках. Материал AS4 обладает выраженной ортотропией теплофизических и механических свойств. Рассматривается прямоугольная пластина толщиной 2 мм с размерами в плане 150×150 мм. Ось X совпадает с направлением армирования волокна, ось Y направлена поперек волокна в плоскости пластины, ось Z – нормаль к плоскости пластины. В нестационарной тепловой постановке на верхнюю грань пластины действует постоянный тепловой поток плотностью 1365 Вт/м², моделирующий солнечный нагрев. На всех четырёх боковых гранях задан постоянный отвод тепла с плотностью –1000 Вт/м² (знак минус соответствует выходу тепла из тела). Нижняя грань (Z = 0) теплоизолирована. Начальная температура всей пластины принята равной 300 К. Такая совокупность граничных условий соответствует положительному тепловому дисбалансу, что приводит к монотонному росту температуры во времени.

УДК 536.24

МЕТОДОЛОГИЯ РАЗРАБОТКИ ТЕПЛОВОЙ ЗАЩИТЫ ТЕПЛОНАПРЯЖЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

О. В. ТУШАВИНА
Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация

Разработка высокоскоростных летательных аппаратов неразрывно связана с решением проблемы интенсивного теплового воздействия на конструкцию. При полете на больших и особенно гиперзвуковых скоростях существенная часть кинетической энергии набегающего потока преобразуется в тепловую, что вызывает аэродинамический нагрев наружных поверхностей и, как следствие, рост температуры наиболее нагруженных элементов. К числу таких элементов относятся носовые части, передние кромки крыла и оперения, воздухозаборные устройства, элементы двигательной установки и отдельные участки обшивки, расположенные в зонах повышенной концентрации тепловых потоков.

Эффективность тепловой защиты в данных условиях определяет не только возможность сохранения работоспособности отдельных узлов, но и общую надежность летательного аппарата. Недостаточная теплозащита приводит к перегреву конструкционных материалов, снижению их прочностных характеристик, возникновению значительных термических деформаций и напряжений, ускоренной деградации покрытия и сокращению ресурса изделия. В связи с этим разработка тепловой защиты должна рассматриваться как комплексная многодисциплинарная задача, требующая согласования требований аэродинамики, прочности, материаловедения, технологии изготовления и условий эксплуатации.

Методология разработки тепловой защиты теплонапряженных элементов основывается на системном подходе. На первом этапе осуществляется анализ условий эксплуатации летательного аппарата, включающий определение скоростных и высотных режимов полета, длительности теплового воздействия, особенностей траектории и наиболее неблагоприятных сценариев нагружения. На основании этих данных формируются расчетные режимы, по которым определяются распределения тепловых потоков по поверхности конструкции и выделяются критические зоны.

Следующим этапом является аэротермодинамический расчет, в рамках которого оцениваются параметры внешнего теплообмена, включая интенсивность конвективного и лучистого нагрева, влияние ударных волн, пограничного слоя и геометрии поверхности. Особое значение имеет учет нестационарного характера теплового воздействия, поскольку в реальных условиях полета температурное нагружение существенно изменяется во времени. Полученные распределения тепловых потоков служат исходными данными для расчета температурных полей в элементах конструкции.

Тепловой расчет позволяет определить температурное состояние как самой теплозащиты, так и защищаемого элемента. При этом учитываются теплопроводность материалов, теплоемкость, излучательная способность, наличие многослойных структур, контактные тепловые сопротивления, а также возможное применение активных способов охлаждения. Результаты расчета дают возможность оценить, достигаются ли предельно допустимые температуры конструкционных материалов и удовлетворяются ли условия сохранения работоспособности изделия.

Важной частью методологии является анализ термонапряженного состояния конструкции. Возникающие при нагреве температурные градиенты вызывают внутренние напряжения, которые в сочетании с механическими нагрузками могут приводить к короблению, расслоению, образованию трещин и потере устойчивости элементов. Поэтому выбор теплозащитной системы должен осуществляться с учетом совместимости теплофизических и механических свойств материалов, в том числе коэффициентов линейного термического расширения, жаропрочности и циклической стойкости.

Выбор типа тепловой защиты определяется уровнем тепловой нагрузки, продолжительностью воздействия, требованиями по массе и ресурсу, а также конструктивными ограничениями. В зависимости от условий могут применяться пассивные, активные, абляционные или комбинированные системы тепловой защиты. Пассивные системы основываются на использовании теплоизоляционных и жаростойких материалов, активные – на отводе тепла с помощью охлаждающих сред, абляционные – на поглощении и уносе тепла за счет разрушения поверхностного слоя материала. На практике наибольшую эффективность часто демонстрируют комбинированные решения, позволяющие учитывать специфику отдельных зон конструкции.

После выбора принципа теплозащиты выполняется разработка конструктивной схемы: назначаются толщина слоев, конфигурация покрытия, способы крепления, компенсационные зазоры и

элементы сопряжения с основной конструкцией. На данном этапе особое внимание уделяется вопросам технологичности изготовления, ремонтопригодности, устойчивости к вибрационным и термоциклическим воздействиям, а также минимизации массы. Оптимизация конструкции проводится по совокупности критериев, включающих теплозащитную эффективность, прочностную надежность, долговечность и экономическую целесообразность.

Завершающим и обязательным этапом является экспериментальная верификация принятых решений. Она включает испытания материалов и образцов на термостойкость, теплопроводность, устойчивость к циклическому нагреву, огневые и стендовые испытания элементов конструкции, а при необходимости – натурную отработку. Сопоставление расчетных и экспериментальных данных позволяет уточнить модели теплопереноса и термонапряженного состояния, а также повысить достоверность проектных решений.

Таким образом, методология разработки тепловой защиты теплонапряженных элементов конструкций высокоскоростных летательных аппаратов должна базироваться на комплексном расчетно-экспериментальном подходе, учитывающем взаимосвязь аэротермодинамических, теплофизических, прочностных и технологических факторов. Применение такой методологии обеспечивает создание рациональных теплозащитных систем, способных гарантировать работоспособность, надежность и требуемый ресурс конструкции в условиях интенсивного теплового нагружения.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (FSFF-2025-0001.)

УДК 624.131.5

ДИНАМИКА ДВИЖЕНИЯ ВРАЩАЮЩИХСЯ РЕАКТИВНЫХ СНАРЯДОВ-ПРОБОЙНИКОВ В ГРУНТЕ

О. В. ТУШАВИНА, Е. А. ШИПНЕВСКАЯ
Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация

В настоящей работе рассматриваются актуальные вопросы динамики движения вращающихся вокруг своей оси реактивных снарядов-пробойников, способных двигаться в грунтах с высокой скоростью, как за счет кинетической энергии, так и благодаря тяге ракетного двигателя твердого топлива (РДТТ) [1–3]. В рамках проведенного исследования были решены несколько задач. Предложена расчетная схема для определения основных закономерностей течения газового потока в камере двигателя при вращении реактивного снаряда-пробойника. Получены зависимости, позволяющие определить перепады температуры, давления и плотности вращающегося и не вращающегося газового потока: 1) в центре и на камере сгорания; 2) у переднего дна и на стенке камены в критическом сечении сопла. Показано, что с увеличением тангенциальной скорости газового потока (степени закрутки) величина перепадов всех параметров увеличивается.

Установлено, что с увеличением степени закрутки газового потока коэффициент расхода продуктов сгорания из камеры ракетного двигателя твердого топлива существенно уменьшается. Выявлено, что при равных временах работы двигателя и равных давлениях в камерах сгорания тепловые потери у вращающихся двигателей всегда больше, а суммарный импульс меньше. В случае неравенства давления и времени ($p_{rot} > p_0$ и $\tau_{rot} > \tau_0$) общие тепловые потери меньше у вращающегося двигателя, а суммарный импульс такого двигателя получается большим, что приводит к увеличению глубины проникания в грунт вращающихся снарядов-пробойников.

Полученные результаты имеют важное практическое значение для специалистов, занимающихся вопросами создания скоростных транспортных средств доставки приборов, оборудования и других полезных грузов в заданную точку грунтового полупространства.

Список литературы

1 **Михайловский, Ю. В.** Расчет реактивного двигателя твердого топлива / Ю. В. Михайловский. – М. : МО СССР, 1984. – 198 с.

2 **Родченко, В. В.** Основы проектирования реактивных аппаратов для движения в грунте / В. В. Родченко. – М. : МАИ-ПРИНТ, 2009. – 359 с.

3 **Согомонян, А. Я.** Проникание / А. Я. Согомонян. – М. : Изд-во МГУ, 1974. – 299 с.

УДК 539.3

АНАЛИТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОПЕРЕНОСА В ПЛОСКОЙ ПЛАСТИНЕ

С. В. ШУМКИН, С. А. КОЛЕСНИК
Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация

Современные тенденции развития космической техники – увеличение энерговооружённости полезной нагрузки, переход к миниатюризации (наноспутники), использование гибких и композитных материалов, а также расширение спектра орбит (от низкой околоземной орбиты до гелиоцентрических) – делают задачу термоконтроля всё более актуальной. На орбите космический аппарат может испытывать колебания температуры окружающей среды в сотни градусов Цельсия между освещенной и затененной сторонами. Целью применения терморегулирующих покрытий на космических аппаратах является поддержание температурного баланса и поддержание внутренней температуры космического аппарата в пределах безопасного порога. На всю пластину действует постоянный тепловой поток 1365 Вт/м^2, а по граням пластины происходит отвод температуры на более холодные элементы, потоки, равные 1000 Вт/м^2. Начальная температура составляет 300 К. Предполагается, что материал является изотропным. На поверхность пластины действует тепловой поток. На границах осуществляется отвод тепла с заданной плотностью теплового потока. Строится функция Грина (функция источника), соответствующая начальному условию в виде дельта-функции и удовлетворяющая однородному уравнению и однородным краевым условиям. Задачу относительно функции решаем методом разделения переменных. Разделяя переменные, получаем две задачи Штурма – Лиувилля. Поставлена задача и составлена математическая модель о нагреве изотропной пластины, в которой установлены граничные условия, аналогичные ТРП. Распределение тепла напрямую влияет на функционирование космического аппарата. Результаты сопоставимы с решением подобных задач.

УДК 539.3

СТЕНД ДЛЯ ВЕРИФИКАЦИИ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ТЕПЛОПЕРЕНОСА В СОСТАВНЫХ ТЕЛАХ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ИМПУЛЬСНОГО НАГРЕВА

С. А. ШУМСКАЯ, А. С. НОВИКОВ
Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация

Развитие аддитивных технологий, в частности процессов селективного лазерного плавления, сопровождается повышением требований к точности расчёта тепловых процессов при локальном импульсном нагреве материалов. Температурные поля, формируемые в зоне воздействия лазерного излучения, определяют характер микроструктуры, уровень остаточных напряжений и вероятность возникновения дефектов в металлических изделиях, что делает адекватное моделирование теплопереноса ключевым элементом инженерных расчётов и оптимизации технологических режимов оборудования. Разработан экспериментальный стенд для верификации математических моделей теплопереноса в составных телах под действием импульсного лазерного нагрева. Конструкция стенда обеспечивает воспроизводимое тепловое воздействие на исследуемый образец с возможностью программного управления параметрами лазерной обработки. Это позволяет получать экспериментальные данные, пригодные для верификации математических моделей теплопереноса в составных телах. Проведенная апробация стенда на образцах из сплавов AlSi10Mg и ВТ6 подтвердила его работоспособность и возможность получения воспроизводимых экспериментальных данных при различных режимах импульсного лазерного воздействия. Совместное использование тепловизионной регистрации и контактных измерений позволяет получать комплексную информацию о процессах распространения тепла в исследуемых образцах.

Разработанный стенд может быть использован для экспериментальной верификации математических моделей теплопереноса, исследования влияния параметров лазерного воздействия на температурные поля, а также для последующих исследований процессов распространения тепла в составных конструкциях и материалах с различными теплофизическими характеристиками.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках Государственного задания МАИ (шифр FSFF-2026-0010).

УДК 004.932:519.688

АВТОМАТИЗАЦИЯ ВЫДЕЛЕНИЯ ОБЛАСТЕЙ ИНТЕРЕСА В ГРАФИЧЕСКИХ ДАННЫХ СТАЦИОНАРНЫХ СИСТЕМ ОПТИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ СРЕДСТВАМИ WOLFRAM MATHEMATICA

О. В. ЮХНОВСКАЯ
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

В отечественных и зарубежных литературных источниках [1–3] широко обсуждаются вопросы описания и представления деталей, сегментации и распознавания образов, морфологического анализа снимков, полученных промышленным оборудованием, а также теории обработки оптического сигнала с учетом помех, проблемы восприятия и анализа изображений. Для снижения вычислительных затрат и повышения скорости анализа требуется выделение области интереса (ROI) – участка изображения, содержащего значимую информацию.

Автоматизация процесса выделения областей интереса (ROI), ограничивающих контуры транспортных средств и зон нарушений, позволяет существенно сократить размерность обрабатываемых матриц данных и повысить скорость принятия решений интеллектуальными транспортными системами. Однако наличие окклюзии, двухколесного транспорта, нестационарного фона и пешеходов создает аддитивные и мультипликативные помехи, приводящие к ложноположительным срабатываниям измерительного контура.

Для решения данной проблемы предложен гибридный метод автоматического выделения областей интереса (ROI) в среде Wolfram Mathematica. Он основан на математическом аппарате совместного использования встроенных нейросетевых алгоритмов детектирования объектов и локального пространственно-градиентного анализа яркостных матриц. Выбор штатной программной функции ImageBoundingBoxes на этапе первичной локализации обусловлен тем, что классические детерминированные фильтры в условиях реального дорожного мониторинга склонны к ложным срабатываниям из-за обилия фонового шума (контрастной дорожной разметки, знаков, бликов и теней). В предложенном методе указанная функция исполняет роль высокоселективного контурного фильтра для изоляции целевых зон, внутри которых последующий морфологический анализ дискретных пиксельных множеств обеспечивает прецизионное определение истинных физических габаритов легковых и грузовых автомобилей.

Математическое представление входного цифрового изображения в предложенном методе показано в виде двумерной дискретной матрицы интенсивностей $I(x, y)$, где (x, y) $\in Z^2$. На начальном этапе алгоритм осуществляет предварительную пространственную локализацию транспортных средств с помощью встроенной функции ImageBoundingBoxes, отсекая низкочастотные фоновые шумы инфраструктуры кадра и формируя базовые области-кандидаты в виде упорядоченных кортежей параметров $B_k = (x_1, y_1, x_2, y_2) \in Z^4$. Ограничения на геометрические пропорции позволяют сохранять инвариантность этого этапа к наличию пешеходов или посторонних объектов.

На следующем этапе внутри каждой найденной подматрицы автоматически запускается процедура локально-градиентного анализа. Вычисляется модуль дискретного пространственного градиента яркости $\left|\nabla I(x,\ y)\right|$, аппроксимирующий резкие перепады на границах раздела сред (металл кузова, дорожное покрытие):

$$\left|\nabla I(x,y)\right| = \sqrt{\left(\Delta_x I(x,y)\right)^2 + \left(\Delta_y I(x,y)\right)^2},$$

где Δ_x и Δ_y – дискретные центрально-разностные операторы численного дифференцирования по осям абсцисс и ординат соответственно, реализуемые градиентным фильтром.

Стабильная пороговая бинаризация автоматически разделяет локальную матрицу градиентов на целевой объект и фоновые помехи. На основе полученной маски функция PixelValuePositions формирует упорядоченный дискретный массив координат истинных пикселей кузова $pts = \{(x_i, y_i)\}_{i=1}^{N}$. Нахождение финальных габаритов ROI осуществляется полностью автономно через вычисление экстремумов данного массива по осям абсцисс и ординат.

Результат использования разработанного математического аппарата протестирован на графических материалах, соответствующих реальным условиям работы систем оптического мониторинга интенсивности движения (рисунок 1).



Рисунок 3 – Результаты локализации областей интереса транспортных средств

Анализ графического материала доказывает высокую точность разработанного комбинированного алгоритма. На экспериментальных образцах успешно выделены физические границы кузовов легковых и грузовых автомобилей.

Алгоритм продемонстрировал инвариантность к сопутствующим помехам: движущийся по центру кадра двухколесный транспорт (мотоциклист) (см. рисунок 1) был корректно проигнорирован системой на этапе анализа геометрических пропорций, что подтверждает правильность работы фильтрации и исключает появление ложноположительных результатов измерительного контура. Выявленные единичные ложные зашумления границ на элементах дорожной инфраструктуры (столбики) эффективно нивелируются на этапе последующего морфологического анализа пиксельного массива, что не нарушает общей работоспособности системы. Применение разработанного метода позволило минимизировать объем избыточной фоновой информации, существенно снизив вычислительную нагрузку на каналы передачи данных интеллектуальных транспортных систем.

Список литературы

1 **Селянкин, В. В.** Анализ и обработка изображений в задачах компьютерного зрения / В. В. Селянкин, С. В. Скороход. – Таганрог : Изд-во ЮФУ, 2015. – 82 с.

2 **Gonzalez, R. C.** Digital Image Processing / R. C. Gonzalez, R. E. Woods. – New Jersey : Prentice Hall, Upper Saddlr River, 2002. – 797 p.

3 **Гундина, М. А.** Автоматическая локализация номерного знака автомобиля в системе Wolfram Mathematica / М. А. Гундина, М. Н. Жданович // Наука и техника. – 2022. – № 5. – С. 367–373.

УДК 539.3

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ТРЕХ-, ЧЕТЫРЕХ- И ПЯТИСЛОЙНЫХ ПАНЕЛЕЙ ДЛЯ ИЗОТЕРМИЧЕСКИХ ФУРГОНОВ

А. В. ЯРОВАЯ, А. А. ПОДДУБНЫЙ
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

В настоящее время промышленность проявляет все больший интерес к многослойным конструкциям с различного типа заполнителями. Эти элементы используются в строительстве, авиастроении, машиностроении.

Часто для оценки напряженно-деформированного состояния подобных конструкций используются программные комплексы, основанные на методе конечных элементов. Этот метод при всех его преимуществах требует верификации расчетных моделей. Верификация конечно-элементных моделей многослойных панелей может быть выполнена экспериментальным путем. Однако во многих случаях проведение эксперимента затруднено из-за невозможности задания граничных условий на торцах многослойной панели, что приводит к значительным погрешностям. Поэтому для верификации конечно-элементных моделей целесообразно использовать аналитические методы.

Расчеты многослойных конструкций на прочность и жесткость выполняются в рамках той или иной аналитической модели. Наиболее точными и универсальными являются модели, основанные на решении трехмерной задачи упругости, так как они не требуют введения упрощающих гипотез. Однако в инженерной практике такие модели не получили широкого распространения из-за математической сложности и ограниченного круга условий закрепления.

В настоящее время для исследования прочности многослойных конструкций при статических и динамических воздействиях используются в основном двухмерные модели, построенные с использованием упрощающих гипотез. Они основаны на сведении трехмерной задачи теории упругости к двухмерной посредством введения упрощающих гипотез об изменении поперечных напряжений (перемещений) по толщине слоя или по толщине пакета слоев. Модели, построенные на этом принципе, известны как эквивалентные однослойные модели. Их главное достоинство – количество неизвестных функций не зависит от количества слоев.

Эквивалентные однослойные модели основаны на введении для каждого слоя функций, аппроксимирующих по толщине напряжения или перемещения. Широкое распространение получили модели, основанные на универсальном разложении по базисным функциям. Модели с дискретными слоями базируются на введении для каждого слоя функций, аппроксимирующих перемещения (напряжения) как по толщине, так и по длине слоя. Их недостаток – количество неизвестных функций увеличивается с увеличением количества слоев. Модели с дискретными слоями дают наилучшее приближение к результатам расчетов, полученных методами трехмерной упругости. Некоторые из рассмотренных моделей использованы в работах [1–3].

Стержни, пластины и оболочки, имеющие слоистую структуру, обычно набраны из материалов с существенно различными физико-механическими свойствами. Несущие слои из материалов высокой прочности и жесткости предназначены для восприятия основной части нагрузки. Связующие слои обеспечивают перераспределение усилий между несущими слоями. Еще одна группа слоев предназначена для защиты от тепловых химических, радиационных и других нежелательных воздействий.

В частности, для оборудования в зданиях чистых помещений сте́ны, потолок и пол отделывают пятислойными сэндвич-панелями. Это могут быть цеха для производства продуктов питания, операционные комнаты, лаборатории разного назначения, холодильные и морозильные камеры, предприятия фармацевтической промышленности, объекты производства микроэлектронных устройств, объекты, где требуется частая мойка с дезинфекцией. Панели изготавливают из материалов, которые не выделяют пыль, крупинки песка, цемента или извести, газы, пары растворителей и разбавителей краски. Один из вариантов подобного пакета: снаружи с обеих сторон сталь оцинкованная с полимерным покрытием; далее стекломагниевые листы, в середине заполнитель – минераловатная плита либо PIR плотностью не менее 120 кг/м^3.

Еще одна область применения трех-, четырех- и пятислойных панелей – изотермические фургоны. Это специальные кузова, предназначенные для перевозки продуктов питания, цветов, медицинских препаратов, требующих определенного температурного режима при их транспортировке (от –50 до +45 °С). Пол автофургона представляет собой прочную монолитную пятислойную сэндвич-панель: оцинкованная сталь с внешней стороны, далее влагостойкая фанера, утеплитель около 100 мм ЭППС, не поддерживающий горение и не выделяющий вредных веществ, влагостойкая фанера, напольное покрытие – ударопрочный пластик 2 мм, армированный стекловолокном с кварцевой крошкой. Для бортов, крыши, дверей используются трех- и четырехслойные панели.

В данной работе исследован цилиндрический изгиб пятислойной панели, расчетная схема которой принята в виде стержня длиной l прямоугольного сечения шириной b_0, составленного из четырех несущих слоев и заполнителя (рисунок 1). Стержень находится под действием продольных и поперечных распределенных нагрузок $p(x)$, $q(x)$, Па, и сосредоточенных сил и моментов на торцах.

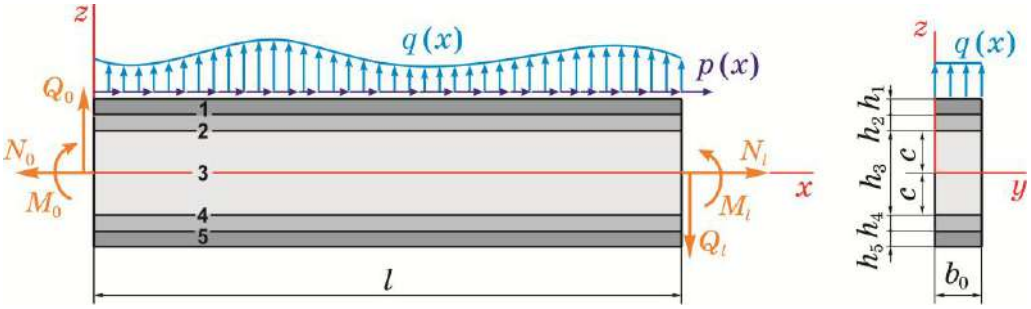


Рисунок 1

Между слоями предусмотрена склейка, не допускающая взаимного проскальзывания. Материалы слоев изотропные, проявляют упругие свойства, для них справедлив закон Гука. Деформации малые. Под действием продольной и поперечной нагрузок точки срединной плоскости заполнителя в направлении осей x, z смещаются соответственно на величины $w(x)$, $u(x)$ – прогиб и продольное перемещение. Для описания кинематики пятислойного пакета используется гипотеза «ломаной» линии: прямолинейная до деформирования нормаль при изгибе становится ломаной; в несущих слоях нормаль поворачивается на угол $\theta(x)$, оставаясь перпендикулярной к деформированной оси стержня; в заполнителе за счет сдвига она поворачивается на угол $[\theta(x) - \psi(x)]$. Здесь $\psi(x)$ – дополнительный угол поворота нормали в заполнителе, возникающий из-за его работы на сдвиг.

Выполнена постановка краевой задачи о деформировании пятислойного стержня под действием квазистатических распределенных поперечной и продольной нагрузок. Выведены уравнения равновесия в усилиях и перемещениях при произвольной распределенной нагрузке и граничные условия в усилиях и перемещениях, позволяющие учесть различные типы закрепления торцов и наличие сосредоточенных сил и моментов на торцах. Получено аналитическое решение поставленной краевой задачи, включающее формулы для расчета перемещений, внутренних усилий и напряжений в упругих пятислойных стержнях прямоугольного сечения, которые позволяют исследовать их напряженно-деформированное состояние.

Числено исследованы параметры напряженно-деформированного состояния трех-, четырех- и пятислойных панелей для изотермических фургонов. Проведено сравнение вариантов и даны рекомендации по оптимальным значениям толщин несущих слоев и заполнителя для обеспечения требуемых прочности и жесткости.

Список литературы

1 **Журавков, М. А.** Трехслойные стержни в терморадиационных полях / М. А. Журавков, Э. И. Старовойтов, Д. В. Леоненко. – Минск : Бел. навука, 2017. – 275 с.

2 **Осадчий, Н. В.** Модель деформации пятислойной панели с жестким заполнителем / Н. В. Осадчий, В. А. Малышев, В. Т. Шепель // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. – 2019. – № 2. – С. 154–162.

3 **Осадчий, Н. В.** Построение моделей статической и динамической прочности многослойных конструкций на основе вариационного исчисления / Н. В. Осадчий, В. А. Малышев, В. Т. Шепель // Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая техника. – 2019. – № 56. – С. 58–71.

9 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

УДК 656.11

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ГОРОДСКОГО ТРАНСПОРТА

М. А. АХЛАМОВ
Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва

Городской транспорт представляет собой комплекс транспортных систем и объектов, обеспечивающих жизнедеятельность городов. В настоящее время половина населения мира проживает в городах. К 2030 году в городах будет жить около 60 % населения земного шара.

В данный период состояние современного городского транспорта имеет следующие особенности:

1 Мультимодальность. В современных крупных городах, как правило, существует несколько видов пассажирского транспорта, взаимодействующих между собой в единой транспортной сети с целью наиболее полного качественного удовлетворения транспортных потребностей населения.

2 Выделение отдельных полос движения. Для решения проблемы заторов общественного транспорта на автомобильных дорогах выделяются отдельные полосы, что позволяет увеличить пропускную способность участка дороги для автобусов, троллейбусов.

3 Современный подвижной состав. Для привлечения пассажиропотока используются современные единицы подвижного состава, оборудованные системами кондиционирования, низкими полами, Wi-Fi, USB-разъёмами и валидаторами.

4 Применение прогрессивных методов регулирования уличного движения. С помощью технологий ИИ-мониторинга дорожно-транспортной обстановки регулируется время разрешающих и запрещающих показаний светофоров, что позволяет сократить временные издержки на перекрестках.

5 Устройство пересечений транспортных и пешеходных потоков в разных уровнях. Создание комфортной среды для пешеходов и одновременно увеличение пропускной способности участка дороги ввиду отсутствия пешеходного потока на одном уровне.

6 Создание пешеходных бестранспортных зон в центральных районах города. Ввиду исторического развития городов и их застройки, существуют ограничения в центральных частях города по пропускной способности дорог. Одним из решений является создание пешеходных зон.

7 Современные остановки общественного транспорта и транспортно-пересадочные узлы (ТПУ). ТПУ обеспечивают «сухую» пересадку между видами транспорта. Современные остановки оборудованы USB-разъёмами для зарядки, сиденьями с подогревом.

8 Развитие внеуличных городских путей сообщения – рельсовых (метро и железнодорожных магистралей) и безрельсовых (городские скоростные автомобильные дороги).

9 Слияние городских и пригородных путей сообщения в единую систему. Например, запуск Московских центральных диаметров (МЦД).

10 Развитие альтернативных видов транспорта: сервис аренды самокатов и велосипедов, сервис каршеринга, речной городской транспорт, канатные дороги, сервис такси.

Сеть городского общественного транспорта может быть представлена следующими видами транспорта: автобус, электробус, троллейбус, трамвай, метро, железнодорожный транспорт, речной, канатный, альтернативный (самокат, велосипед). Каждый из видов городского транспорта имеет свои достоинства и недостатки. Показатели средней скорости и провозной способности городского транспорта представлены в таблице 1.

В связи с развитием электромобилей и борьбы за экологию, одной из тенденций развития городского транспорта стал электробус. Электробус (электрический автобус) – современный экологичный городской транспорт, питающийся электричеством от батареи. Он напрямую конкурирует с автобусом, троллейбусом и трамваем.

Электробус вмещает 85 пассажиров и имеет 30 мест для сидения. Запас хода – 70 км. Быстрая зарядка – 30 мин. Благодаря низкому уровню пола, накопительной площадке и наличию пандуса

этим видом транспорта могут пользоваться и маломобильные пассажиры. Срок эксплуатации – 15 лет. Срок службы аккумуляторных батарей электробуса составляет 5–6 лет.

Таблица 1 – **Сравнительная характеристика различных видов транспорта**

Транспорт	Средняя скорость сообщения, км/ч	Провозная способность линии транспорта в одном направлении, тыс. пас·ч
Автобус	17–20	3–5
Электробус	18–20	3–5
Троллейбус	16–18	4–7
Трамвай	15–17	6–12
Экспресс-автобус	20–25	До 10
Скоростной трамвай	25–30	10–20
Метрополитен	40–45	20–45
Электрифицированная железная дорога	50–60	30–50
Монорельсовая дорога	60–70	10–30

Преимущества электробуса:

– нет выбросов вредных веществ в атмосферу: оксидов азота (стандарт выброса Евро-4) – до 0,4 г/кВт·ч, угарного газа CO – до 1,5 г/кВт по сравнению с автобусом;

– мобильность транспортных маршрутов по сравнению с троллейбусами и трамваями;

– простое и недорогое строительство и эксплуатация транспортной сети по сравнению с троллейбусами и трамваями.

Недостатки:

– высокая стоимость 1 транспортной единицы – 28–35 млн руб. (автобус – 8–22 млн руб.);

– оборудование быстрозарядных станций на конечных остановках для подзарядки;

– электробусы требуют более тщательного обслуживания, чем автобусы, из-за батареи. В зимних условиях быстрее разряжаются, что может привести к остановке транспорта;

– утилизация отработанных батарей сложный и дорогой процесс. На сегодняшний день в мире нет крупных централизованных экологичных производств по утилизации отработанных батарей электромобилей, что в глобальном масштабе может принести больше вреда экологии, чем выбросы автобуса в атмосферу.

Основным параметром, по которому различаются электробусы, является тип зарядки. Они могут быть:

– с медленной (ночной) зарядкой в депо (ONC, overnight charging);

– динамической зарядкой (подзарядка в движении) (IMC, in-motion charging);

– быстрой или ультрабыстрой зарядкой на точках маршрута (OC, opportunity charging).

Опыт эксплуатации электробусов в Москве, Санкт-Петербурге, Минске, Гродно и городах Европы показывает, что наилучшими стали электробусы с динамической подзарядкой. Их преимущество в том, что зарядка происходит от троллейбусной линии в движении. Стратегия внедрения таких электробусов – это замена автобусных маршрутов и установка на них троллейбусных линий на удобных или расчетных участках маршрута (например, на подъёмах). Именно по такому пути были внедрены электробусы в Санкт-Петербурге и городах Европы.

В Москве использовали другую стратегию – электробусы с быстрой или ультрабыстрой зарядкой на точках маршрута, которые основаны на тяговых подстанциях троллейбусных линий. Сами же троллейбусные линии разобраны, троллейбусы были заменены на электробусы.

В современных условиях развития городов выбор транспорта влияет на обслуживание больших пассажиропотоков и обеспечение социальной, географической доступности удаленных центров города. При планировании транспортного обеспечения города следует исходить из потребностей пассажиров; обращать внимание на характеристики сети, территории города, учитывать развитие пригорода, городов-спутников.

Список литературы

1 **Ахламов, М. А.** Анализ схем и типов транспортных систем городов-миллионников / М. А. Ахламов // Кочневские чтения – 2023: современная теория и практика эксплуатационной работы железных дорог : труды II Междунар. науч.-практ. конф., Москва, 19–20 апр. 2023 г. – М. : МИИТ, 2023. – С. 390–398.

2 **Ахламов, М. А**. Критерии оценки городской транспортной системы / М. А. Ахламов // Транспортное дело России. – 2025. – № 3.

УДК 338.28:656.02

КРУПНОМАСШТАБНЫЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЕ ПРОЕКТЫ ВОСТОКА РОССИИ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

С. А. БЫКАДОРОВ
Сибирский государственный университет путей сообщения,
г. Новосибирск, Российская Федерация

Актуальность темы связана с тем, что железные дороги России являются опорной транспортной системой страны, и за последние сто лет ситуация не изменилась. Проблема эффективного развития отечественных железных дорог из внутрироссийской трансформировалась в межстрановую. Более того, развитие сети железных дорог Азиатской России представляется стратегическим императивом. Возникает проблема совершенствования организации перевозок по железным дорогам страны, в своей основе созданных в качестве опорной структуры индустриальной экономики СССР и до сих пор продолжающих функционировать в этом качестве в современной России.

В международном контексте железные дороги России только лишь в силу своего географического положения являются ключевым элементом транспортной инфраструктуры мира. Однако этого недостаточно для того, чтобы реализовать гигантский потенциал повышения их эффективности. В последнее время была проделана большая работа в указанном направлении, но международная ситуация в том же периоде изменилась радикально, и Россия вынужденно отвечает активной оборонной стратегией, а отечественные железные дороги, естественно, становятся одним из важных инструментов ее реализации.

Необходимо рассмотреть модели организации железнодорожных перевозок и способы финансирования железнодорожной деятельности в Сибири и на Дальнем Востоке [1].

Трансполярная магистраль – ключевой железнодорожный элемент транспортной инфраструктуры при освоении ресурсного потенциала Российской Арктики и арктического шельфа. Однако экономическая значимость магистрали, на наш взгляд, лишь дополняет ее военно-стратегическую значимость. Магистраль прежде всего следует рассматривать как рокадную железную дорогу в акватории Северного Ледовитого океана.

Ленско-Камчатская магистраль – не менее важный железнодорожный элемент освоения ресурсного потенциала Камчатки. Достаточно указать на три факта: во-первых, магистраль в случае ее сооружения соединяет железнодорожную сеть востока России с незамерзающим портом Петропавловск-Камчатский, отчего вся экономика Дальнего Востока выходит на новый уровень общественной эффективности; во-вторых, открывается транспортная доступность к Пенжинской губе, где возможно сооружение мощной приливной гидроэлектростанции, электроэнергия которой позволит в промышленных масштабах получать водород – стратегический ресурс XXI века; в-третьих по порядку, но во-первых по существу, железнодорожная магистраль обеспечит стабильной всепогодной связью «непотопляемый авианосец» Камчатку – форпост России в Тихом океане.

Проект «Материк – Сахалин» в случае реализации включит «по суху» Сахалинскую железную дорогу в железнодорожную сеть Восточного полигона и превратит Сахалин из острова в полуостров. Социальные последствия осуществления проекта бесспорно положительны, экономические неоднозначны, военно-стратегические для России позитивны, так как по аналогии с Камчаткой укрепляет Сахалин в качестве «непотопляемого авианосца» в восточном секторе Тихого океана.

В Транспортной стратегии России до 2030 г. [2] одним из ключевых проектов является развитие Восточного полигона. Коридор БАМ – Севсиб – Баренцкомур – Индига (как часть транспортного коридора Восток – Запад) является линией, параллельной Транссибу и в ближайшее время даже при пессимистическом и инерционном сценарии развития российской экономики призван покрывать прогнозируемые дефициты провозных способностей. В связи с этим строительство Северо-Российской евразийской магистрали представляет собой основу для нового широтного пояса экономического развития.

В логистическом каркасе России важны межрегиональные крупномасштабные железнодорожные проекты. Они дислоцированы частично на севере европейской части России, частично в азиатской части. Привлекают внимание два таких проекта: Баренцкомур и Северосиб, обсуждение целесообразности сооружения которых было начато в прошлом веке, продолжилось в веке нынешнем, а в новой геополитической ситуации противостояния России с коллективным Западом приобрело, на наш взгляд, особую актуальность [3].

Литература по рассматриваемому вопросу исторически насчитывает десятки публикаций, только перечисление которых не оставило бы места для изложения содержания настоящего вопроса.

Ретроспектива интересующих нас проектов может быть построена на двух базовых публикациях [4] и [5], а прочие первоисточники по теме помогут составить список проектируемых крупномасштабных транспортных проектов восточной части России [6, 7].

Интерес к строительству железных дорог в Сибири и на Дальнем Востоке проявлялся в дореволюционной России с тридцатых годов XIX в., а с середины XIX в., после поражения в Крымской войне 1853–1856 гг., он конкретизировался, и к началу 80-х гг. XX в., после 100 лет обсуждений проектных замыслов, определились три широтных варианта железнодорожных магистралей, пересекающих азиатскую часть России от Урала до Тихоокеанского побережья.

До недавнего времени маршрут прохождения Севсиба считался широтным направлением. Однако в настоящее время обсуждаются альтернативные варианты Северо-Сибирской магистрали. Она может стать частью коридора Север – Юг на востоке страны: Сабетта – Северный широтный ход – Сургут – Белый Яр – Таштагол – Урумчи. И с этой точки зрения строительство железной дороги Кызыл – Курагино протяженностью 430 км (проект имеет долгую историю, обсуждается несколько десятилетий, но до сих пор не стартовал) становится вновь актуальным. Полагаем, что Северо-Сибирская магистраль, представленная в меридиональном направлении, станет в настоящее время более актуальной с связи с новыми геополитическими вызовами. Очевидно, что такое резкое изменение направления Севсиба связано с изменением грузопотоков в последние годы.

Отметим, что инфраструктура, тем более железнодорожная, не окупаема почти никогда, а в условиях Сибири и Арктики – тем более. Поэтому в работе обсуждается более важный для страны критерий, такой как общественная полезность создаваемых объектов.

Общей проблемой для всех типов крупномасштабных проектов, не исключая транспортные, во всех странах, где такие проекты реализуются, является отсутствие надежных, научно обоснованных методов априорной оценки эффективности этих дорогостоящих мероприятий. Особенно остро проблема проявляется на ранней стадии предварительных (прединвестиционных) проектировок, называемой нами стадией обсуждения проектных замыслов и намерений инвесторов. Именно здесь, не только из-за отсутствия необходимой информации, но, в большинстве случаев, по причине неверной постановки самой проблемы, случаются катастрофические ошибки при многоаспектной оценке потерь и выгод намечаемых к реализации крупномасштабных проектов [8].

Список литературы

1 **Быкадоров, С. А.** Крупномасштабные железнодорожные проекты в логистическом каркасе Сибири / С. А. Быкадоров, Е. Б. Кибалов, В. Ф. Лукиных. – Красноярск : КрасГАУ, 2025. – 176 с. – EDN SZDIEX.

2 Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года : утв. распоряжением Правительства РФ от 27 нояб. 2021 г. № 3363-р. – URL: http://static.government.ru/media/files/ 7enYF2uL5kFZlOOpQhLl0nUT91RjCbeR.pdf (дата обращения: 05.09.2026).

3 **Быкадоров, С. А**. Межрегиональные крупномасштабные железнодорожные проекты: оценка сравнительной эффективности проектных альтернатив / С. А. Быкадоров, Е. Б. Кибалов // Регион: экономика и социология. – 2023. – № 4 (120). – С. 217–237.

4 **Суслов, В.** Северо-Сибирская железнодорожная магистраль: от XIX до XXI века / В. Суслов // Проблемы теории и практики управления. – 2008. – № 10. – С. 33–44.

5 **Ламин, В. А.** Преемственность замыслов и начинаний хозяйственного освоения Сибири / В. А. Ламин // Сибирь: проекты XX века / под ред. Л. М. Горюшкина, В. А. Ламина. – Новосибирск : Институт истории СО РАН, 1996. – С. 33–51.

6 **Кибалов, Е. Б.** Крупномасштабные инвестиционные проекты: сопоставительный анализ методов оценки эффективности естественными монополиями России / Е. Б. Кибалов, А. А. Кин // Регион: экономика и социология. – 2016. – № 1. – С. 295–313.

7 **Богачев, В. Н.** Регионы России: теория, проблемы Сибири, экономика строительства / В. Н. Богачев ; отв. ред. О. С. Пчелинцев, С. А. Суспицын. – Новосибирск : ИЭ и ОПП СО РАН, 1999. – 160 с.

8 **Ткаченко, В. Я.** Сухопутный транспорт Сибири: формирование опорной сети железных и автомобильных дорог / В. Я. Ткаченко, В. П. Перцев ; Ин-т истории СО РАН. – Новосибирск, 2003. – 312 с.

УДК656.2.003

СТРАТЕГИЧЕСКИЕ НАПРАВЛЕНИЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПЕРЕВОЗОК НА БЕЛОРУССКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГЕ

О. В. БЫЧЕНКО, О. Г. БЫЧЕНКО

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Стратегические направления обеспечения безопасности перевозок на Белорусской железной дороге охватывают широкий спектр мер: от законодательного расширения сферы ответственности до

технологической модернизации инфраструктуры и подвижного состава. Закон «Об изменении законов по вопросам железнодорожного транспорта», принятый 15 июля 2026 года, создаёт более устойчивую институциональную основу для управления безопасностью, унифицируя требования к публичному и непубличному сегментам железнодорожной инфраструктуры: во-первых, существенно расширена сфера действия обязательных требований безопасности. Владельцы железнодорожных путей необщего пользования – промышленные предприятия, логистические центры, частные компании – отныне обязаны «вести учет, расследовать и информировать уполномоченный орган о допущенных нарушениях безопасности движения и эксплуатации железнодорожного транспорта» [1].

Во-вторых, унифицированы требования к персоналу. Работники транспорта необщего пользования «будут проходить обязательное медицинское освидетельствование, предварительные обязательные медицинские осмотры, как и работники Белорусской железной дороги». Кроме того, для них установлен механизм получения свидетельства на право управления железнодорожными транспортными средствами [1].

В-третьих, произведена реорганизация охранной функции. Функции военизированной охраны БЧ переданы Департаменту охраны Министерства внутренних дел Республики Беларусь, с предусмотренными переходными положениями, «обеспечивающими непрерывность охраны и сопровождения грузов в пути следования» [1].

В-четвертых, разграничены компетенции контролирующих органов. Полномочия Министерства транспорта и коммуникаций и Министерства по чрезвычайным ситуациям в сфере государственного контроля (надзора) на железнодорожном транспорте четко разделены. Минтранс получает полномочия по классификации нарушений безопасности движения и порядку их учета, что создает основу для систематизированного анализа инцидентов [1].

Технико-технологические направления обеспечения безопасности связаны с инвестиционной стратегией и обновлением подвижного состава. Общий объем финансирования подпрограммы «Железнодорожный транспорт» составляет 3 млрд бел. руб., из которых на обновление подвижного состава заложено 1,7 млрд руб., преимущественно за счет кредитных ресурсов. Ожидаемый результат – снижение уровня износа подвижного состава не менее чем на 3 %. Снижение износа на 3 % при сохранении текущих объемов закупок может лишь затормозить накопление износа, но не обеспечить качественное обновление парка [2].

На электрификацию и модернизацию инфраструктуры в рамках программы предусмотрено 1,3 млрд бел. руб. Одним из наиболее значимых инфраструктурных проектов станет строительство линии между Минском и Национальным аэропортом «Минск» протяженностью 41,8 км, запуск которой намечен на 2028 год. Электрификация железнодорожных участков рассматривается не только как средство повышения эффективности, но и как фактор экологической и эксплуатационной безопасности: электрическая тяга устраняет риски, связанные с обращением топлива, и снижает выбросы в замкнутых пространствах [2].

Стратегия повышения энергоэффективности Белорусской железной дороги на 2025–2040 годы предусматривает «комплексное использование инновационных технических средств и энергосберегающих технологий, а также активное внедрение альтернативных возобновляемых источников энергии». Стратегия включает внедрение системы энергетического менеджмента, модернизацию тягового подвижного состава и электросетевого комплекса, построение энергоэффективных графиков движения поездов, внедрение интеллектуальных систем энергомониторинга.

Энергетическая безопасность железнодорожного транспорта имеет прямое отношение к безопасности перевозок: надежность энергоснабжения тягового комплекса является базовым условием стабильности перевозочного процесса. Потребление электроэнергии организациями БЧ составляет более 85 % электроэнергии, используемой в транспортном комплексе республики, при этом более 76 % этого объема расходуется на тягу поездов. Любые сбои в энергоснабжении непосредственно влияют на безопасность движения.

Цифровизация и телекоммуникационная надежность инфраструктуры способствует повышению безопасности перевозок: системы диспетчерской централизации, сигнализации и связи являются технологической основой управления движением поездов. Создание дублирующих каналов передачи данных (объемных колец) направлено на минимизацию рисков, связанных с отказами связи.

Человеческий фактор в системе безопасности перевозок играет особую роль. Квалифицированного состава не хватает во всех отраслях железнодорожного хозяйства. На Белорусской железной дороге общее количество вакансий составляет более 2000. Для работников организаций, производ-

ственная деятельность которых связана с движением поездов, вводится обязательное подтверждение профессиональной пригодности по результатам технического обучения.

В качестве основных причин нарушений безопасности движения поездов называются «низкий уровень трудовой и технологической дисциплины работников, упрощенчество и несоблюдение правил эксплуатации, ремонта и содержания технических средств в отдельных структурных подразделениях» [1].

Особое беспокойство вызывает увеличение отказов технических средств. По данным протокола селекторного совещания о безопасности железнодорожного движения за 28 мая 2026 года, «количество отказов технических средств за пять месяцев текущего года в сравнении с аналогичным периодом прошлого года увеличилось и составило 603 против 388 случаев». Почти половина случаев (295) связана с локомотивным хозяйством, где зафиксировано 29 нарушений безопасности движения поездов против 14 за аналогичный период 2025 года. Большинство случаев связывают с некачественными ремонтами в локомотивных депо. Рост отказов может быть следствием накопленного износа, недостаточного финансирования ремонтной базы, кадровых проблем или сочетания этих факторов.

Анализ сложившейся ситуации показывает, что проблемы сохраняются, и они вызваны нарушением технологической дисциплины, кадровым дефицитом, нормативные и институциональные изменения сами по себе не гарантируют повышения реального уровня безопасности. Поэтому, для повышения безопасности перевозок, необходим переход от нормативно-ориентированной к результативно-ориентированной модели безопасности, в которой эффективность стратегических мер оценивается не по количеству принятых документов, а по измеримым показателям снижения рисков. Такой переход потребует не только дополнительных ресурсов, но и изменений в организационной культуре, где безопасность станет не предметом формального compliance, а безусловным приоритетом принятия решений.

Список литературы

1 Об изменении законов по вопросам железнодорожного транспорта : Закон Респ. Беларусь от 15 июля 2026 г. № 168-З // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: https://pravo.by/ (дата обращения: 06.09.2026).

2 О Государственной программе «Транспорт Беларуси» на 2026–2030 годы : постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 29 дек. 2025 г. // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь – URL: https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=C22100165 (дата обращения: 06.09.2026).

3 Инвестиционная политика и энергосбережение // Белорусская железная дорога. – URL: https://www.rw.by/corporate/belarusian_railway/investment_policy/ (дата обращения: 06.09.2026).

4 В Минтрансе прокомментировали важные изменения в законы по вопросам железнодорожного транспорта //СБ. Беларусь сегодня. – 2026. – 22 июля. – URL: https://www.sb.by/articles/v-mintranse-prokommentirovali-vazhnye-izmeneniya-v-zakony-po-voprosam-zheleznodorozhnogo-transporta.html 06.09 (дата обращения: 06.09.2026)

5 18 апреля 2025 года в Управлении Белорусской железной дороги прошло заседание Совета главных инженеров // Белорусская железная дорога. – 2025. – URL: ttps://www.rw.by/corporate/press_center/corporate_news/2025/04/18-aprelya-2025-goda-v-upravlenii-belorusskoy-zheleznoy-dorogi-proshlo-zasedanie-soveta-glavnykh-inzh/(дата обращения: 06.09.2026).

УДК 625.8

ОЦЕНКА УРОВНЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ХОЗЯЙСТВУЮЩИХ СУБЪЕКТОВ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ

В. А. ВИНИЧЕНКО, Т. А. ВЛАДИМИРОВА
Сибирский государственный университет водного транспорта, г. Новосибирск, Российская Федерация

Транспортная отрасль переживает сложный период. Не первый год на долю транспорта выпадают потрясения, которые не могли быть спрогнозированы в краткосрочной перспективе. Отрасль решает поставленные перед ней задачи: какие-то более успешно, какие-то менее. Однако стоит отметить, что вызовы, которым приходится противостоять отрасли (от пандемии до дефицита энергетических ресурсов), делают ее сильнее [1].

Тем не менее, многие компании уходят с рынка по разным причинам – от невозможности функционирования в условиях перманентного кризиса до неспособности формировать и удерживать конкурентные преимущества. Менее конкурентоспособные компании вынуждены уступать место

предприятиям, имеющим устойчивую позицию. Нередко возникают сложности с методикой оценивания уровня конкурентоспособности. Причиной тому является отсутствие на законодательном уровне закрепленного методического положения, единого если не для всех компаний, то для компаний отрасли.

Целью статьи является систематизация существующих подходов к оценке конкурентоспособности транспортных компаний и обоснование целесообразности применения национального стандарта ЭКГ-рейтинга как нового комплексного инструмента с учетом ограничений использования для транспортной отрасли.

В практической деятельности используются различные методы оценки конкурентоспособности. Например, рейтинговые и интегральные, которые предполагают выделение ключевых показателей и присвоение им определенной весовой категории. Широко используются графические (радар конкурентоспособности, карта стратегических групп и пр.) и матричные методы (SWOT, PESTLE, BCG, McKinsey и пр.), которые позволяют наглядно оценить положение в контексте рынка и сравнить его с конкурентными позициями. Графические и рейтинговые применяются тогда, когда надо быстро сравнить несколько компаний по заданному набору параметров. Матричные используются, если надо оценить стратегические перспективы и риски. Также применяются качественные методы оценки, которые могут основываться на экспертных оценках и на социологических (опросы и анкетирования клиентов компании) методах. Они находят применение тогда, когда компания желает выявить потребительские предпочтения и следить за их динамикой.

Каждый из обозначенных методов имеет свою сферу применения и специфику. Каждый из них не лишен недостатков. Сюда можно отнести:

– субъективность оценки (экспертные точки зрения, выбор критериев, оценка весов критериев, видение рисков и перспектив, интерпретация полученных результатов, определение выборки респондентов и пр.);

– трудоемкость сбора информации и высокий уровень зависимости качества результата от качества исходных данных;

– статичность и быстрое устаревание полученных результатов;

– сложность интеграции разнородной информации (финансовые показатели, показатели операционной деятельности, эксплуатационно-технические показатели и пр.).

Важно понимать, что компания при создании принимает на себя ответственность за успешное ведение предпринимательской деятельности. Помимо этого, компания должна не ухудшать положение будущих поколений, а значит быть экологически ответственной. Также компания должна поддерживать определенный уровень благонадежности и вносить вклад в социальное развитие общества. Для оценки уровня конкурентоспособности по этим критериям, Правительством РФ была предложена комплексная оценка внутреннего «здоровья» компаний, благодаря которой в российскую практику будут проникать лучшие инструменты человекоцентричной корпоративной культуры. По результатам этой оценки составлялся ЭКГ-рейтинг компаний (по названию первых букв, входящих в методику блоков: Экология. Кадры. Государство). ЭКГ-рейтинг лег в основу показателей, утвержденных национальным стандартом РФ ГОСТ Р71198-2023 «Индекс деловой репутации субъектов предпринимательской деятельности (ЭКГ-рейтинг). Методика оценки и порядок формирования ЭКГ-рейтинга ответственного бизнеса».

В блоке «Экология» оценивается степень воздействия на окружающую среду, определяется факт использования современных технологий и реализации экологических проектов. По содержанию блока «Кадры» можно понять состояние и (или) наличие корпоративных социальных и демографических программ, благотворительных проектов и пр. Позиция в ЭКГ-рейтинге позволяет получить представление о стабильности кадрового состава, уровне оплаты труда. Блок «Государство» дает возможность оценить финансовую устойчивость компании, определить налоговую историю и в целом благонадежность компании, а также понять, инвестирует ли компания в регионы присутствия. Процесс рейтингования не является обязательным, компании участвуют в нем по желанию. Однако участников рейтинга с высоким уровнем государство стимулирует путем предоставления преференций [2].

Стоит отметить, что такая методика рейтингования может быть применена не только к предприятиям, но и к регионам. Так, по состоянию на начало сентября 2026 года максимальный балл (65,10) был присвоен ХМАО (ЮГРА). Далее в списке ТОП-5 лидеров ЭКГ значится Ямало-Ненецкий автономный округ, Тюменская область, Республика Татарстан и Тульская область.

В секторе народного хозяйства России «Транспортировка и хранение» на первом месте значится ООО «Газпром Трансгаз Сургут» с рейтингом 138[1)] (уровень AAA)[2)]. Если рассматривать региональную составляющую, например, рейтинг лидеров Новосибирской области выглядит иначе. Во-первых, все компании первой тройки имеют уровень А. Во-вторых, рейтинг не превышает 100 баллов. На первом месте ООО «ГК ВАГОНСЕРВИС» (рейтинг 90).

Как видно из примера, оценочные показатели рейтинга в значительной мере дифференцированы по регионам. Не менее существенная дифференциация по видам деятельности. Например, в секторе «Добыча полезных ископаемых» среди лидеров нет компаний с уровнем группы А.

Очевидно, что в дальнейшем методику следует адаптировать под отраслевую специфику. В частности, для транспортных предприятий важно в методике расчета отразить углеродный след, энергоэффективность подвижного состава, условия хранения ГСМ и пр. В базовой версии методики экологические показатели присутствуют, но в ограниченном перечне (плата за негативное воздействие на окружающую среду; штраф за нарушение экологического законодательства; начисленная сумма экологического ущерба и пр.).

Также в перспективе следует учесть дисбаланс блоков, что отражается в общем уровне конкурентоспособности. При скоринге по блоку «Экология» компания может максимально получить 15 баллов; по блоку «Кадры» – 35 и по блоку «Государство» – 50. В настоящее время акцент смещен на блоки «Кадры» и «Государство». Для транспортной отрасли вопросы кадрового характера важны. Однако оценочный дисбаланс может исказить общее представление о конкурентоспособности транспортного предприятия в целом. Например, компании, сильные в экологических аспектах, попросту могут не набрать нужного количества баллов и в рейтинг вовсе не попасть.

Список литературы

1 **Виниченко, В. А.** Увеличение конкурентоспособности транспортной отрасли за период 2010–2023 гг. / В. А. Виниченко, Н. В. Баранова, А. А. Белоногов // Транспортное дело России. – 2024. – № 2. – С. 44–48.

2 **Гиндулина, А. Д.** ЭКГ-рейтинг: эколого-правовые аспекты / А. Д. Гиндулина, И. В. Юсипова // Аграрное и земельное право. – 2025. – № 3. – С. 314–316.

УДК 338.47(476)

ЦИФРОВАЯ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ: ПРОБЛЕМЫ И РИСКИ

О. В. ВЕРНИКОВСКАЯ

Белорусский государственный экономический университет, г. Минск

Транспортным системам Республики Беларусь приходится работать в непростых экономических условиях, обусловленных санкционным давлением, нарушением работы платежных систем, протекционистскими мерами, военными конфликтами и другими препятствиями. В условиях нестабильности внешней и внутренней среды транспортные организации изыскивают возможности для эффективного развития.

Цифровая трансформация транспортных систем – это комплексный процесс, затрагивающий не только технологии, но персонал и процессы. Сегодня активно развиваются искусственный интеллект (ИИ), технологии AR & VR, распределенный реестр, квантовые технологии, новые производственные технологии, робототехника, беспроводная связь (кроме LPWAN), беспилотные авиационные системы (БАС), беспилотные автомобили, Low-power WAN (LPWAN), электронный обмен данными (EDI) и др. Бизнес-процессы транспортно-логистических компаний строятся на базе цифровых платформ, представляющих собой «сложную информационную систему, открытую для использования различными группами участников и обеспечивающую функции взаимосвязи между ними. С экономической позиции платформа выступает в роли многостороннего рынка, который сводит вместе производителей и потребителей, минимизируя транзакционные издержки» [1].

[1)] Максимальное количество баллов, которое может получить: 100 баллов за скоринговую оценку, 60 баллов за анкетирование и 10 дополнительных баллов за участие в деловых объединениях.

[2)] На основании оценки участнику рейтинга присваивается один из уровней: Лидер (AAA) – от 101 балла, Продвинутный (AA или A) – 91–100 или 81–90 баллов соответственно; Средний (BBB; BB или B) – 51–60; 61–70 или 71–80 баллов соответственно; Базовый (CCC; CC или C) – 41–50; 31–40 или меньше 31 балла соответственно.

Цифровые решения в транспортных системах позволяют сократить время обработки документации; повысить прозрачность и эффективность логистических процессов; снизить административные издержки и увеличить объемы грузоперевозок, повысить качество оказываемых услуг.

Важно отметить сложности внедрения цифровых решений:

– сопротивление изменениям – нежелание сотрудников и менеджмента выходить за пределы налаженных процессов;

– кадровый голод и трансформация профессий – необходимость обучения персонала новым профессиям (операторы дронов, data-аналитики, кибер-специалисты), что требует отвлечения корпоративных финансов;

– регуляторные процессы – отсутствие стандартов и несовершенство законодательства в области цифровой экономики; несогласованность национальных стандартов с международными;

– сложность модернизации – устаревшая логистическая инфраструктура не позволяет интегрировать новые системы;

– высокая капиталоемкость – значительные инвестиции и длительные сроки окупаемости;

– кибербезопасность – подверженность цифровых объектов кибератакам.

Несмотря на возможные трудности и риски внедрения цифровых технологий в транспортные системы – это настоящее и будущее научно-технического прогресса в отрасли.

Список литературы

1 **Равино, А. В.** Цифровые платформы и их архитектура / А. В. Равино, Т. Н. Павленко // Цифровизация: экономика и управление производством : материалы 90-й науч.-техн. конф. профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным участием), Минск, 2–20 февраля 2026 г. / Белорус. гос. технол. ун-т; отв. за издание С. А. Касперович. – Минск : БГТУ, 2026. – С. 254–257.

УДК 339.9

ВЛИЯНИЕ ФРАГМЕНТАЦИИ МИРОВОЙ ЭКОНОМИКИ НА РАЗВИТИЕ ЛОГИСТИКИ

И. В. ГАЛКИНА, А. С. АНЗИН
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Мировая экономика постепенно уходит от долгого периода глобализации, двигаясь к новому состоянию – фрагментации. Фрагментация мировой экономики и рост геополитической напряженности коренным образом меняют архитектуру международных перевозок и вызывают перестройку логистических систем. Последствия пандемии COVID-19, блокировка Суэцкого канала, обострение ситуации вокруг Ормузского пролива, нарастающее санкционное давление и масштабная переориентация торговых потоков кардинально изменили роль логистики в мировой экономике. Вместо оптимизации затрат на первом месте теперь стоят безопасность и устойчивость цепей поставок.

Фрагментация мировой экономики – это процесс разделения глобального рынка на конкурирующие геополитические и экономические блоки. Страны предпочитают придерживаться модели торговли с экономическими и политическими союзниками или перемещать производство обратно на свою территорию или к близким партнёрам. Такие стратегии нацелены на снижение риска перебоев и геополитической уязвимости, но они обходятся дороже. Особенно быстро фрагментируется торговля в стратегических секторах: микроэлектроника, редкоземельные металлы, оборонные технологии. Главными причинами фрагментации мировой экономики являются:

– геополитическая напряженность, противостояние между ведущими мировыми державами;

– торговые войны и протекционизм;

– дестабилизация глобальных цепочек поставок;

– технологическая изоляция стран;

– ограничения на движение капитала и платежей.

Можно выделить ключевые направления влияния фрагментации на логистику:

1 Переориентация транспортных маршрутов. Влияние санкций, торговые ограничения и геополитические конфликты заставляют компании переориентировать грузопотоки. Традиционные гло-

бальные маршруты заменяются новыми региональными цепочками поставок. Это негативно сказывается на стоимости перевозок, увеличивает время транзита и удлиняет плечо доставки.

2 Регионализация и «френдшоринг». Компании отказываются от концентрации производств в одной стране и переносят их в дружественные страны-партнеры (friend-shoring) или ближе к рынкам сбыта (near-shoring). Это приводит к сокращению плеча доставки в одних сегментах и росту спроса на локальную и региональную логистику. Глобальные цепочки поставок дробятся на локальные блоки, что стимулирует развитие региональных хабов вместо единой глобальной сети. В некоторых случаях, чтобы снизить риски, логистические потоки диверсифицируются. Например, китайские компании дублируют цепочки поставок в альтернативных регионах (Индия, Мексика, Вьетнам).

3 Смена парадигмы управления запасами. Отказ от концепции «точно в срок» (Just-in-Time) в пользу стратегии «на всякий случай» (Just-in-Case). Логистические операторы вынуждены создавать избыточные складские резервы и распределительные хабы внутри региональных экономических блоков, чтобы застраховаться от внезапных сбоев на таможенных границах.

4 Удорожание логистических цепочек. Потеря эффекта масштаба от глобализации, рост цен на топливо, закрытие воздушных пространств и морских проливов, страхование рисков и необходимость содержания дополнительных буферных запасов повышают долю транспортных расходов в конечной цене продукции. Традиционные маршруты замещаются более длинными и мультимодальными схемами (например, развитие коридоров «Север – Юг» или Нового шелкового пути в обход заблокированных зон).

5 Усложнение таможенного и юридического сопровождения. Формирование обособленных торгово-экономических блоков приводит к расхождению в документообороте, цифровых протоколах и экологических стандартах, что усложняет работу мультимодальных операторов.

6 Технологическая адаптация и ускоренная цифровизация. В условиях неопределенности для контроля разрозненных потоков компании вынуждены внедрять новые системы управления цепочками поставок (WWS, TMS, облачные платформы, интернет вещей), чтобы оперативно перенаправлять логистические маршруты при возникновении новых барьеров. Внутри различных союзов (ЕС, ЕАЭС, блок США – Мексика) формируются собственные изолированные цифровые и регуляторные платформы, что усложняет транзитные перевозки между блоками.

Всемирная торговая организация оценивает возможные потери мировой экономики в результате отказа от действующих правил торговли в размере от 5 до 10 % реального глобального ВВП к 2050 году. ВТО отмечает углубление кризиса мировой торговли и риск ее дальнейшей фрагментации. В сценарии географического разделения мировой экономики глобальный ВВП может сократиться на 5,1 %, а экспорт – на 18,6 %. Переход преимущественно к двусторонним торговым соглашениям может привести к снижению ВВП на 6,9 % и экспорта на 26,9 %. При укреплении институтов ВТО мировой ВВП, напротив, может дополнительно вырасти на 2,9 %, а экспорт – на 17,9 % [2].

Наиболее уязвимыми при сокращении многосторонней торговли окажутся страны с высоким уровнем интеграции в глобальные цепочки добавленной стоимости и развивающиеся экономики, которые получают значительную часть своих доходов через экспорт и приток инвестиций. Их потери могут более чем в три раза превысить показатели развитых стран. Несмотря на негативные тенденции, Европа пока остается одним из самых технологичных регионов мира с высокими уровнями эффективности труда и добавленной стоимости. Объемы производства и спрос на логистику хотя и падают, но в абсолютных цифрах остаются высокими. В выигрыше от фрагментации мировой торговли оказываются те государства, которые укрепляют свою экономическую автономию и снижают стратегические риски в критических секторах: энергетике, медицине, полупроводниках.

Исходя из текущей социально-политической обстановки в мире и экономических перспектив регионов, можно утверждать, что хорошими перспективами для развития логистического бизнеса обладает регион Восток. По-прежнему актуально:

– развитие присутствия на рынках стран Центральной, Восточной и Юго-Восточной Азии;

– удержание позиций и развитие услуг на внутрироссийском рынке и между странами СНГ;

– развитие всего спектра транспортных услуг из Азии в РФ, включая доставку по Северному морскому пути [3].

Также важно учитывать мировой тренд на развитие экологической повестки. Логистическим компаниям необходимо быть готовыми к внедрению в свою деятельность экологических стандартов в соответствии с растущими требованиями регуляторов. Экологическая политика компаний

становится не только вопросом имиджа, но и условием доступа к рынкам, инвесторам и государственным программам.

Таким образом, фрагментация мировой экономики превратила логистику из вспомогательного сервиса, ориентированного исключительно на оптимизацию затрат, в стратегический инструмент выживания бизнеса. Это переход к новой структуре управления экономическими отношениями, в которой безопасность, устойчивость и предсказуемость становятся ключевыми приоритетами. Логистическая система стала менее эффективной, но гораздо более гибкой, адаптивной и технологичной. В выигрыше от фрагментации мировой торговли оказываются те государства, которые укрепляют свою экономическую автономию и снижают стратегические риски в ключевых секторах экономики.

Список литературы

1 **Демидова, О. А.** Фрагментация мирового хозяйства: теоретические подходы и эмпирические проявления / О. А. Демидова, А. В. Кузнецов // Мировая экономика и международные отношения. – 2022. – № 4. – С. 5–16.

2 ВТО оценила потери мировой экономики от фрагментации торговли. – URL: https://www.cfo-russia.ru/novosti/?article=101635 (дата обращения: 15.09.2026).

3 Перспективы рынка логистики Евразии в 2025–2028 гг.: стратегический анализ. – URL: https://telsglobal.by/media_center/tels_in_the_press/perspektivy-rynka-logistiki-evrazii-v-2025-28-gg-strategicheskiy-analiz/ (дата обращения: 15.09.2026).

4 Транспорт и логистика – URL: https://president.gov.by/ru/belarus/economics/osnovnye-otrasli/sfera-uslug/transport-i-logistika (дата обращения: 15.09.2026).

УДК 338.47

ЦИФРОВИЗАЦИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ КАК ФАКТОР ПОВЫШЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

М. Ю. ГЕРАСИМЧИК
Белорусский государственный экономический университет, г. Минск

В условиях усложнения хозяйственных связей и роста требований к скорости и надёжности перемещения товаров транспортная система становится одним из ключевых элементов экономической безопасности государства. От её устойчивости зависят стабильность производственных цепочек, бесперебойность снабжения, развитие внешней торговли и конкурентоспособность национальной экономики. Нарушение транспортных потоков способно вызвать не только прямые финансовые потери перевозчиков, но и цепную реакцию в смежных отраслях: нарушение сроков поставок, увеличение логистических издержек, рост себестоимости продукции, дефицит отдельных ресурсов и снижение деловой активности. Поэтому современный подход к экономической безопасности транспорта должен основываться не только на обеспечении физической надёжности инфраструктуры, но и на способности транспортной системы заранее распознавать экономические угрозы, прогнозировать их последствия и адаптироваться к ним.

Именно в этом заключается принципиальное значение цифровизации. Её следует рассматривать не просто как замену бумажных документов электронными или внедрение отдельных информационных систем, а как переход к данным в качестве самостоятельного ресурса управления транспортными рисками. Интеллектуальные транспортные системы позволяют объединять информацию о транспортных потоках, состоянии дорожной инфраструктуры, погодных условиях, техническом состоянии транспортных средств, маршрутах и грузах, формируя основу для принятия упреждающих решений. При этом ценность цифровых технологий определяется не количеством собранной информации, а возможностью преобразовать её в конкретные управленческие решения.

Для Республики Беларусь данное направление приобретает особое практическое значение. Государственная программа «Транспорт Беларуси» на 2026–2030 годы предусматривает цифровизацию транспортной системы, развитие логистики с использованием интеллектуальных технологий и повышение устойчивости транспортной инфраструктуры [1]. В перспективе это создаёт технологическую основу для перехода от разрозненных цифровых решений к единой системе управления транспортными потоками.

На наш взгляд, следующим этапом развития данной системы должно стать формирование цифро-

вого контура экономической безопасности транспорта. Его принципиальное отличие от традиционного мониторинга заключается в том, что информационная система должна не только фиксировать уже возникшее нарушение, но и рассчитывать вероятность его экономических последствий. Например, сочетание данных о загруженности дорог, погодных условиях, техническом состоянии транспортных средств и интенсивности движения может использоваться для прогнозирования задержек, роста себестоимости перевозок, увеличения расхода топлива и вероятности аварийных ситуаций. Это позволит перейти от модели «проблема – реакция» к модели «данные – прогноз – предупреждение».

Перспективным представляется дополнение такого контура цифровым индексом транспортной устойчивости, который позволял бы комплексно оценивать состояние отдельного маршрута, перевозчика или транспортного узла. В его основу могут быть положены показатели надёжности маршрута, частоты задержек, аварийности, технического состояния транспорта, загрузки инфраструктуры, продолжительности простоев и уровня цифровой защищённости. Такой индекс способен стать инструментом не только текущего мониторинга, но и стратегического планирования, позволяя заранее определять наиболее уязвимые участки транспортной системы и направлять инвестиционные ресурсы на их модернизацию.

Особый интерес представляет создание цифрового профиля транспортного риска для каждого перевозчика, маршрута или транспортного средства. Такой профиль может формироваться на основе истории перевозок, технического состояния транспорта, количества нарушений, отклонений от маршрута, простоев и других показателей. В дальнейшем его можно использовать для дифференциации управленческих решений: от определения приоритетности государственного контроля до выбора оптимального маршрута и оценки экономической целесообразности перевозки. При этом важно обеспечить объективность используемых критериев и защиту информации, чтобы цифровая оценка риска не превращалась в формальный рейтинг без учёта специфики конкретной перевозки.

Ещё одним перспективным направлением является объединение цифровизации транспорта со страховыми механизмами. При наличии объективных данных о фактическом характере эксплуатации транспортного средства возможно развитие динамического страхования транспортных рисков, при котором параметры страхового продукта определяются с учётом интенсивности эксплуатации, характера маршрутов, фактического поведения транспортного средства и вероятности наступления страхового события. Такой подход способен повысить точность оценки страхового риска и одновременно сформировать экономический стимул для соблюдения безопасных условий перевозки. В перспективе страховая компания может выступать не только компенсатором уже возникшего ущерба, но и участником системы его цифрового предупреждения.

Отдельное значение имеет цифровизация грузовых перевозок. Электронный документооборот, цифровая идентификация грузов и дистанционный контроль их перемещения позволяют повысить прозрачность логистической цепочки и сократить вероятность потери, подмены или несанкционированного перемещения грузов. Использование навигационных устройств и электронных пломб создаёт возможность контроля маршрута в режиме реального времени. В совокупности это формирует принципиально новый уровень прослеживаемости грузопотоков и способствует снижению экономических потерь.

Одновременно цифровизация создаёт новые угрозы экономической безопасности. Зависимость транспорта от информационных систем увеличивает потенциальный ущерб от кибератак, технических сбоев, несанкционированного доступа и нарушения целостности данных. Поэтому экономическая безопасность цифрового транспорта должна включать не только физическую защиту инфраструктуры, но и резервирование критических информационных систем, защиту данных, регулярное тестирование цифровой инфраструктуры и наличие альтернативных сценариев управления при масштабных цифровых сбоях. Иными словами, устойчивой должна быть не только транспортная инфраструктура, но и цифровая среда, на которой основано её функционирование.

Особого внимания требует вопрос межведомственного информационного взаимодействия. Экономический эффект цифровизации будет существенно выше при объединении данных транспортных организаций, логистических операторов, государственных органов, страховых компаний и других участников рынка при соблюдении установленных требований к защите информации. Это позволит сформировать более полную картину транспортных рисков и исключить ситуацию, при которой разные участники одной логистической цепочки располагают фрагментарной информацией о происходящих процессах.

Таким образом, цифровизация транспортных систем должна рассматриваться не только как

направление технологической модернизации, но и как инфраструктура превентивной экономической безопасности. Перспективным представляется формирование единой цифровой среды, объединяющей мониторинг транспорта, электронный документооборот, прогнозирование рисков, логистику, страхование и информационную безопасность. В отличие от традиционного подхода, такая модель позволит оценивать не только текущее состояние транспортной системы, но и вероятность возникновения угроз и потенциальный экономический ущерб от них.

Следовательно, ключевым результатом цифровой трансформации должно стать не просто ускорение транспортных процессов, а формирование самоадаптирующейся транспортной системы, способной на основе данных своевременно выявлять угрозы, прогнозировать их последствия и автоматически предлагать варианты минимизации риска. Именно переход от фиксации нарушений к их прогнозированию и предупреждению способен стать следующим качественным этапом цифровой трансформации транспорта Республики Беларусь и одним из факторов долгосрочного укрепления экономической безопасности государства.

Список литературы

1 О Государственной программе «Транспорт Беларуси» на 2026–2030 годы : постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 29 дек. 2025 г. № 778 // ЭТАЛОН : информ. поисковая система (дата обращения: 01.09.2026).

УДК 656.23.03

ЦЕНА И КАЧЕСТВО ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА, ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗКАХ

В. Г. ГИЗАТУЛЛИНА
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Д. Н. ГАРАСЮК
Белорусская железная дорога, г. Барановичи

В современной экономике пассажирские перевозки являются «кровеносной системой» любого мегаполиса и страны в целом. События последних лет определили изменения в экономической жизни Белорусской железной дороги, которые привели к сокращению грузовых перевозок, а соответственно к увеличению доли пассажирских в общем объеме выполняемой приведенной работы [1]. Понимая это утверждение, при принятии управленческих решений в области пассажирских перевозок необходимо обязательно помнить о существующем фундаментальном конфликте: между доступной ценой для пассажира и высоким качеством предоставляемых услуг. Исследование теории экономики пассажирских перевозок позволило установить наличие понятия «треугольник эффективности», вершины которого приведены на рисунке 1.



Рисунок 1 – Факторы, определяющие эффективность пассажирских перевозок

Следует отметить, что показатель «качество» рассматривается как многогранный показатель, включающий регулярность, безопасность, чистоту, наличие цифровых сервисов и вежливость персонала.

Изучение практики показывает, что реальное повышение качества неизбежно ведет к росту издержек перевозчика, поэтому перевозчик вынужден повышать тариф. Если перевозки социально ориентированные, то возникает необходимость в государственных субсидиях, что можно отметить на российских железных дорогах. Если железная дорога, осуществляя такие перевозки, не получает государственной поддержки, то непременно качество начинает деградировать. При этом основными причинами будут старение и нарастание износа подвижного состава, увеличение интервалов движения, а самое главное – снижение безопасности.

Каковы же современные модели решения конфликта? Следует отметить, что мировая практика выработала несколько подходов к разрешению противоречия между ценой и качеством (рисунок 2).

Прогрессивные модели		
Брутто-контракты	**Дифференцированное ценообразование**	**Инвестиции в инфраструктуру**
Перевозчик получает финансирование от государства за выполненную транспортную работу	Использование гибких тарифов позволяет сделать транспорт доступным для регулярных пассажиров	Качество перевозок – это не только новый подвижной состав, но и скорость. Выделенные пути позволяют двигаться быстрее, что радикально повышает привлекательность услуги

Рисунок 2 – Современные модели решения конфликта между ценой и качеством

Немаловажным в разрешении названного конфликта становится использование искусственного интеллекта (ИИ), который становится ключевым инструментом для повышения эффективности пассажирских перевозок, снижения затрат и улучшения качества обслуживания, повышения экономической безопасности железнодорожной отрасли. Однако реализация возможностей ИИ требует комплексного подхода и решения ряда технических и организационных задач.

Список литературы

1 **Гизатуллина, В. Г.** Теория и практика калькуляционных расчетов на Белорусской железной дороге : монография / В. Г. Гизатуллина, Д. Н. Кушнеров, Н. В. Здановская. – Гомель : БелГУТ, 2023. – 259 с.

УДК 658.14/15

СИСТЕМНОСТЬ И МЕТОДОЛОГИЯ ОЦЕНКИ ФИНАНСОВОГО СОСТОЯНИЯ ПО УРОВНЯМ УПРАВЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

В. Г. ГИЗАТУЛЛИНА
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

В. Н. КРАСНЕНКО
Белорусская железная дорога, г. Минск

Основой выживаемости и конкурентоспособности предприятия в современных условиях является стабильная финансово-хозяйственная деятельность. В связи с этим становится актуальной проблема обеспечения финансовой устойчивости предприятия.

Финансовая устойчивость – это состояние, в котором финансовая система предприятия устойчива к экономическим шокам и способна быть платежеспособной. При этом под платежеспособностью понимается наличие у организации денежных ресурсов и их эквивалентов, которые достаточны для расчетов по кредиторской задолженности, требующей немедленного погашения. Ее основными признаками служат:

1) отсутствие просроченной кредиторской задолженности;

2) наличие в достаточном объеме денежных ресурсов на расчетном счете [1].

При этом следует отметить, что финансовая стабильность определяет впоследствии формирование экономической безопасности.

Понимая важность системной оценки финансового состояния, в 2011 г. Министерство финансов и экономики Республики Беларусь утвердило постановлением Инструкцию о порядке расчета коэффициентов платежеспособности и проведения анализа финансового состояния и платежеспособности субъектов хозяйствования.

В динамичных условиях современности обеспечение экономической безопасности входит в круг наиболее приоритетных задач, стоящих перед аппаратом управления железнодорожной отрас-

ли. С этой целью в Управлении Белорусской железной дороги создана служба внутреннего аудита и экономической безопасности. В составе основных направлений деятельности службы уже выделены наиболее значимые, которые, конечно, оказывают свое системное влияние на повышение экономической безопасности (рисунок 1).

Приведенный перечень основных направлений работы новой службы позволяет утверждать, что круг затрагиваемых проблем позволяет в дальнейшем разрабатывать управленческие решения, которые и будут определять и финансовую устойчивость подразделения, и экономическую безопасность железной дороги.

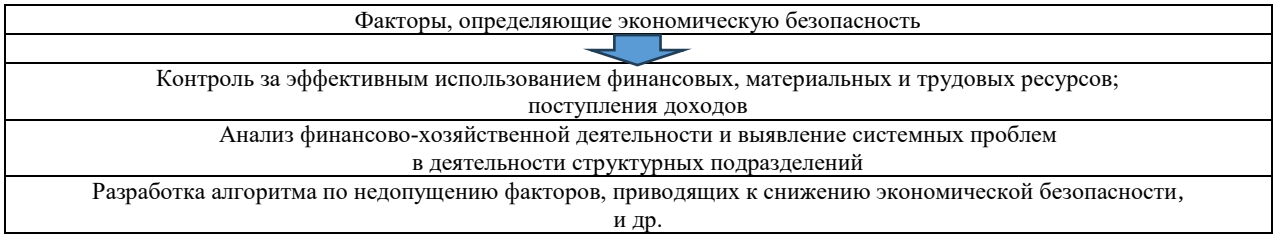


Рисунок 1 – Основные направления работы службы внутреннего аудита и экономической безопасности

При этом следует отметить, что при проведении анализа финансового состояния в такой сложной организационной структуре, как железная дорога, необходимо не забывать о целях и задачах на каждом уровне управления:

– на уровне железной дороги – полный и системный анализ всех показателей;

– на уровне отделения круг анализируемых показателей уменьшается, учитывая зависимость от централизации финансирования;

– на уровне структурного подразделения оценка делается по очень небольшому перечню показателей, в основном связанных с сокращением использования ресурсов.

Для проведения всех видов намеченных направлений деятельности потребуется прежде всего огромный поток информации. Конечно, без использования ИИ и цифровых технологий добиться системности и результатов будет сложно.

Список литературы

1 **Гизатуллина, В. Г.** Финансы организаций траспорта : учеб. пособие / В. Г. Гизатуллина, Е. В. Курьян. – Гомель : БелГУТ, 2026. – 325 с.

УДК 657.6

ПРОБЛЕМА ВЫБОРА ОРГАНИЗАЦИОННОЙ ФОРМЫ ВНУТРЕННЕГО АУДИТА ДЛЯ ДОСТИЖЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОГО СУВЕРЕНИТЕТА

С. А. ДАНИЛКОВА
Белорусский государственный экономический университет, г. Минск

Для достижения стратегических целей, дальнейшего развития организации, удовлетворения информационных потребностей собственников имущества возникает необходимость в наличии высококвалифицированных кадров в различных областях знаний, обладающих суверенитетом от менеджеров и способных объективно оценивать сложившуюся ситуацию, вырабатывать рекомендации. Решение данных вопросов требует присутствия внутреннего аудита. Его наличие в организации обусловлено рядом обстоятельств:

– наличие многоуровневой организационно-управленческой структуры;

– требование законодательства о создании контрольных служб;

– оценка рисков и эффективности управления организацией;

– потребность в профессиональном консалтинге и др.

Создание собственной службы внутреннего аудита требует от собственников имущества понимания ее роли и значения, четкого определения целей, задач и функций, а также разработки локаль-

ных нормативных актов, стандартов, регулирующих действия сотрудников службы внутреннего аудита. Кроме того, необходимо формирование высококвалифицированной команды специалистов, обладающих современными знаниями и профессиональными навыками в области внутреннего аудита, позволяющих предупреждать возникновение негативных явлений, отрицательно влияющих на достижение стратегических целей организации. Создание службы внутреннего аудита потребует значительного времени, финансовых вложений, но позволит получать информацию от специалистов, хорошо знающих производственную и финансовую деятельность организации, отраслевую особенность бизнеса, понимающих внутренние проблемы. Кроме того, наличие собственной службы внутреннего аудита является одним из основных требований для организаций, размещающих ценные бумаги на ведущих мировых фондовых биржах [1].

Однако международная практика внутреннего аудита предусматривает и иные организационные формы внутреннего аудита: аутсорсинг, косорсинг, аутстаффинг. Каждая из них имеет свои преимущества и недостатки, но возникает вопрос о том, чем следует руководствоваться собственникам при формировании системы внутреннего контроля и, в частности, ее основной части внутреннего аудита. В отечественной и зарубежной литературе присутствуют различные мнения по указанию критериев при выборе организационной формы внутреннего аудита. Так, Сотникова Л. В. считает, что во внутреннем аудите нуждаются организации:

– имеющие сложную структуру;

– осуществляющие финансово-хозяйственные операции во взаимодействии с другими экономическими субъектами [2, с. 17].

Бунина А. Ю., Зарочинцева Ю. В. выражают мнение о том, что для создания системы внутреннего аудита в организации необходимо предварительно решить несколько задач:

– определить цели внутреннего аудита;

– выделить направления его деятельности;

– создать структуру службы аудита и выделить ее функции [3].

По мнению Прониной А. М., в организации службы внутреннего аудита нуждаются хозяйствующие субъекты при наличии:

– иерархически сложной структуры управления;

– сложных экономических отношений, связанных с необходимостью учета разнонаправленных интересов, связанных сторон, аффилированных лиц и т. д.;

– той или иной формы корпоративного управления (холдинг, корпорация, концерн и т. д.) [4, с. 198–199].

Коллектив авторов под руководством Немченко В. В. пришел к выводу о том, что обоснованием создания соответствующей структуры службы внутреннего аудита являются следующие факторы: организационно-правовая форма деятельности предприятия; объемы и виды деятельности; отрасль экономики; структура предприятия при наличии филиалов и обособленных подразделений и система управления; задания, стоящие перед предприятием; стратегия финансово-хозяйственного развития; система информационного обеспечения; квалификация кадров; состояние внутреннего контроля и прочее [5, с. 100].

Интерес представляет суждение Фурмановой Н. В. о том, что выбор применяемой формы внутреннего аудита на экономическом субъекте зависит:

– от размера предприятия;

– видов его деятельности;

– стратегической цели и задачи;

– отношения руководства к внутреннему аудиту;

– обеспечения ресурсами;

– уровня профессионализма кадров [6].

Новый горизонт виденья проблемы выбора организационной формы внутреннего аудита предлагает Кузнецова И. В. Она указывает на то, что решение о необходимости внутреннего аудита принимают собственники и высшее исполнительное руководство компании. Решение это определяется многими факторами, к которым относятся разделение функций владения и управления бизнесом, размеры и структурная разветвленность компании, географический разброс ее активов, уровень рисков, присущих деятельности компании [7, с. 8].

Как свидетельствуют результаты проведенного исследования научных публикаций и практики, ученые выделяют до 6 критериев, позволяющих собственниками определиться в выборе формы

внутреннего аудита. Вместе с тем столь немногочисленных критериев недостаточно, так как они не позволяют получить весь спектр информации о ведении бизнеса, наличии и качественном составе персонала и пр. Кроме того, ни один автор не предлагает научно обоснованную методику оценки критериев выбора организационной формы внутреннего аудита. По нашему мнению, прежде всего собственникам следует сформулировать ключевые цели внутреннего аудита, из которых будет принято решение об его архитектуре:

1) обеспечение безопасности имущества;

2) соблюдение требований нормативных правовых актов;

3) достоверность данных бухгалтерской и/или финансовой отчетности и оценка рисков предпринимательской деятельности;

4) разработка альтернативных тактических и стратегических планов перспективности бизнеса.

Список литературы

1 **Данилкова, С. А.** Риски организационных форм внутреннего аудита, преимущества и недостатки его архитектуры / С. А. Данилкова // Экономика и банки. – 2019. – № 2. – С. 10–18.

2 **Сотникова, Л. В.** Оценка состояния внутреннего аудита : практ. пособие / под ред. В. И. Подольского. – М. : ЮНИТИ-ДАНА, 2005. – 143 с.

3 **Бунина, А. Ю**. Внутренний аудит в системе управления организацией / А. Ю. Бунина, Ю. В. Зарочинцева // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2017. – № 4 (56). – С. 217–223.

4 **Пронина, А. М.** Развитие аудита: история, современные трактовки, особенности организации внутреннего аудита / А. М. Пронина // Ученые записки Российской академии предпринимательства. – 2016. – Вып. 46. – С. 196–201.

5 **Немченко, В. В.** Практичний курс внутрішнього аудиту : підручник / В. В. Немченко, , В. П. Хомутенко, А. В. Хомутенко ; за ред. В. В. Немченко. – К. : Центр учбової літератури, 2008. – 240с.

6 **Фурманова, Н. В.** Особенности планирования внутреннего аудита / Н. В. Фурманова // Научно-методический электронный журнал «Концепт». – 2014. – Т. 20. – С. 1491–1495. – URL: http://e-koncept.ru/2014/54562.htm (дата обращения: 16.08.2026).

7 **Кузнецова, И. В.** Теория и практика внутреннего аудита : учеб. пособие / И. В. Кузнецова. – Воронеж, 2017. – 80 с.

УДК 657.6

ПРОБЛЕМА ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ВНУТРЕННЕГО АУДИТА С ЦЕЛЬЮ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОГО СУВЕРЕНИТЕТА

С. А. ДАНИЛКОВА

Белорусский государственный экономический университет, г. Минск

Осуществление внутреннего аудита собственной службой или на условиях аутсорсинга (косорсинга), аутстаффинга не является гарантией получения данных, которые ожидают стейкхолдеры. Прежде всего пользователи заинтересованы в качестве работы внутреннего аудита. В связи с этим возникает потребность в изучении содержания понятия «качество». Как свидетельствуют результаты исследования, на протяжении всей истории развития общества понятие «качество» рассматривалось как:

1) философская категория (Аристотель, Локк Дж., Гегель Г. и др.);

2) экономическая категория (Кросби Ф., Деминг Э., Фейгенбаум А., Исикава К. и др.);

3) юридическая категория (национальное и международное законодательство).

Таким образом, понятие «качество» прошло долгий путь развития и характеризуется набором конкретных свойств, которые ожидают получить потребители, т. е. основным критерием оценки выступает соответствие интересам, потребностям, ожиданиям конечных потребителей.

Во внутреннем аудите интересы различных стейкхолдеров из-за их многообразия различны, но каждый из них заинтересован в получении достоверной информации о состоянии дел в организации, которая выступает результатом качества работы внутренних аудиторов.

К сожалению, ни международное законодательство, ни национальные правовые акты не раскрывают содержание понятия «качество внутреннего аудита». Однако в некоторых странах СНГ в национальных нормативных актах указана цель оценки качества внутреннего аудита как определение степени эффективности деятельности служб внутреннего аудита и каждого аудитора в отдельности, а также оценки того, насколько его деятельность соответствует требованиям в сфере внут-

реннего аудита, предъявляемым в установленном порядке [1]. Следовательно, обобщив мнения различных ученых и требования нормативных правовых актов в отношении качества внутреннего аудита, можно прийти к выводу о том, что это совокупность требований к организации работы, проведению и документированию результатов внутреннего аудита, установленная стейкхолдерами с целью удовлетворения их информационных потребностей и ожиданий.

В экономической литературе наиболее распространенными подходами к оценке качества внутреннего аудита являются:

– по этапам его проведения: общее ознакомление, планирование, первичная оценка, исследование, промежуточный контроль, подтверждение достоверности, формирование выводов, подготовка отчетов и рекомендаций;

– по элементам оценки: организационная структура, распределение должностных обязанностей и ответственности сектора внутреннего аудита и контроля; стиль и основные принципы управления сектором внутреннего аудита и контроля; деятельность службы внутреннего аудита; кадровая политика комплектования службы внутреннего аудита; коммуникации; риски; практика организации и ведения учета, составления и обнародования отчетности;

– по группам действий внутренних аудиторов в разрезе подразделений: оформление текста документации, форма документа, технологическая документация, персонал, действия с несоответствующей продукцией, охват ежегодными проверками объектов аудита с высоким уровнем риска, степень выполнения рекомендаций службы внутреннего аудита по итогам проверки, повышение квалификации внутренних аудиторов [2].

Каждый из представленных подходов имеет преимущества и недостатки (таблица 1).

Таблица 1 – **Преимущества и недостатки подходов к оценке качества внутреннего аудита**

Подход	Преимущества	Недостатки
По этапам проведения внутреннего аудита	Изучение конкретных периодов проведения внутреннего аудита с их регламентацией и выполнением локальных нормативных актов	Исключает оценку кадрового состава службы внутреннего аудита, обучения персонала организации, взаимоотношения со всеми стейкхолдерами, возможности разработки альтернативных вариантов ведения бизнеса
По элементам оценки внутреннего аудита	Ориентирован на осуществляемую финансово-хозяйственную деятельность субъекта хозяйствования по всем направлениям, т. е. носит целостный характер, ориентирован не только на прошедшие события, но и на расширение горизонтов системы внутреннего контроля и бизнеса	Отсутствие гибкости при возникновении вызовов и угроз
По группам действий внутренних аудиторов в разрезе подразделений	Регламентация действий внутренних аудиторов, возможность контроля на каждом этапе, по подразделениям	Не позволяет увидеть влияние одного подразделения на иные, т. е. затрудняет получение целостного представления о развитии субъекта хозяйствования, наличии скрытых кризисных явлений

Исходя из практического опыта внешних и внутренних аудиторов целесообразно расширить критерии оценки качества внутреннего аудита: этические; организационные; функциональные; методические; сервисные; сообщение результатов; стратегические.

Методика оценки качества внутреннего аудита может включать количественные показатели (количество внутренних аудиторов, количество проводимых проверок и т. д.) по плану и фактически; качественные показатели (сумма предотвращённого вреда в результате действий внутренних аудиторов, динамика снижения количества и сумм недостач и т. д.). Однако не все результаты оценки качества по приведенным критериям возможно измерить. С этой целью, по нашему мнению, целесообразно разрабатывать матрицы рисков качества внутреннего аудита исходя из организационно-управленческой структуры организации, перспектив развития бизнеса, социальной ответственности перед обществом. Например, трехфакторная модель может включать цели основных стейкхолдеров, перечень пользователей, предложенные критерии оценки качества внутреннего аудита. Кроме того, в другую трехфакторную модель можно включить следующие показатели: бизнес-процессы, генерирующие прибыль, подразделения субъекта хозяйствования, реализующие биз-

нес-процессы и рекомендуемые критерии оценки качества внутреннего аудита. Третья модель может иметь следующие детерминанты: организационные формы внутреннего аудита (собственная служба внутреннего аудита, аутсорсинг, косорсинг, аутстафинг), цели основных стейкхолдеров, критерии оценки качества внутреннего аудита.

Интерес представляет совокупный результат всех моделей оценки качества внутреннего аудита, что позволит собственникам имущества определить политику внутреннего аудита в будущем.

Список литературы

1 Об утверждении Руководства по составлению программы гарантии и повышения качества внутреннего аудита : приказ М-ва финансов Кыргызской Республики от 28.12.2016 г. № 212-П. – URL: http://cbd.minjust.gov.kg/act/view/ru-ru/200096. (дата обращения: 20.05.2025).

2 **Данилкова, С. А.** Качество внутреннего аудита как гарантия достижения стратегических целей развития бизнеса: проблемы оценки / С. А. Данилкова // Экономика и банки. – 2023. – № 2. – С. 3–11.

3 **Данилкова, С. А.** Финансовый контроль : учеб. пособие / С. А. Данилкова. – Минск : БГЭУ, 2023. – 382 с.

УДК 656.223.2

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПАРКА ВАГОНОВ РАЗНЫХ СОБСТВЕННИКОВ

Ю. В. ДУБИНА
Министерство транспорта и коммуникаций Республики Беларусь, г. Минск

Л. В. ОСИПЕНКО
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

На современном этапе развития железнодорожного транспорта на пространстве СНГ характерным является наличие вагонов различных форм собственности. Выполненный анализ литературных источников показал, что структура парка вагонов в свой состав включает подвижной состав: железных дорог (железнодорожных администраций); собственные вагоны промышленных предприятий; арендованные у железных дорог и других собственников; подвижной состав компаний-операторов. Три последние группы подвижного состава в Правилах перевозок грузов обобщенно названы «вагоны грузоотправителей (грузополучателей)» [3].

В свою очередь парки *вагонов компаний-операторов* на Российских железных дорогах и других железнодорожных администраций формировались на основе инициативы [2]:

1) крупных добывающих или перерабатывающих предприятий, которые имеют транспортные или железнодорожные цеха. Целесообразность создания компаний-операторов данной группы была обусловлена недостатком вагонов железнодорожных администраций, коммерческой их непригодностью, что не обеспечивало сохранность перевозимых грузов, в том числе физико-химическими свойствами транспортируемой продукции, которые влияют на состояние кузова подвижного состава, например, вызывают коррозию металла;

2) экспедиторских фирм, заинтересованных не только в получении дополнительных доходов за счет перевозки в собственных или арендованных вагонах, но и повышении качества доставки продукции, обеспечивая сохранность груза;

3) местных органов власти регионов, что является характерным для Российской Федерации и ее таких регионов, как Красноярский край, Кузбасс и др. Данный вариант дает возможность обслуживать рассматриваемым парком вагонов крупные предприятия в конкретном регионе, добывающие сырьевые ресурсы и их обрабатывающие. В результате появляется возможность формировать маршрутные поезда для перевозки небольшой номенклатуры грузов;

4) крупных банков или финансовых групп в условиях высокой доходности отдельных грузоперевозок, например, нефтепродуктов. В большинстве случаев для снижения налоговой нагрузки целесообразно создавать лизинговую компанию, которая затем предоставляет в эксплуатацию также вагоны созданному банком или финансовой группой оператору подвижного состава [2].

Каждая из вышеперечисленных групп собственников вагонов обладает как преимуществами, так и недостатками, которые должны быть отражены в целевой функции в виде транспортно-логистических издержек. В свою очередь транспортно-логистические издержки зависят не только

от группы вагонов, но и от объемов перевозки, расстояния, величины отправки, ситуации на рынке предоставления вагонов для перевозки, условий конкуренции разных перевозчиков на рынке транспортных услуг и других причин.

Рынок транспортных услуг при перевозке продукции характеризуется схемами доставки грузов, которые имеют следующие основные параметры [4]:

– объем провозимых грузов;

– провозные платежи;

– срок доставки груза;

– сохранность перевозимой продукции;

– уровень транспортно-экспедиционного обслуживания.

Измерение целевой функции может осуществлятся в ден. ед./т перевозимого груза. Следует отметить, что каждая целевая функция связана с конкретной схемой доставки, которая может пролегать через территорию одного или нескольких государств. В этих условиях необходимо учитывать интересы государств, перевозчиков, грузоотправителей и грузополучателей, собственников вагонов, организаторов схем доставки грузов. В большинстве ситуаций интересы вышеуказанных участников не совпадают и по этой причине должны найти свое отражение в целевой функции или другом критерии оценки эффективности формирования парка вагонов разных собственников.

Таким образом, для решения поставленной задачи могут быть использованы два варианта оценки эффективности формирования парка вагонов разных собственников:

1) выбор эффективного варианта на основании целевых функций оценки, которые соответствуют схемам доставки рассматриваемых грузов в вагонах разных собственников [1];

2) оценка эффективного варианта на основании критерия, который соответствует минимальному значению разницы между доставкой груза в вагонах грузоотправителя (грузополучателя) и в подвижном составе железной дороги (железнодорожной администрации) [2].

В первом варианте рассматриваемая целевая функция должна учитывать следующие параметры:

– интенсивность потока перевозимой продукции;

– стоимость хранения продукции у грузоотправителя и грузополучателя;

– продолжительность хранения продукции у грузоотправителя и грузополучателя на стационарном складе или в транспортном средстве на колесах;

– стоимость выполнения одной грузовой операции у грузоотправителя и грузополучателя;

– стоимость подачи-уборки вагонов разных собственников у грузоотправителя и грузополучателя;

– стоимость перевозки груза магистральным видом транспорта в вагонах разных собственников;

– издержки, связанные с оборачиваемостью оборотных средств, на всех этапах элементов логистических схем доставки в вагонах разных собственников;

– продолжительность выполнения операций на всех этапах элементов логистических схем доставки грузов в вагонах разных собственников;

– плата за пользование вагонами разных собственников на всех этапах логистических схем доставки грузов;

– размер потерь от несохранности груза при его доставке в вагонах разных собственников;

– затраты на эксплуатацию и ремонт вагонов грузоотправителя (грузополучателя);

– затраты на подготовку и обработку подвижного состава иных собственников к перевозке специфических грузов (например, антикоррозионная обработка внутренней поверхности минераловозов для перевозки калийных удобрений);

– дополнительные сборы, связанные с эксплуатацией вагонов грузоотправителей (грузополучателей). Например, сбор (плата) за отцепочный ремонт вагонов грузоотправителя (грузополучателя) в пути следования. Для вагонов железной дороги данная плата включена в тариф;

– инвестиционная составляющая при необходимости приобретения вагонов.

Составляя из вышеперечисленных элементов целевую функцию, выполняем следующие действия для каждой группы вагонов разных собственников:

1 Определяем оптимальные величины отправок по направлениям перевозок в зависимости от расстояния доставки каждого груза.

2 Рассчитываем значения целевой функции для каждой оптимальной величины отправки.

3 Анализируем результаты минимальных значений целевой функции и определяем принадлежность вагона в зависимости от интенсивности потока и расстояния перевозки.

При использовании второго варианта оценка эффективного способа доставки в определенной

принадлежности вагона осуществляется на основании критерия, соответствующего минимальному значению разницы между доставкой груза в вагонах грузоотправителя (грузополучателя) и в подвижном составе железнодорожной администрации. В рассматриваемом критерии используется пятнадцать вышерассмотренных параметров.

Более целесообразно использовать второй вариант, т. к. он менее громоздкий и требует меньше вычислений. Однако при любом из вариантов имеются следующие особенности:

1) в качестве исходных данных используются: объем и расстояние перевозок, коэффициенты порожнего пробега вагонов различной принадлежности ($\alpha_{пор}$);

2) оборот вагона для вагонов грузоотправителя (грузопоплучателя) рассчитывается по формуле $\theta = T_д(1+l_{пор})$, где $T_д$ – срок доставки груза;

3) объемы перевозок грузов определяются на основании прогнозов с учетом их неопределенности;

4) в условиях эксплуатации вагонов грузоотправителей (грузополучателей) учитывается возможность организации погрузки-выгрузки по прямому варианту «производство – вагон и обратно» экономя за счет данного мероприятия одну грузовую операцию.

Список литературы

1 **Бугаев, В. П.** Инновации, инвестиции, эффективность : пособие для студентов экономических специальностей / В. П. Бугаев, Е. В. Бугаева. – Гомель : БелГУТ, 2005. – 139 с.

2 **Колос, М. М.** Формирование систем доставки массовых экспортных грузов на основе принципов логистики : дис… канд. техн. наук : 05.22.08 / М. М. Колос ; БелГУТ. – Гомель, 2013. – 183 с.

3 **Еловой, И. А.** Современные тенденции рынка железнодорожных грузовых перевозок : монография / И. А. Еловой, В. В. Ясинский, М. М. Колос. – Гомель : БелГУТ, 2010. – 210 с.

4 Еловой, И. А. Оценка эффективности инвестиций и конкурентоспособности транспортно-логистической системы : учеб.-метод. пособие / И. А. Еловой, И. А. Лебедева. – Гомель : БелГУТ, 2009. – 99 с.

УДК 336.671

ФИНАНСОВАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ КАК ФАКТОР УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ НАЦИОНАЛЬНОЙ ЭКОНОМИКИ

Т. А. ЕЗЕРСКАЯ
Белорусский государственный экономический университет, г. Минск

Устойчивое развитие экономики Республики Беларусь ставит перед менеджментом организации задачи по повышению эффективности бизнес-процессов. Дефицит финансовых ресурсов, недостаточно продуманная финансовая стратегия, внешние и внутренние факторы влекут за собой потерю финансовой стабильности и потенциальную вероятность банкротства субъекта предпринимательской деятельности. Оперативное принятие обоснованных управленческих решений в области финансового менеджмента и реализация необходимых антикризисных финансовых процедур позволят обеспечить финансовую безопасность субъекта предпринимательской деятельности.

Транспортная система Республики Беларусь обеспечивает потребности национальной экономики в перевозках грузов и людей, ускоряет товарооборот внутри государства и регионов, формирует логистические процессы снабжения необходимыми ресурсами, обеспечивает внешнеторговые и транзитные потоки, а также создает условия для осуществления комфортных и безопасных перевозок. Повышение уровня финансовой безопасности транспортных систем является одной из приоритетных задач экономической безопасности страны.

Ключевым элементом научной концепции, на наш взгляд, является характеристика экономической категории «финансовая безопасность». Данное обстоятельство обусловлено существующими различиями в концептуальных подходах ученых к трактовке категории «финансовая безопасность». Методические и организационные аспекты управления финансовой безопасности рассмотрены в работах М. А. Воробьевой [1], И. А. Бланка [2]. Вопросы экономической безопасности транспортных систем исследованы в работах С. Л. Шатрова [3].

Финансовой безопасностью, по нашему мнению, следует считать финансовое состояние организации, характеризующееся сбалансированностью финансовых потоков, высоким уровнем основных

финансовых показателей, что дает возможность реализовать стратегические задачи хозяйствующего субъекта.

Финансовую безопасность организации идентифицируют, как правило, в двух аспектах: как один из элементов экономической безопасности субъекта предпринимательской деятельности; как самостоятельный объект управления в рамках системы финансового менеджмента. Принимая во внимание результаты исследований, считаем более обоснованной и аргументированной концепцию финансовой безопасности как части системы финансового менеджмента.

Финансовая безопасность зависит от ряда внутренних и внешних факторов. Считаем, что к основным факторам, влияющим на уровень финансовой безопасности следует отнести: макроэкономические факторы (уровень инфляции и безработицы, объем ВВП, существующей уровень доходов населения, структура налоговой системы); рыночные факторы (емкость внутреннего рынка; активность рынка финансовых инструментов; состояние валютного рынка и рынка капиталов); операционные факторы (структура затрат, эффективность использования основных средств, диверсификация ассортимента продукции); инвестиционные факторы (структура инвестиционного портфеля, уровень окупаемости проектов); финансовые факторы (структура активов, соотношение собственного и заемного капитала).

Целью обеспечения финансовой безопасности является разработка управленческих решений, направленных на стабилизацию и поддержание удовлетворительного финансового состояния и сохранение действующих финансовых пропорций на перспективу.

Объектом управления финансовой безопасностью является финансовая деятельность транспортной организации. Субъектами управления выступают собственники, руководство и финансовые менеджеры организации.

На наш взгляд, основными этапами управления финансовой безопасностью являются: формирование информационной базы системы управления; определение индикаторов финансовой безопасности организации; проведение анализа экономической информации; разработка финансовой стратегии; контроль. Характеристика этапов управления финансовой безопасностью представлена в таблице 1.

Таблица 1 – **Этапы управления обеспечением финансовой безопасности**

Этап	Характеристика
Сбор экономической информации	Формирование информационной базы на основе данных бухгалтерского учета и отчетности
Идентификация	Формирование системы показателей (индикаторов) финансовой безопасности организации
Анализ данных	Проведение анализа состояния финансовой безопасности хозяйствующего субъекта
Разработка финансовой стратегии	Формирование системы планирования финансовой безопасности на перспективу
Контроль	Создание системы внутреннего контроля финансовой безопасности организации

Использование предложенного алгоритма организации системы управления финансовой безопасности позволит обеспечить действенный механизм реализации управленческих решений. Финансовый менеджер идентифицирует признаки потери финансовой безопасности на основании данных бухгалтерского учета и отчетности. Характеристика основных признаков потери финансовой безопасности транспортной организации представлена в таблице 2.

Таблица 2 – **Основные признаки потери финансовой безопасности организации транспорта**

Признак	Характеристика
Наличие убытков по текущей, инвестиционной и финансовой деятельности	Неэффективное осуществление финансово-хозяйственной деятельности организации
Рост величины кредиторской задолженности	Ухудшение уровня платежеспособности субъекта хозяйствования
Рост величины дебиторской задолженности	Увеличение сроков погашения обязательств, риск обесценения получаемых доходов по текущей деятельности
Наличие просроченной дебиторской задолженности	Рост сомнительной и безнадежной к взысканию дебиторской задолженности
Рост долгосрочных и краткосрочных обязательств	Увеличение долговой зависимости, снижение финансовой устойчивости организации

Таким образом, основными признаками утраты финансовой безопасности следует считать: наличие убытков по текущей, инвестиционной и финансовой деятельности; рост величины дебиторской и кредиторской задолженности; наличие просроченной задолженности дебиторов; рост обязательств.

Оценка финансовой безопасности основывается на анализе финансового состояния организаций транспортной сферы. В целях оценки финансовой безопасности финансовый менеджер анализирует следующие группы показателей: финансовой устойчивости; деловой активности; платежеспособности и ликвидности; рентабельности; состояния денежных потоков. К основным мерам повышения финансовой безопасности транспортных систем относят поиск новых рынков транспортных услуг, диверсификацию контрагентов и эффективную претензионную работу, использование инструментария коммерческого кредитования; оптимизацию себестоимости оказанных услуг, цифровизацию бизнес-процессов, повышение производительности труда.

Формирование эффективной системы управления финансовой безопасностью транспортных систем требует системного подхода, включающего использование инструментария финансового менеджмента, а также цифровизацию бизнес-процессов.

Список литературы

1 **Бланк, И. А.** Управление финансовой безопасностью предприятия / И. А. Бланк. – М. : Омега-Л, 2013. – 776 с.

2 **Воробьева, М. А.** Сущность финансовой безопасности и ее место в системе экономической безопасности организации / М. А. Воробьева // Молодой ученый. – 2020. – № 3 (293). – С. 327.

3 **Шатров, С. Л.** Экономическая безопасность транспортной системы: сущность и идентификация угроз / С. Л. Шатров, А. С. Писарева // Устойчивое развитие экономики: международные и национальные аспекты : электрон. сб. ст. V Междунар. науч.-практ. конф., Новополоцк, 13–14 окт. 2022 г. / Полоцкий гос. ун-т имени Евфросинии Полоцкой. – Новополоцк, 2022. – С. 455–460.

УДК 656.21:656.4

ОПТИМИЗАЦИЯ ПОГРУЗКИ ГОТОВОЙ ПРОДУКЦИИ ИЗ ПРОИЗВОДСТВА В ПЕРЕВОЗОЧНЫЕ СРЕДСТВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРИНЦИПОВ ЛОГИСТИКИ

И. А. ЕЛОВОЙ, Е. Н. ПОТЫЛКИН, С. А. ПЕТРАЧКОВ
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Как известно, инфраструктура путей необщего пользования была создана для плановой системы экономики, когда на сети железных дорог в основном обращались вагоны инвентарного парка и существовала проблема недостатка подвижного состава. В таких условиях наблюдалось малое значение времени оборота подвижного состава на местах необщего пользования, что не требовало дополнительного путевого развития для временного размещения вагонов и соответствующих значительных капитальных затрат на строительство путей.

В настоящее время на сети железных дорог стран СНГ продолжается увеличение парка вагонов грузоотправителей, грузополучателей. В соответствии с программой реформы на железнодорожном транспорте в Российской Федерации рост парка указанных перевозочных средств следует сопровождать развитием инфраструктуры железнодорожных путей общего и необщего пользования. Невыполнение данного положения приводит к значительному увеличению продолжительности нахождения вагонов на железнодорожных путях, что и наблюдается на большинстве крупных железнодорожных путей необщего пользования на территории Республики Беларусь.

Для нормализации работы данного места необщего пользования следует увеличить вместимость путей для временного размещения вагонов грузоотправителей, грузополучателей. Это позволит разделить потоки железнодорожных перевозочных средств, которые непосредственно задействованы в оперативной маневровой работе, и тех, которые нужно направлять в отстой, что окажет влияние на сокращение выполнения маневровых операций на железнодорожном пути необщего пользования.

Вагоны временно могут находиться на железнодорожных путях как общего, так и необщего пользования. При этом владелец инфраструктуры взимает плату в размере 50 % от платы за пользование вагоном за его нахождение на путях общего пользования по причинам, зависящим от грузо-

отправителя, грузополучателя. Поэтому перевозочные средства во временном размещении находятся, как правило, на железнодорожных путях необщего пользования, вагоны же инвентарного парка практически не направляются в «отстой». В связи с чем для грузоотправителей актуальной становится задача определения целесообразности использования вагонов в качестве «склада на колесах». Для ее решения разработан граф вариантов погрузки готовой продукции из производства в перевозочные средства, приведенный на рисунке 1.

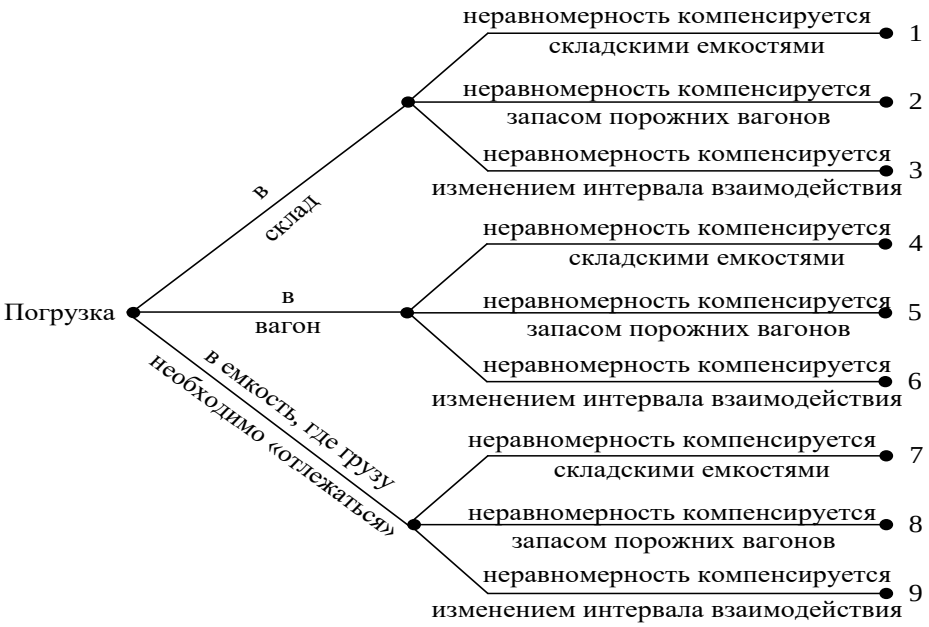


Рисунок 1 – Граф вариантов погрузки продукции из производства в вагоны

При решении поставленной задачи помимо сезонной следует учитывать неравномерность спроса на продукцию, обусловленную влиянием внешних факторов (экономических, политических), что заставляет рассматривать процесс продвижения товара от производителя до потребителя с учетом его накопления в пункте отправления и потребления в пункте назначения, т. е. в рамках логистической схемы доставки продукции, представленной на рисунке 2.

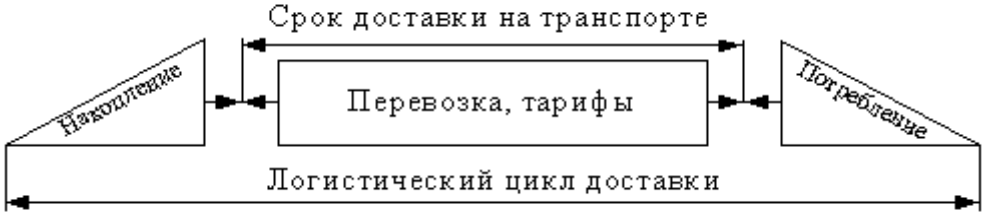


Рисунок 2 – Логистическая схема доставки грузов

Для выбора рационального варианта погрузки продукции из производства в перевозочные средства составляется целевая функция, в которой учитываются издержки грузовладельцев, связанные:

– с хранением продукции в процессе накопления на отправку в пунктах отправления и назначения;
– потерями от иммобилизации ресурсов при хранении продукции у производителя и потребителя;
– подачей-уборкой вагонов к грузовому фронту в пунктах отправления и назначения;
– погрузкой и выгрузкой продукции из склада и обратно у производителя и потребителя;
– потерями от иммобилизации ресурсов у производителя и потребителя при погрузке-выгрузке;
– простоем вагонов под погрузкой и выгрузкой;
– передвижением вагонов в составе поезда от станции отправления до станции назначения;
– потерями от иммобилизации ресурсов при транспортировке.

Таким образом, решение задачи оценки целесообразности использования вагонов грузоотправи-

телей, грузополучателей в качестве «складов на колесах» основано на теории управления запасами. В отличие от известных методик она позволяет комплексно учитывать основные принципы логистики и неравномерность спроса на готовую продукцию, позволяющую определить путевое развитие железнодорожного пути необщего пользования, необходимое для временного размещения вагонов грузоотправителей, грузополучателей.

В результате расчетов установлено, что при нахождении подвижного состава грузоотправителей, грузополучателей во временном размещении на железнодорожных путях необщего пользования целесообразно использовать данные вагоны в качестве «складов на колесах».

Список литературы

1 **Еловой, И. А.** Методы и модели эффективности взаимодействия железнодорожного транспорта общего пользования : монография / И. А. Еловой, Е. Н. Потылкин. – Гомель : БелГУТ, 2023. – 210 с.

УДК 338.2(476)

ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ВОСПИТАНИЕ КАК ОСНОВА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ГОСУДАРСТВА

Е. Н. ЕФРЕМОВА, Д. А. ТОЛМАЧ
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Актуальность данной темы обусловлена тем, что в современных геополитических условиях, характеризующихся беспрецедентным санкционным давлением, фрагментацией глобального экономического пространства и необходимостью достижения технологического суверенитета, все более очевидной становится роль человеческого фактора как ключевого ресурса национальной безопасности [2, 5].

Экономическая безопасность государства традиционно рассматривается в научной литературе как состояние защищенности национальной экономики от внешних и внутренних угроз, способность обеспечивать устойчивое развитие общества и достойный уровень жизни населения [1, 4]. Обеспечение экономической безопасности невозможно без формирования качественного человеческого капитала, фундаментом которого выступает образование и воспитание в экономической сфере [3, 7].

Теоретическое обоснование взаимосвязи экономического воспитания и экономической безопасности базируется на том, что образование выступает важнейшим фактором обеспечения экономической безопасности и социальной стабильности общества [1]. Механизм положительного воздействия реализуется через несколько взаимосвязанных каналов. Во-первых, это повышение производительности труда, поскольку экономически образованный работник способен более эффективно использовать ресурсы, внедрять инновации и оптимизировать производственные процессы. Во-вторых, развитие инновационного потенциала страны напрямую зависит от качества человеческого капитала, его способности генерировать и осваивать новые знания. В-третьих, возрастание благосостояния населения, обусловленное ростом доходов и экономической грамотности, создает прочную основу для социальной стабильности. В-четвертых, укрепление научно-технического прогресса невозможно без непрерывного воспроизводства квалифицированных кадров [1, 7].

Тесная взаимосвязь образования и науки служит дополнительным условием обеспечения экономической безопасности. Научные познания повышают возможности человека, государства и общества противостоять различного рода угрозам, предвидеть и своевременно подавлять появляющиеся опасности [1]. Экономически воспитанный гражданин способен не только адаптироваться к изменяющимся условиям, но и активно влиять на них, принимая взвешенные решения в сфере личных финансов, профессиональной деятельности и общественной жизни.

Влияние экономического воспитания на экономическую безопасность носит многоуровневый характер. На личностном уровне экономическая грамотность формирует у граждан ответственное отношение к финансовым ресурсам, понимание механизмов функционирования экономики, способность противостоять мошенническим схемам и принимать рациональные потребительские ре-

шения [6]. Это напрямую влияет на уровень жизни и социальное самочувствие населения, что является важнейшим индикатором экономической безопасности.

На уровне предприятий и организаций экономическое воспитание работников проявляется в повышении эффективности труда, развитии предпринимательской инициативы, снижении рисков недобросовестного исполнения обязанностей. Компании, инвестирующие в экономическое образование и повышение финансовой грамотности своих сотрудников, демонстрируют более высокую устойчивость к кризисным явлениям и лучше адаптируются к изменениям рыночной конъюнктуры [4].

На макроэкономическом уровне сформированный человеческий капитал выступает основой для инновационного развития, повышения конкурентоспособности национальной экономики и укрепления ее позиций в глобальном разделении труда. Государства с высоким уровнем экономического образования граждан обладают большим потенциалом для импортозамещения, технологического прорыва и достижения подлинного суверенитета [5].

Концепция национальной безопасности Республики Беларусь, утвержденная в 2024 году, среди ключевых направлений обеспечения безопасности выделяет развитие человеческого капитала, поддержание макроэкономической стабильности и достижение технологического суверенитета [2]. Реализация этих задач невозможна без системной работы по экономическому воспитанию населения, начиная со школьного возраста и заканчивая программами повышения квалификации для взрослых.

Образование следует рассматривать не просто как социальную услугу, а как стратегический ресурс национальной безопасности [3]. Формирование комплексной стратегии, объединяющей социально-экономическое развитие, обеспечение экономической безопасности и совершенствование системы образования, становится насущной необходимостью для любого государства, стремящегося к устойчивому развитию в условиях глобальной нестабильности [3, 7].

Анализ научной литературы позволяет выделить ряд вызовов, с которыми сталкивается система экономического воспитания. К ним относятся недостаточная интеграция экономических дисциплин в образовательные программы на ранних этапах обучения; разрыв между теоретическими знаниями и практическими навыками, необходимыми для реальной экономической деятельности; необходимость постоянного обновления содержания образования в соответствии с быстро меняющимися экономическими реалиями [6].

Для преодоления этих проблем требуется реализация комплекса мер. На государственном уровне необходимо включение задач экономического воспитания в стратегические документы социально-экономического развития и обеспечения национальной безопасности. На уровне системы образования требуется разработка и внедрение современных методик преподавания экономических дисциплин, ориентированных на формирование практических компетенций. На уровне гражданского общества важную роль играют просветительские проекты, направленные на повышение финансовой грамотности различных категорий населения [6, 8].

Таким образом, экономическое воспитание представляет собой фундаментальную основу формирования человеческого капитала, который, в свою очередь, является ключевым ресурсом обеспечения экономической безопасности государства. Влияние экономического воспитания на экономическую безопасность носит многоуровневый характер, проявляясь на личностном, корпоративном и макроэкономическом уровнях. Образование и воспитание в экономической сфере создают ту качественную базу, без которой невозможно эффективное функционирование ни одного из уровней экономической безопасности: от способности гражданина противостоять финансовым рискам до способности государства достигать технологического суверенитета.

Инвестиции в экономическое воспитание граждан следует рассматривать как стратегические инвестиции в национальную безопасность, обеспечивающие долгосрочную устойчивость и конкурентоспособность государства в условиях современных вызовов и угроз. Дальнейшие научные исследования в данной области должны быть направлены на разработку методик оценки эффективности экономического воспитания, выявление наиболее действенных форм и методов его реализации, а также интеграцию задач экономического просвещения в систему стратегического планирования национальной безопасности.

Список литературы

1 **Абалкин, Л. И.** Экономическая безопасность России: угрозы и их отражение / Л. И. Абалкин // Вопросы экономики. – 2024. – № 2. – С. 12–18.

2 Концепция национальной безопасности Республики Беларусь : утв. решением Всебелорусского народного собра-

ния от 25 апр. 2024 г. № 5 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=123456789 (дата обращения: 11.09.2026).

3 **Кочурко, Ю. В.** Принципы формирования, индикаторы и механизмы правового обеспечения экономической безопасности Республики Беларусь / Ю. В. Кочурко // Актуальные проблемы гражданского права. – 2024. – № 1 (23). – С. 24–32.

4 **Нескоромная, А. С.** Оценка уровня экономической безопасности Республики Беларусь / А. С. Нескоромная, А. Н. Пинчук // Научный потенциал молодежи – будущему Беларуси : материалы XIX междунар. молодеж. науч.-практ. конф. В 2 ч. – Пинск : ПолесГУ, 2025. – Ч. 1. – С. 214–216.

5 **Полоник, С. С.** Модель экономической безопасности и механизм ее реализации / С. С. Полоник // Новая экономика. – 2023. – № 1(8). – С. 5–13.

6 **Сенчагов, В. К.** Экономическая безопасность России: общий курс / В. К. Сенчагов. – М. : Дело, 2022. – 815 с.

7 **Василенко, Д. С.** Экономическая безопасность страны: теоретические подходы и практические аспекты (на примере Республики Беларусь) / Д. С. Василенко, А. Д. Юркевич, Ф. Д. Михайленко // Развитие вооружения и военной специальной техники. История и современное техническое обеспечение боевых действий : материалы Респ. науч.-техн. конф., 24–25 апр. 2025 г. / редкол.: А. А. Почебыт (пред. редкол.), И. Н. Янковский, С. Н. Андрукович [и др.] ; сост. И. Б. Шеденкова. – Минск : БНТУ, 2025. – С. 269–272.

8 **Какора, М. И.** Обеспечение национальной безопасности Республики Беларусь на основе устойчивого экономического развития перерабатывающих организаций АПК / М. И. Какора // Управленческий учет. – 2025. – Спец. вып. – С. 40–46.

УДК 338.47

ОБОСНОВАНИЕ РЕНТАБЕЛЬНОСТИ ТРАНСПОРТНОГО ХОЗЯЙСТВУЮЩЕГО СУБЪЕКТА В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

В. Л. ЖИГАЛОВ
Белорусская железная дорога, г. Минск

И. А. ЕЛОВОЙ, Л. В. ОСИПЕНКО
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Традиционно эффективность предприятия определяется соотношением полезного результата, в роли которого может выступать прибыль, объем производства, и затрат, связанных с его получением.

В то же время прибыль представляет собой разность между доходами (выручкой от реализации товаров, работ или услуг) и расходами (затратами на их производство и реализацию). Соответственно прибыль транспортного хозяйствующего субъекта формируется за счет превышения размерами выручки величины эксплуатационных расходов, связанных с оказанием услуг транспортной организацией. В свою очередь величина выручки на транспорте зависит от количества оказанных услуг, их стоимости и себестоимости. Рентабельность текущих издержек является показателем их эффективности и устанавливается исходя из отношения прибыли транспортного хозяйствующего субъекта за определенный период к эксплуатационным расходам.

Процесс доставки продукции от поставщика к потребителю, или транспортный процесс, представляет собой совокупность нескольких стадий, реализуемых в рамках отдельных модулей и в идеальных условиях, функционирующих синхронно: операции по отправлению и прибытию в начальном и конечном пунктах соответственно, непосредственное перемещение между начальным и конечным пунктами, операции в промежуточных пунктах по ходу следования [1]. В каждом из этих модулей возможно возникновение случайных отклонений, связанных с особенностями работы транспорта: выход из строя технических устройств, нарушение технологии и норм времени выполнения тех или иных операций, несвоевременная или неполная оплата услуг сторонних организаций, неполная или неточная информация, неблагоприятные климатические условия, человеческий фактор, геополитическая обстановка и др. В ответ на случайные отклонения в ряде случаев возникают управляющие воздействия со стороны транспортного хозяйствующего субъекта, регламентированные соответствующими нормативными документами.

В условиях применения управляющих воздействий для нейтрализации последствий воздействия случайных факторов рентабельность перевозок транспортного хозяйствующего субъекта является относительно стабильной величиной, подверженной в некоторой степени сезонным колебаниям, что позволяет предположить стационарность процесса, статистические свойства которого остаются примерно постоянными во времени.

С целью проверки гипотезы о стационарности процесса выполнены исследования характеристик случайной функции рентабельности с сечением через один месяц. При этом случайная функ-

ция сводится к системе двенадцати случайных величин, для которых находятся: математическое ожидание случайной функции; корреляционная функция случайной функции; дисперсия случайной функции; нормированная корреляционная функция.

Проверка показала, что математическое ожидание и дисперсия не являются строго постоянными, а нормированная корреляционная функция не полностью одинакова вдоль параллельных временных линий. Однако с учетом ограниченного объема статистических данных (всего шесть лет наблюдений) эти отклонения можно признать случайными и незначимыми. Поэтому для практических целей вполне допустимо приближенно считать функцию рентабельности стационарной.

Дальнейшая обработка данных проводилась с помощью усреднения по времени. Были рассчитаны средний уровень рентабельности, общая дисперсия и среднеквадратическое отклонение. Построенная нормированная корреляционная функция показала, что связь между значениями рентабельности в разные месяцы ослабевает с увеличением временного промежутка. При этом на некоторых лагах (с шестого по девятый месяц) наблюдаются отрицательные корреляции: положительным отклонениям в одни месяцы соответствуют отрицательные в другие. Это указывает на наличие периодической составляющей в динамике рентабельности.

Такой эффект объясняется сезонными факторами. В частности, в указанные периоды возрастает доля убыточных пассажирских перевозок во внутриреспубликанском сообщении, что приводит к снижению средней доходности. В начале года (первые три месяца) колебания рентабельности более резкие и нестабильные, чем в середине периода. С увеличением временного лага амплитуда колебаний корреляционной функции уменьшается, и в долгосрочной перспективе она стремится к нулю (рисунок 1) [2].

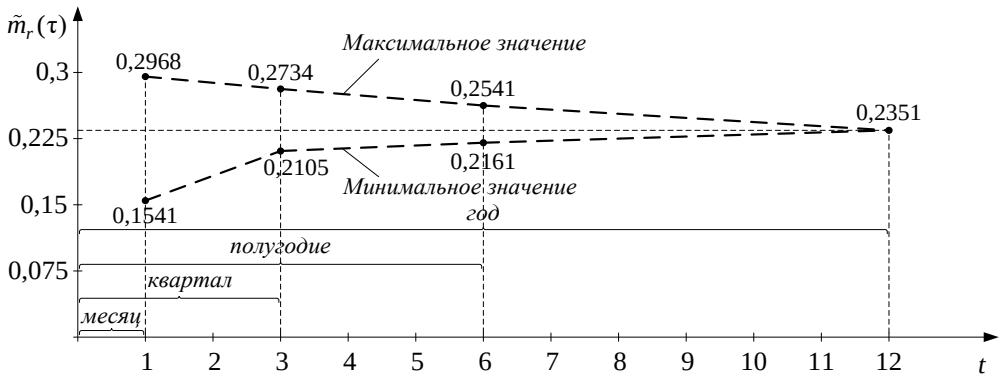


Рисунок 1 – Колебание средней рентабельности в зависимости от периода времени t

Важный практический вывод состоит в следующем: при минимальных временных интервалах изменения средней рентабельности от минимального до максимального уровня наиболее велики. Это означает, что в отдельные месяцы транспортное предприятие может испытывать острый недостаток финансовых ресурсов, особенно для выплаты заработной платы и покрытия текущих расходов. Причиной такого состояния является неравномерность грузовых и пассажирских потоков в течение суток, декад, месяцев и кварталов, а также сезонное проведение плановых ремонтных работ.

В исследуемом периоде среднегодовая рентабельность составила около 23,5 % (см. рисунок 1). Однако по итогам исследования такой уровень недостаточен для покрытия сезонных колебаний, вследствие чего в отдельные месяцы финансовых средств будет недостаточно для выплаты заработной платы и решения других текущих вопросов. С целью обеспечения финансовой устойчивости и сглаживания влияния сезонных колебаний при расчете тарифов на транспортные работы и услуги необходимо закладывать более высокую рентабельность в размере 29,7 % (см. рисунок 1). Анализ результатов выполненных исследований показал, что целесообразно еще учитывать рисковую надбавку, которая для равномерного закона распределения доходов и расходов для рассматриваемого хозяйствующего субъекта составляет 5,2 %. Тогда в соответствии с рисунком расчетная рентабельность составит 0,2968 + 0,052 = 0,3488, или 35 %.

Таким образом, применение расчетной рентабельности, составляющей 35 %, позволит не только компенсировать потери в неблагоприятные месяцы, но и создать резерв для стабильной работы транспортного хозяйствующего субъекта в течение всего года.

Список литературы

1 **Еловой, И. А.** Тарифное регулирование при доставке грузов в логистических цепях движения ресурсов (теория и методология расчетов) : монография / И. А. Еловой, Л. В. Осипенко. – Гомель : БелГУТ, 2017. – 377 с.

2 Еловой, И. А. Управление потоками в логистических цепях (теория, методология, организация) : монография / И. А. Еловой, М. А. Гончар. – Гомель : БелГУТ, 2020. – 227 с.

УДК 338.47:656

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ В УЗБЕКИСТАНЕ

М. И. ЖУРАХАНОВ
Андижанский филиал Кокандского университета, Республика Узбекистан

В современных условиях транспортная система выступает одним из базовых элементов устойчивого функционирования национальной экономики. Её состояние непосредственно влияет на мобильность населения, доступ предприятий к рынкам сырья и сбыта, скорость товарооборота, уровень транспортных издержек, инвестиционную привлекательность территорий и экспортные возможности страны. Поэтому обеспечение экономической безопасности транспортной системы следует рассматривать как составную часть национальной экономической безопасности.

Для Республики Узбекистан данный вопрос приобретает особую значимость вследствие географической удалённости от мировых морских портов, необходимости поддержания устойчивых внешнеторговых связей и повышения роли страны в региональных транспортно-логистических потоках. В этих условиях экономическая безопасность транспорта предполагает создание такой системы перевозок, которая способна обеспечивать бесперебойное движение грузов и пассажиров, минимизировать транспортные и логистические издержки, снижать зависимость от отдельных маршрутов и видов транспорта и одновременно сохранять устойчивость к внешним и внутренним шокам.

Актуальность исследования обусловлена также масштабом транспортной деятельности. По данным Национального комитета по статистике, в 2025 году всеми видами транспорта в Узбекистане было перевезено 1 601,0 млн т грузов, что на 4,3 % больше уровня 2024 года. При этом автомобильным транспортом перевезено 1 434,5 млн т, железнодорожным – 107,9 млн т, трубопроводным транспортом – 58,4 млн т, воздушным транспортом – 205,2 тыс. т. Общий грузооборот составил 84 021,1 млн т·км, увеличившись на 1,9 %.

Таким образом, транспортный сектор обладает значительным экономическим масштабом, а его устойчивость становится важным условием стабильности производственных и внешнеэкономических процессов.

Методологическую основу исследования составили положения экономической теории, концепции национальной и экономической безопасности, а также современные подходы к исследованию устойчивости транспортно-логистических систем. Информационной базой послужили данные Национального комитета по статистике Республики Узбекистан, нормативно-правовые документы в сфере транспортной политики и материалы международных организаций.

В процессе исследования использованы методы системного, сравнительного и статистического анализа, динамического сопоставления показателей, структурного анализа и обобщения. Экономическая безопасность транспортной системы рассматривается как комплексная характеристика, включающая несколько взаимосвязанных компонентов: инфраструктурную, финансово-экономическую, логистическую, технологическую, внешнеторговую и социальную устойчивость.

С учётом специфики транспортной системы предлагается рассматривать её экономическую безопасность через следующую систему факторов:

– инфраструктурная устойчивость – состояние автомобильных дорог, железнодорожных линий, аэропортов, терминалов и логистических центров;

– транспортно-логистическая устойчивость – способность обеспечивать бесперебойное движение грузов и пассажиров;

– финансовая устойчивость – способность транспортных организаций поддерживать необходимый уровень инвестиций, обновлять основные фонды и обеспечивать рентабельность деятельности;

– маршрутная и географическая диверсификация – снижение зависимости от отдельных транспортных направлений и внешних транзитных маршрутов;

– технологическая безопасность – внедрение цифровых систем управления, автоматизации, электронного документооборота и современных средств мониторинга;

– социальная доступность – обеспечение населения доступными и качественными транспортными услугами;

– экологическая устойчивость – сокращение энергоёмкости перевозок и переход к более экологичным видам транспорта.

Следовательно, экономическая безопасность транспорта не сводится исключительно к обеспечению физической сохранности транспортной инфраструктуры. Она характеризует способность транспортной системы выполнять свои экономические функции в условиях изменяющейся внешней среды.

Анализ статистических данных показывает, что транспортный сектор Узбекистана характеризуется устойчивым расширением объёмов перевозок. В 2025 году объём грузовых перевозок всеми видами транспорта достиг 1 601,0 млн т, что на 4,3 % выше показателя предыдущего года. При этом автомобильный транспорт обеспечил около 89,6 % общего объёма перевозок грузов в натуральном выражении. Железнодорожный транспорт перевёз 107,9 млн т грузов, а его грузооборот составил 28 384,1 млн т·км, или 33,8 % общего грузооборота.

Такая структура имеет двойственное значение для экономической безопасности. С одной стороны, автомобильный транспорт обеспечивает высокую территориальную доступность и гибкость перевозок. С другой стороны, высокая концентрация грузопотоков на автомобильном транспорте увеличивает значение состояния автомобильных дорог, стоимости топлива, технического состояния автопарка и пропускной способности дорожной инфраструктуры.

Важным показателем является также развитие пассажирского транспорта. В 2025 году автомобильным транспортом было перевезено 6 989,0 млн пассажиров, что составило 95,7 % общего объёма пассажирских перевозок и на 5,2 % превысило уровень 2024 года. Железнодорожным транспортом в 2025 году воспользовались 10,5 млн пассажиров, что на 0,7 млн больше, чем годом ранее.

Рост пассажирских перевозок свидетельствует об увеличении мобильности населения и спроса на транспортные услуги. Вместе с тем высокая концентрация пассажиропотока на автомобильном транспорте указывает на необходимость дальнейшего развития альтернативных видов транспорта, прежде всего железнодорожного и общественного транспорта.

С экономической точки зрения одним из ключевых факторов безопасности является снижение транспортных издержек. Высокая стоимость перевозки непосредственно влияет на конечную цену товаров, конкурентоспособность отечественной продукции и привлекательность внешней торговли. В этом отношении развитие железнодорожных и мультимодальных перевозок имеет стратегическое значение.

Опыт реализации инфраструктурных проектов показывает, что повышение транспортной связанности способно оказывать заметное влияние на региональную экономику. Например, Всемирный банк отмечает, что реализация проекта железной дороги Пап – Ангрен существенно улучшила транспортную связанность Ферганской долины с другими территориями страны; по данным проекта, пассажирские транспортные расходы между Андижаном и Ташкентом в 2015–2020 годах снизились на 33 %, а по отдельным видам грузов снижение транспортных затрат достигало 80 %.

Таким образом, развитие транспортной инфраструктуры необходимо рассматривать не только как капитальное вложение в отдельную отрасль, но и как фактор снижения трансакционных и логистических издержек всей экономики.

Особое значение для экономической безопасности имеет диверсификация транспортных маршрутов. Для Узбекистана, не имеющего прямого выхода к морским портам, устойчивость международных перевозок во многом определяется состоянием региональных транспортных коридоров и возможностью использования нескольких направлений внешней торговли. В связи с этим развитие альтернативных железнодорожных и автомобильных маршрутов, мультимодальных логистических цепочек и международных транспортных коридоров снижает вероятность возникновения критической зависимости от одного направления.

Данное направление закреплено в стратегических документах страны. В рамках цели 53 Стратегии «Узбекистан – 2030» предусматривается углубление интеграции страны в глобальные транспортно-логистические сети и повышение потенциала национальной транспортной системы. Среди установленных ориентиров – доведение транзитных грузоперевозок через территорию республики

до 16 млн т, увеличение объёма пассажирских и грузовых транспортных услуг в три раза и доведение доли электрифицированных железных дорог до 65 %.

Важным этапом развития транспортной системы стало также утверждение в 2025 году Концепции развития транспортно-логистической системы Республики Узбекистан до 2030 года. Документ определяет средне- и краткосрочные цели и основные направления развития транспортно-логистической системы, ориентированные на создание условий для устойчивого экономического роста.

С точки зрения экономической безопасности особую роль в реализации данных задач играет цифровизация транспорта. Электронные транспортные документы, цифровое отслеживание грузов, интеллектуальные транспортные системы, автоматизация пограничных и таможенных процедур позволяют сокращать время обработки грузов, повышать прозрачность операций и уменьшать административные издержки.

Не менее значимым направлением является государственно-частное партнёрство. Ограниченность бюджетных ресурсов при высокой потребности в обновлении транспортной инфраструктуры требует расширения механизмов привлечения частного капитала. Всемирный банк в качестве одного из направлений развития транспортно-логистического сектора Узбекистана выделяет институциональные реформы, совершенствование финансирования инфраструктуры и применение механизмов государственно-частного партнёрства.

Проведенный анализ позволяет выделить несколько взаимосвязанных групп угроз экономической безопасности транспортной системы Узбекистана.

Во-первых, существенным фактором риска остаётся высокая нагрузка на автомобильную инфраструктуру. Доминирование автомобильного транспорта в объёме грузовых перевозок повышает требования к состоянию дорожной сети, пропускной способности магистралей и техническому состоянию транспортных средств.

Во-вторых, сохраняется необходимость дальнейшей диверсификации транспортных потоков. Устойчивость внешнеэкономических связей требует одновременного развития нескольких международных направлений и формирования взаимосвязанных транспортно-логистических коридоров.

В-третьих, существенное значение имеет обновление основных фондов. Износ транспортных средств и инфраструктуры приводит к росту эксплуатационных расходов, увеличению времени перевозки и снижению надёжности транспортных услуг. Поэтому инвестиционная политика должна быть ориентирована не только на расширение инфраструктуры, но и на её модернизацию.

В-четвёртых, возрастает роль технологических рисков. Цифровизация транспортной системы создаёт новые возможности для повышения эффективности, однако одновременно усиливает требования к защите информационных систем, надёжности цифровой инфраструктуры и непрерывности обмена данными.

В-пятых, экономическая безопасность транспорта имеет выраженное региональное измерение. Различия между территориями по плотности дорожной сети, уровню урбанизации, промышленной специализации, объёмам грузопотоков и инвестиционной активности формируют неодинаковую транспортную обеспеченность регионов. Следовательно, государственная транспортная политика должна учитывать не только общенациональные показатели, но и территориальную дифференциацию.

В этом контексте целесообразно сформировать систему мониторинга экономической безопасности транспортной системы. В качестве основных индикаторов могут использоваться: объём грузовых и пассажирских перевозок; грузо- и пассажирооборот; средняя стоимость перевозок; степень износа транспортной инфраструктуры; инвестиции в основной капитал транспорта; доля железнодорожного и мультимодального транспорта; пропускная способность транспортных коридоров; время прохождения грузов; доля цифровых транспортных операций; уровень аварийности и доступность общественного транспорта.

На основе указанных индикаторов может быть сформирован индекс экономической безопасности транспортной системы, позволяющий проводить сопоставление регионов и отслеживать динамику во времени. При этом методика оценки должна учитывать как абсолютные показатели развития, так и уровень рисков и устойчивости транспортной инфраструктуры.

Таким образом, экономическая безопасность транспортной системы Республики Узбекистан представляет собой многокомпонентную характеристику, отражающую способность транспортно-логистической инфраструктуры обеспечивать устойчивое движение грузов и пассажиров, поддерживать экономическую активность и противостоять внутренним и внешним рискам.

Результаты проведенного анализа показывают, что транспортный сектор страны характеризуется увеличением объёмов грузовых и пассажирских перевозок. В 2025 году объём грузовых перевозок достиг 1 601,0 млн т, а объём грузооборота – 84 021,1 млн т·км. Одновременно сохраняется высокая концентрация перевозок на автомобильном транспорте, что обусловливает необходимость дальнейшего развития железнодорожной инфраструктуры, мультимодальных перевозок и альтернативных транспортных маршрутов.

В целях укрепления экономической безопасности целесообразно обеспечить комплексное развитие транспортной системы по следующим направлениям: модернизация транспортной инфраструктуры; диверсификация международных транспортных коридоров; расширение железнодорожных и мультимодальных перевозок; цифровизация транспортно-логистических процессов; развитие государственно-частного партнёрства; повышение инвестиционной привлекательности отрасли; совершенствование системы управления транспортными рисками.

Особое значение имеет переход от преимущественно инфраструктурного подхода к комплексной модели управления транспортной безопасностью, в которой развитие инфраструктуры сочетается с экономической эффективностью, технологической устойчивостью, территориальной доступностью и устойчивостью внешнеэкономических связей. Такой подход позволит повысить вклад транспортно-логистической системы в обеспечение устойчивого экономического роста и укрепление конкурентоспособности Республики Узбекистан.

Список литературы

1 О Стратегии «Узбекистан – 2030» : Указ Президента Респ. Узбекистан № ПФ-158 от 11 сент. 2023 г. – URL: https://lex.uz/ru/docs/6600404 (дата обращения: 15.09.2026).

2 Концепция развития транспортно-логистической системы Республики Узбекистан до 2030 года : утв. постановлением Президента Респ. Узбекистан № ПҚ-28 от 27 янв. 2025 года. – URL: https://lex.uz/ru/doc-passport/7342176 (дата обращения: 15.09.2026).

3 **Ульджабаев, К. У.** Приоритеты и направления стратегического развития транспорта Узбекистана на долговременную перспективу / К. У. Ульджабаев, В. К. Ярашова // Транспорт шелкового пути. – 2019. –№ 1–2. – С. 16–25.

4 **Ибрагимова, Д. Т.** Достижения и проблемы устойчивого развития транспортной системы Узбекистана / Д. Т. Ибрагимова, А. И. Ким //Экономика: анализы и прогнозы. – 2019. – №. 3. – С. 84–95.

5 **Равшанов, М. Н.** The effectiveness of the implementation of public-private partnership in the road transport complex of Uzbekistan / М. Н. Равшанов, М. К. Солиев // Актуальные проблемы экономики современной России : сб. материалов VIII Междунар. науч.-практ. конф. – Йошкар-Ола : Приволжский НИЦ, 2012. – С. 188–195.

6 Uzbekistan: Building Blocks for Integrated Transport and Logistics Development // World Bank. – Washington D. C. – URL: http://hdl.handle.net/10986/34160 (date of access: 15.09.2026).

7 Transforming Logistics: The Power of Rail Investment // World Bank. – 2025. – URL: https://www.worldbank.org/en/results/2025/08/28/transforming-logistics-the-power-of-rail-investment (date of access: 15.09.2026).

8 Социально-экономическое положение Республики Узбекистан. VIII. Транспорт и связь, январь – декабрь 2025 года / Национальный комитет по статистике Республики Узбекистан. – Ташкент, 2026.

9 Объём транспортных услуг по видам транспорта. SIAT – Статистическая база данных / Национальный комитет по статистике Республики Узбекистан. – URL: https://siat.stat.uz/data/3256/?lang=ru (дата обращения: 15.09.2026).

УДК 339.543:656.07

ТАМОЖЕННОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ КАК ФАКТОР ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Н. Н. ЗАТОЛГУТСКАЯ, Е. С. МЕЛЕШКО, И. Д. ПАТАПЕЙКА
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Транспортная система занимает важное место в обеспечении устойчивости национальной экономики, поскольку именно посредством транспортных потоков осуществляется перемещение сырья, готовой продукции и иных товаров между предприятиями, регионами и государствами. Для Республики Беларусь значение транспорта дополнительно определяется ее участием в международ-

ной торговле и интеграционных процессах Евразийского экономического союза. В таких условиях надежность транспортной системы зависит не только от состояния инфраструктуры и эффективности перевозок, но и от качества государственного контроля за движением товарных потоков.

Одним из ключевых инструментов такого контроля является таможенное регулирование. Его значение для экономической безопасности заключается в предупреждении незаконного перемещения товаров, обеспечении соблюдения установленных запретов и ограничений, защите внутреннего рынка и обеспечении поступления таможенных платежей. Таможенные органы при этом выступают одним из элементов системы государственного контроля, связывающим внешнюю торговлю, транспортную деятельность и экономические интересы государства [1].

Экономическая безопасность транспортной системы предполагает такое состояние транспортных процессов, при котором минимизируются угрозы, способные привести к нарушению стабильности перевозок, финансовым потерям, незаконному обороту товаров или снижению конкурентоспособности национальной экономики. В связи с этим таможенное регулирование должно обеспечивать не только выявление уже совершенных правонарушений, но и предупреждение рисков еще на стадии перемещения товара.

Статистические показатели подтверждают нестабильность транспортной деятельности Республики Беларусь в последние годы. По данным Евразийской экономической комиссии, в 2021 г. грузооборот страны составлял 118,8 млрд т·км, а его динамика относительно предыдущего года составила 96,4 %. В 2022 г. произошло наиболее существенное сокращение показателя: грузооборот составил 74,6 % от уровня 2021 г. В 2023 г. снижение продолжилось – показатель достиг 82,3 % к предыдущему году. В 2024 г. ситуация изменилась: грузооборот увеличился до 101,5 %, а абсолютное значение достигло 74,0 млрд т·км. В 2025 г. грузооборот составил 72,3 млрд т·км, или 97,4 % к уровню 2024 г. [2].

Таким образом, статистика показывает, что после значительного сокращения транспортной активности в 2022–2023 гг. в 2024 г. наблюдалось восстановление грузооборота, однако в 2025 г. вновь произошло небольшое снижение. Если сопоставить абсолютные показатели 2023 и 2025 гг., грузооборот сократился с 72,9 до 72,3 млрд т·км, т. е. примерно на 0,8 %. При этом показатель 2025 г. остается близким к уровню 2023 г., что свидетельствует о стабилизации грузовой транспортной деятельности после резких изменений предыдущих лет. Одновременно наблюдается положительная динамика пассажирооборота. В 2023 г. данный показатель составлял 23,9 млрд пас·км, в 2024 г. – 25,4 млрд пас·км, а в 2025 г. достиг 27,2 млрд пас·км. Таким образом, за 2023–2025 гг. пассажирооборот увеличился приблизительно на 13,8 %. В 2025 г. рост составил 107,1 % к предыдущему году. Такая динамика показывает, что транспортная система развивается неоднородно: грузовой сегмент характеризуется относительной стабилизацией, тогда как пассажирские перевозки демонстрируют более выраженное восстановление и рост [2].

Изменение транспортных потоков непосредственно влияет на организацию таможенного контроля. При росте объемов перевозок увеличение количества контрольных мероприятий без применения современных методов отбора товаров может привести к увеличению времени нахождения транспортных средств в пунктах пропуска. Поэтому одной из основных задач таможенного регулирования становится обеспечение необходимого уровня контроля при одновременном сокращении времени совершения таможенных операций.

Особую роль в решении данной задачи играет система управления рисками. Ее применение позволяет распределять контрольные ресурсы в зависимости от вероятности нарушения таможенного законодательства. Транспортные средства и товары с признаками повышенного риска могут подвергаться более детальному контролю, тогда как в отношении добросовестных участников внешнеэкономической деятельности возможно применение упрощенных процедур. Такой механизм позволяет одновременно учитывать интересы экономической безопасности и необходимость сохранения пропускной способности транспортных коридоров.

Существенной угрозой экономической безопасности остаются незаконное перемещение товаров, недостоверное декларирование, занижение таможенной стоимости и использование документов, содержащих ложные сведения.

Важным направлением совершенствования является цифровизация таможенных процедур. Использование предварительной информации, электронных документов и автоматизированного анализа данных позволяет выявлять потенциально рискованные перевозки до прибытия транспортного средства в пункт пропуска. Евразийская экономическая комиссия (ЕЭК) рассматривает цифровиза-

цию таможенного администрирования и совершенствование механизмов перемещения товаров как одно из направлений развития таможенного регулирования ЕАЭС [3]. В частности, в 2025 г. в ЕЭК обсуждалось совершенствование порядка перемещения контейнеров через таможенную границу Союза, что непосредственно связано с повышением эффективности транспортно-логистических процессов.

Для Республики Беларусь перспективным является дальнейшее объединение информационных ресурсов, используемых при контроле транспортных потоков. Сопоставление сведений о товаре, перевозчике, отправителе, получателе, маршруте и транспортном средстве способно повысить эффективность выявления подозрительных операций. При этом цифровой контроль должен дополняться физическими формами таможенного контроля в тех случаях, когда автоматизированный анализ выявляет соответствующие риски.

Отдельного внимания требует развитие предварительного информирования. Получение сведений о перевозке до прибытия товара позволяет таможенному органу заранее оценить возможные риски и определить необходимые контрольные мероприятия. В результате время фактического нахождения транспортного средства в пункте пропуска может сокращаться. Для транспортной системы это имеет экономическое значение, поскольку уменьшение простоев способствует снижению совокупных логистических затрат. Еще одним фактором является международное сотрудничество таможенных органов. Современные транспортные потоки имеют трансграничный характер, поэтому информация о перемещении одного товара может формироваться сразу в нескольких государствах. Обмен информацией между таможенными администрациями позволяет сопоставлять сведения о товаре и маршруте, выявлять несоответствия и повышать вероятность обнаружения незаконных операций.

Проведенный анализ позволяет сделать вывод, что таможенное регулирование является не вспомогательным, а непосредственным элементом обеспечения экономической безопасности транспортной системы Республики Беларусь. Статистические данные за 2021–2025 гг. показывают существенные колебания грузооборота: после снижения в 2022–2023 гг. произошло восстановление в 2024 г., а в 2025 г. показатель стабилизировался на уровне 72,3 млрд т·км.

В этих условиях повышение эффективности таможенного регулирования должно осуществляться за счет сочетания управления рисками, предварительного информирования, цифрового обмена данными и международного сотрудничества. Такой подход позволяет сократить избыточные контрольные процедуры, сохранить необходимый уровень защиты экономических интересов государства и одновременно создать более благоприятные условия для законного перемещения товаров.

Список литературы

1 О таможенном регулировании в Республике Беларусь : Закон Респ. Беларусь от 10 янв. 2014 г. № 129-З : в ред. Закона Респ. Беларусь от 16 марта 2026 г. № 134-З // ЭТАЛОН : информ.-поисковая система (дата обращения: 22.09.2026).

2 Евразийская экономическая комиссия. Статистика Евразийского экономического союза : стат. сб. – М., 2026. – URL: https://eec.eaeunion.org/upload/iblock/534/l0rqi9mczi8szg90pykn2486d8z3dlqj/Sbornik_karman_2026.pdf (дата обращения: 22.09.2026).

3 В Евразийской экономической комиссии обсудили вопросы совершенствования таможенного регулирования в ЕАЭС // Евразийская экономическая комиссия. – URL: https://eec.eaeunion.org/news/v-eek-obsudili-voprosy-sovershenstvovaniya-tamozhennogo-regulirovaniya-v-eaes/ (дата обращения: 22.09.2026).

УДК 338.45:656.225

СТРАТЕГИЯ РАЗВИТИЯ ПАРКА ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ДЛЯ КОНТЕЙНЕРНЫХ ПЕРЕВОЗОК

Н. А. КЕКИШ
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Выбор стратегии развития парка подвижного состава является неотъемлемой частью комплексной стратегии контейнеризации перевозок на Белорусской железной дороге (БЖД). Эта стратегия определяет как техническую возможность существенного повышения уровня контейнеризации пе-

ревозок, так и экономические параметры, напрямую влияющие на устойчивость бизнес-модели мультимодальной транспортировки и экономическую безопасность контейнерной транспортной системы страны. Развитие парка подвижного состава для контейнерных перевозок должно основываться на следующих принципах:

– обеспечение замещения выбывающего из эксплуатации существующего специализированного подвижного состава, предназначенного для перевозки контейнеров;

– корреляция структуры вагонного парка по родам подвижного состава и темпов контейнеризации грузопотока;

– формирование общей структуры вагонного парка по родам подвижного состава в зависимости от организационного фактора (маршрутизированный и немаршрутизированный грузопоток);

– приоритетное пополнение парка подвижного состава перевозчика специализированными многофункциональными вагонами (контейнерно-лесовозные платформы, контрейлерные платформы со складными фитингами), которые могут быть использованы как для перевозки контейнеров, так и для перевозки других массовых грузов с различной степенью контейнеропригодности: круглый лес, пакетированные пиломатериалы, штучные строительные грузы, автотракторная техника, трубы и другая продукция металлургической промышленности, габаритные пакетированные грузы.

Далее по тексту фитинговые платформы и специализированные многофункциональные вагоны, предназначенные в том числе для перевозки контейнеров, сокращенно обозначаются СВПК (специализированные вагоны для перевозки контейнеров).

Под общим парком в контексте комплексной стратегии развития контейнерных перевозок понимается общее количество вагонов всех родов, которые доступны грузовладельцам Республики Беларусь для осуществления внутриреспубликанских и экспортно-импортных перевозок. Это вагоны, находящиеся в собственности или оперативном управлении перевозчиков, грузовладельцев, операторских компаний (как белорусских, так и иностранных). Управляющее воздействие по регулированию размеров и структуры части общего вагонного парка, находящейся в собственности БЖД, может осуществляться непосредственно, оставшейся части – через комплекс мер государственного регулирования, прежде всего, экономических: тарифы, лицензирование деятельности операторских компаний.

Целевая структура вагонного парка определяется по трем признакам:

– род вагона и доля вагонов этого рода в общем парке;

– принадлежность вагона (БЖД, грузовладельцы, операторы);

– организационный признак характера обращения вагона.

Целевая структура вагонного парка при контейнеризации грузопотока представлена в таблице 1.

Таблица 1 – **Целевая структура вагонного парка при контейнеризации грузопотока**

Род вагона	Организационный признак	Принадлежность вагона
Все, кроме СВПК	Маршрутизированные перевозки	Грузовладельцы, операторы
	Немаршрутизированные перевозки	Грузовладельцы, операторы
СВПК	Маршрутизированные перевозки	БЖД, грузовладельцы, операторы
	Немаршрутизированные перевозки	БЖД

Данная целевая структура вагонного парка (концентрация СВПК у БЖД) стимулирует повышение уровня контейнеризации перевозок мелких и средних партий грузов широкой номенклатуры, сохраняет возможность предоставления БЖД специализированных платформ под перевозки грузов с низкой контейнеропригодностью (автотракторная техника, металлопродукция, круглый лес) маршрутными и повагонными отправками с перспективой гибкого управления загрузкой в обратном направлении контейнерными и неконтейнерными грузами. Весь остальной парк вагонов (кроме СВПК) находится в руках грузовладельцев и операторов.

Целевая структура вагонного парка БЖД в виде 100 % СВПК позволяет создать пул вагонов с максимально простой и унифицированной системой технической и коммерческой эксплуатации, универсальных для широкой номенклатуры грузов, с хорошо прогнозируемой потребностью даже при существенном изменении структуры грузопотока в любом из направлений следования.

Приведение существующей структуры вагонного парка БЖД к целевой необходимо производить поэтапно по следующим направлениям:

– приобретение вагонов СВПК взамен выбывающих из эксплуатации вагонов всех родов;

– приобретение вагонов СВПК за счет продажи имеющихся в парке вагонов других родов другим собственникам (грузовладельцам, операторским компаниям).

При приобретении вагонов СВПК приоритет следует отдавать специализированным многофункциональным вагонам, в связи с более широкой номенклатурой грузов, для которых их можно потенциально использовать.

Вопрос о целесообразности приоритетного приобретения инновационных фитинговых платформ должен решаться на основании дополнительного технико-экономического обоснования.

Важнейшим направлением стратегического развития вагонного парка для контейнерных перевозок является стимулирование разработок новых моделей подвижного состава и их производства на белорусских предприятиях, а также соответствующее развитие производства сопутствующей продукции (запасные части, вагонные вкладыши) и вспомогательных сервисов (ремонт, диагностика, очистка, переоборудование и модернизация подвижного состава), в том числе в рамках программ частно-государственного партнерства.

В качестве перспективного направления развития вагонного парка следует предусмотреть приобретение, а также самостоятельное проектирование и производство низкорамных фитинговых платформ колодцевого типа для двухъярусной перевозки контейнеров [1]. Кроме двухъярусной перевозки, данные платформы могут эффективно использоваться для одноярусной перевозки грузов в контейнерах открытого типа для устранения или снижения верхних и боковых степеней негабаритности, а также для перевозок автотракторной техники и контрейлерных перевозок.

Развитие парка тягового подвижного состава при повышении уровня контейнеризации перевозок должно осуществляться с учетом следующих основных факторов:

– электрификация сети (пропорция между электровозами и тепловозами в парке магистральных локомотивов);

– доля контейнерных поездов в общем объеме поездопотока;

– средняя масса и длина формируемых контейнерных поездов.

Стратегическим направлением обновления парка тягового подвижного состава при повышении уровня контейнеризации перевозок должно стать приобретение секционных локомотивов с двумя кабинами в каждой секции, оборудованных системами СМЕТ и системами связи и управления для применения технологии «виртуальная сцепка» [2]. Данное техническое решение позволит гибко формировать сцепки секций для поездов разной массы и длины, эффективно использовать мощность локомотивов, строить адаптивные сетевые схемы оборота локомотивов и бригад, минимизирующие их потребное количество и порожние пробеги.

Список литературы

1 **Канатбаев, Т. А.** Оценка применимости колодцеобразной платформы ВР-70 для организации двухъярусных контейнерных поездов на транзитных коридорах железных дорог Казахстана / Т. А. Канатбаев, А. Ж. Азамат // Вестник Института проблем естественных монополий: Техника железных дорог. – 2026. – № 2 (74). – С. 28–35.

2 **Осипов, А. П.** Виртуальная сцепка. Подходы и реализация / А. П. Осипов, Д. А. Медведев // Известия Транссиба. – 2024. – № 1 (57). – С. 53–62.

УДК 338.47: 330.45: 656.07

АНАЛИЗ РИСКОВ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНОЙ ОТРАСЛИ ПРИ ВНЕДРЕНИИ ЦИФРОВЫХ ПРОЕКТОВ

О. В. КОРИШЕВА

Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва

Тенденция развития цифровизации в разных сферах и отраслях рыночной экономики, а также во многих социальных, финансовых и иных вопросах в жизни государства и человека существует уже порядка десяти лет в достаточно активной фазе и продолжается сейчас. Однако, как показывают примеры внедрения различных цифровых проектов, не все они приносят достаточные положительные эффекты при одновременном формировании рисков негативных последствий и новых угроз

в разных процессах. Особенно внимательно данный фактор должен рассматриваться в транспортной отрасли, поскольку именно транспорт является одним из гарантов и условий устойчивого развития всей экономики и различных отраслей, прямо и косвенно способствует увеличению ВВП страны, формирует значительный внетранспортный эффект и непосредственно участвует в обеспечении социально-экономической стабильности. Проблемы и риски, связанные с внедрением цифровизации, могут оказать негативное влияние не только на внутренние процессы отрасли, но и на деятельность предприятий-грузоотправителей, конечных покупателей, пассажиров, операторов подвижного состава, других участников перевозочного процесса, а в последствии и на работу целых отраслей и регионов. Это обосновывает актуальность задачи анализа и управления рисками при внедрении цифровых проектов на транспорте для обеспечения его устойчивого развития.

Устойчивое развитие «должно сопровождаться повышением эффективности экономики, качества управления, разумным использованием новых технологий, сохранением социальной стабильности. Нарушение баланса элементов экономической системы будет провоцировать ее неустойчивое и небезопасное состояние, что не позволит осуществить и должное развитие. Устойчивое развитие, наоборот, должно позволить снизить вероятность угроз и их количество» [2]. По мнению Ю. П. Анисимова и Ю. В. Журавлева, «устойчивость проявляется как свойство экономической системы искать варианты самосохранения в результате осуществления процесса развития, которым система же и управляет» [1]. Соответственно, для обеспечения устойчивого развития транспорта и всей экономической системы необходимо применять риск-ориентированный подход при внедрении цифровых проектов и реализовывать превентивные меры по выявлению и нейтрализации всех возможных рисков и угроз, влекущих за собой не только финансовые ущербы, но и снижение уровня безопасности критически важной инфраструктуры и различные последствия в социальной сфере.

Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года, утвержденная распоряжением Правительства РФ от 27 ноября 2021 г. № 3363-р, предусматривает реализацию следующих долгосрочных целей развития транспортной системы до 2030 года и на прогнозный период до 2035 года:

– повышение пространственной связанности и транспортной доступности территорий;

– повышение мобильности населения и развитие внутреннего туризма;

– увеличение объема и скорости доставки грузов, в том числе транзитных, и развитие мультимодальных логистических технологий;

– цифровая и низкоуглеродная трансформация отрасли и ускоренное внедрение новых технологий [4].

Следует отметить, что первая задача является важнейшей и первостепенной к реализации, поскольку без инфраструктурной обеспеченности и наличия высокотехнологичных транспортных средств на всей территории России невозможно добиться пространственной связанности, что является ключевым условием для устойчивого развития экономики, ее субъектов, а также для возможности реализации других долгосрочных целей развития транспортной системы, включая цифровую трансформацию. В связи с этим акцентированное выражение из четвертой цели «ускоренное внедрение» следует добавлять и к первой цели.

В Стратегическом направлении в области цифровой трансформации транспортной отрасли Российской Федерации до 2030 года, утвержденном распоряжением Правительства РФ от 21 декабря 2021 г. № 3744-р, устанавливаются ключевые инициативы и проекты для достижения цифровой трансформации транспортного комплекса [5]. Инициативами являются «Беспилотные логистические коридоры», «Автономное судовождение», «Беспилотная аэродоставка грузов». При рассмотрении данных проектов следует изучать не только декларируемые положительные эффекты от их внедрения, но и «множество рисков, которые требуется оценивать, анализировать и минимизировать с учетом превентивного характера, а не устранять последствия ущербов от реализации рисков постфактум» [3]. Анализ данного документа позволил сделать вывод о наличии 5 ключевых групп рисков от внедрения цифровых проектов на транспорте, которые представлены в таблице 1.

Таблица 1 – **Риски и угрозы от внедрения цифровых проектов в транспортной отрасли**

Группа	Риски
Риски информационной безопасности	Риски утечки данных, низкого уровня информационной безопасности. Риски хакерских атак: кибератаки на критически важную инфраструктуру; вредоносное программное обеспечение; атаки на сетевую инфраструктуру; мошеннические действия в отношении сотрудников транспортных предприятий с использованием компьютерных программ. Зависимость от иностранного ПО и оборудования. Риски экономических преступлений через электронное искажение данных (нет подтверждения на бумаге и иных носителях)
Социальные риски	Рост безработицы, снижение уровня доходов населения. Умственная деградация из-за вытеснения функций человека машинами. Ущемление прав гражданина из-за отсутствия альтернатив цифровых сервисов. Неравномерность развития транспорта по регионам, снижение степени безопасности движения. Повышение аварийности на транспорте по причине цифровых сбоев и ошибок. Риски утечки персональных данных и их использования мошенниками в противоправных целях. Недостаток квалифицированных специалистов
Стратегические и управленческие риски	Уязвимость единых центров управления и контроля с позиции безопасности всего транспортного комплекса. Риски неэффективного управления. Инфраструктурная неготовность к внедрению цифровых проектов. Разобщенность участников перевозочного процесса при внедрении и использовании цифровых решений (например, несовершенства при внедрении реестра грузовых автотранспортных перевозчиков или переход на ГИС ЭПД). Несвоевременное законодательное регулирование при внедрении новых цифровых проектов на транспорте
Финансовые риски	Риски крупных финансовых ущербов при сбоях в работе и хакерских атаках. Стагнация экономики при усилении рисков и реализации угроз от цифровизации. Инвестиционные риски при внедрении цифровых проектов. Кредитный риск и процентный риск. Недостаток финансирования капиталоемких первоочередных инфраструктурных проектов
Макроэкономические риски	Неравномерное развитие территорий и транспорта: концентрация усилий развития транспортного комплекса в центральном округе и крупных городах при отсутствии достаточного развития транспорта в более мелких населенных пунктах, риски износа транспортной инфраструктуры, медленное и неравномерное строительство инфраструктуры, риски неэффективного и неравномерного развития регионов страны. Недостаточно быстрая реализация импортозамещения. Сдерживание экономического роста из-за транспортных ограничений. Снижение важнейших показателей социально-экономического развития

Таким образом, в условиях масштабной цифровизации транспортной отрасли следует применять риск-ориентированный и превентивный подход при внедрении цифровых проектов для защиты от различных угроз и опасностей, так как последствия их реализации могут негативно отразиться не только на устойчивом развитии транспортной отрасли, но и всей экономики.

Список литературы

1 **Анисимов, Ю. П.** Управление устойчивым развитием предприятия на основе инноваций и интерпартнерства / Ю. П. Анисимов, Ю. В. Журавлев, Г. Д. Черткова, А. В. Соломка. – Воронеж : Воронеж. гос. технол. акад., 2006. – 403 с.

2 **Кожевников, Р. А.** Экономическая безопасность транспорта в процессе цифровой трансформации экономики / Р. А. Кожевников, О. В. Коришева // Цифровая трансформация в экономике транспортного комплекса. Развитие цифровых экосистем: наука, практика, образование : материалы II междунар. науч.-практ. конф. – М. : РУТ (МИИТ) 2020. – С. 162–168.

3 **Коришева, О. В.** Риски и угрозы экономической безопасности от внедрения цифровых проектов в транспортной отрасли: анализ и перспективы / О. В. Коришева // Вклад транспорта в национальную экономическую безопасность : тр. VIII Междунар. науч.-практ. конф. – М. : Дашков и К, 2023. – С. 138–143.

4 Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года : утв. распоряжением Правительства РФ от 27 нояб. 2021 г. № 3363-р // М-во трансп. Российской Федерации. – URL: https://mintrans.gov.ru/file/473193 (дата обращения: 12.09.2026).

5 Стратегическое направление в области цифровой трансформации транспортной отрасли Российской Федерации до 2030 года : утв. распоряжением Правительства РФ от 21 дек. 2021 г. № 3744-р. – URL: https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/403211610/. (дата обращения: 12.09.2026).

УДК 657.6:658.15

ПЕРЕХОД ОТ ФИСКАЛЬНОЙ К АНАЛИТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОТЧЕТНОСТИ: НОВЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ДЕТАЛИЗАЦИИ ФИНАНСОВЫХ ПОТОКОВ

А. В. КРАВЧЕНКО
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Традиционная система финансового учета и формирования отчетности на протяжении десятилетий развивалась в логике фискальной приверженности. Ее доминирующая цель сводилась к фиксации фактов хозяйственной деятельности в строгом соответствии с национальными бухгалтерскими стандартами, законодательными актами, расчету налогооблагаемой базы и удовлетворению информационных запросов контролирующих органов и управления [1, с. 712). В этой парадигме отчетность носит преимущественно ретроспективный характер: она фиксирует свершившиеся события с задержкой в недели и месяцы, оперируя методом начисления.

Однако в условиях динамично меняющейся экономической среды, логистических цепей, быстрой сменяемости требований потребителей, экономической среды она утратила достаточную управленческую полезность. Предприятие может демонстрировать устойчивый рост выручки и положительную чистую прибыль в Отчете о прибылях и убытках, но при этом стремительно приближаться к банкротству из-за неконтролируемого накопления просроченной дебиторской задолженности, затоваривания складов, роста обязательств и реального отсутствия платежеспособности. В связи с этим возникает объективная необходимость перехода к аналитической модели отчетности, в которой представляются сегментированные денежные потоки [2, с. 7].

Аналитическая модель не отменяет обязательных регламентированных форм, а надстраивает над ними многомерную систему данных, ориентированную на заинтересованные стороны. Сравнительный подход приведен на рисунке 1.

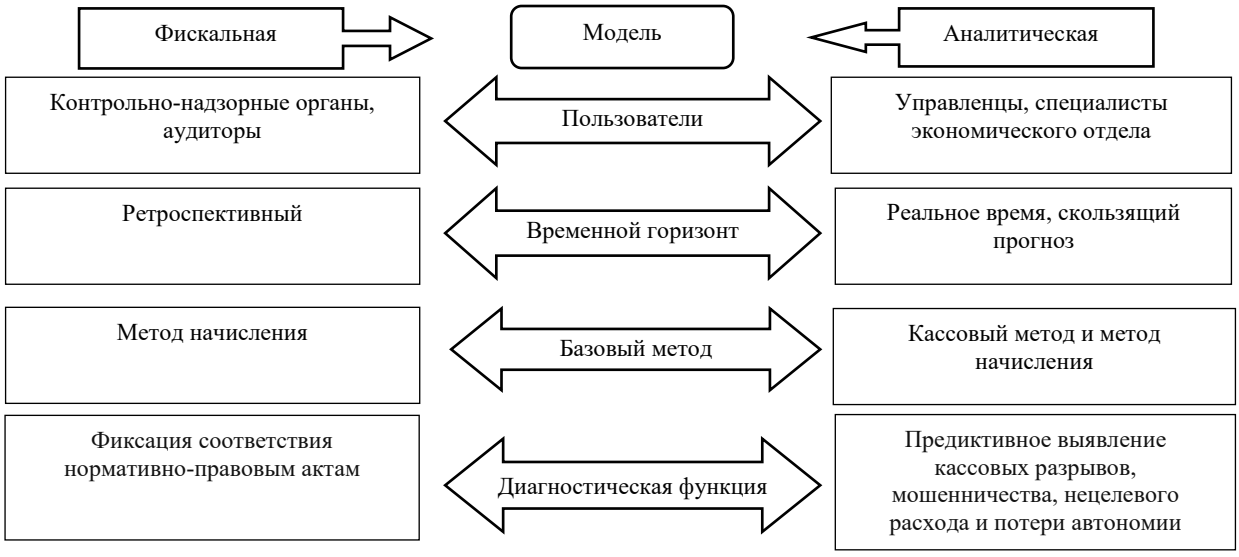


Рисунок 1 – Сравнительный анализ фискальной и аналитической модели

Отчет о движении денежных средств в рамках аналитической парадигмы претерпевает наиболее существенные структурные изменения. Стандартного деления на текущую, инвестиционную и финансовую деятельность становится недостаточно. Современная система управления требует развертывания денежных потоков как минимум по четырем аналитическим срезам:

1 Контрактно-целевая детализация. Каждая транзакция привязывается к конкретному объекту, субъекту или коммерческому договору. Это позволяет отсечь несанкционированное перекрестное субсидирование.

2 Градация по степени операционной управляемости. В структуре выплат выделяются:

– обязательные потоки: фонд оплаты труда, налоги, поддержание непрерывных технологических циклов;

– дискреционные (регулируемые) потоки: авансирование новых программ развития, консульта-

ционные услуги, модернизация инфраструктуры, выплаты премий, дивиденды.

При возникновении внешних шоков система автоматически моделирует сценарий секвестра именно дискреционных платежей без остановки базовых процессов предприятия.

3 Сегментация дебиторского притока по качеству ликвидности. Поступления классифицируются не просто как «выручка от покупателей», а структурируются по надежности источников: высоконадежные контрагенты, клиенты средней категории и высокорисковые плательщики с историей задержек, неплатежей.

4 Вскрытие «серой зоны» инвестиционных оттоков. Практика показывает, что оттоки по инвестиционной деятельности часто маскируют текущую неэффективность. Аналитическая модель требует разделения потока на поддерживающий, без которого неизбежна физическая деградация материально-технической базы, и расширяющий, направленный на прирост мощностей. Переход к детальным потоковым моделям формирует мощный защитный барьер в контуре экономической безопасности организации, предотвращая распространенные схемы злоупотреблений:

– раннее обнаружение схем вывода ликвидности: традиционный баланс отражает лишь накопленные остатки, тогда как сквозной аналитический мониторинг выплат фиксирует аномальное дробление сумм платежей, авансирование фирм с признаками номинальности за несколько дней до закрытия отчетного периода, а также фиктивные внутригрупповые займы;

– исключение искусственного «раздувания» операционного потока: в регламентированном учете операции краткосрочного кредитования (овердрафты, факторинг) могут отражаться таким образом, что создается видимость органического притока денег от клиентов. Аналитический регистр жестко разделяет выручку от покупателей и заемные суррогаты;

– мониторинг кассовых разрывов на опережение: переход на скользящий платежный календарь трансформирует пассивную констатацию дефицита денег в активное превентивное маневрирование лимитами и графиками платежей.

Переход от фискальной к аналитической модели отчетности – это не локальное изменение учетных форм, а фундаментальная смена управленческой философии компании. В условиях современных макроэкономических вызовов способность организации выживать и развиваться определяется не абстрактной величиной балансовой прибыли, а жестким, прозрачным и детализированным контролем движения реальных финансовых потоков [3, с. 852]. Внедрение детализированных регистров денежных потоков, разграничение платежей по факторам риска и внедрение предиктивных инструментов казначейского анализа позволяют превратить финансовую отчетность из запоздалого отчета перед налоговыми органами в действенный навигационный прибор, обеспечивающий стратегическую устойчивость и экономический суверенитет субъекта хозяйствования.

Список литературы

1 **Бригхэм, Ю.** Финансовый менеджмент: Аналитический курс / Ю. Бригхэм, М. Эрхардт. – 10-е изд. – СПб. : Питер, 2021. – 960 с.

2 **Ефимова, О. В.** Корпоративная отчетность в парадигме устойчивого развития: трансформация учетно-аналитических систем / О. В. Ефимова // Учет. Анализ. Аудит. – 2022. – Т. 9, № 4. – С. 6–18.

3 **Когденко, В. Г.** Анализ денежных потоков: методология, практические аспекты, взаимосвязь с оценкой стоимости бизнеса / В. Г. Когденко // Экономический анализ: теория и практика. – 2020. – Т. 19, № 5. – С. 832–855.

УДК 656.01

КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ПОДХОДЫ К РАЗВИТИЮ ЕДИНОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

П. В. КУРЕНКОВ, Д. Р. БОКОВНЯ, А. П. ИВАНОВ
Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва

Ключевым элементом экономического развития страны является транспортная система. Её эффективность непосредственно влияет на различные сферы государства. Для повышения конкурентоспособности экономики, развития международных транспортных коридоров, устойчивости цепей

поставок и повышения мобильности населения необходима консолидация и интеграция всех видов транспорта.

Для разностороннего прогресса транспортной системы и повышения экономических показателей отрасли существует несколько ключевых направлений развития. Одним из стратегически важных векторов является модернизация. При модернизации необходимо уделить особое внимание слаженному взаимодействию между различными видами транспорта.

При создании новых и реконструкции существующих транспортных объектов важно учитывать факторы, которые способствуют увеличению пропускной способности и устранению узких мест, что позволит оптимизировать работу транспортных узлов и превратить их в мультимодальные системы.

Для формирования мультимодальных узлов необходимо обеспечить интеграцию различных видов транспорта. Для того, чтобы создать единую систему, где все перевозочные процессы оптимизированы, требуется учёт большого количества факторов.

В сфере грузоперевозок и пассажирских перевозок необходимо создание единого документооборота, согласование графиков движения, развитие мультимодальных узлов и автоматизация перевозочных процессов.

При формировании единой транспортной сети необходимо учитывать географические особенности каждого региона. Так, если в Арктике основой перевозочного процесса является водный и воздушный транспорт, то для крупных агломераций ключевой потребностью является развитие общественного транспорта. В регионах, обладающих большим количеством протяженных речных бассейнов, необходимо сконцентрироваться на консолидации вокруг внутреннего водного транспорта и создании мультимодальных терминалов, основой которых будет движение грузов и пассажиров по водным артериям.

Также особое внимание целесообразно уделить процессам цифровизации и технологического суверенитета государства. Цифровизация позволяет оптимизировать и повысить эффективность всех транспортных процессов. Применение современных интеллектуальных технологий помогает всем участникам перевозочного процесса снизить транспортные расходы, контролировать состояние инфраструктуры и прогнозировать дальнейший вектор развития отрасли. Важной сферой цифровизации в последние годы стала стремительно растущая сфера беспилотных технологий. Они позволят снизить нагрузку на работников сферы и устранить существующий дефицит кадров рабочих специальностей.

Внедрение новых технологий в транспортные процессы кардинально изменит кадровую структуру. Для обеспечения качественного функционирования логистических процессов потребуются специалисты, которые смогут управлять транспортной системой в рамках стремительно растущей цифровизации.

Также изменения в кадровых приоритетах должны повлиять на развитие отечественных систем в сфере транспорта, интеллектуальных технологий и автоматизации, что позволит повысить технологический и цифровой суверенитет государства.

Немаловажной концепцией развития транспортной системы является снижение экологической нагрузки. При реструктуризации и модернизации системы необходимо использовать методы и технологии, которые не будут негативно влиять на окружающую среду.

Таким образом, перспективная транспортная система Российской Федерации должна формироваться как единый мультимодальный, цифровой и технологически независимый комплекс. Ее развитие предполагает модернизацию инфраструктуры, создание мультимодальных узлов, интеграцию различных видов транспорта, цифровизацию управления и постепенное внедрение автономных технологий.

Региональный подход позволяет учитывать особенности различных территорий, а развитие цифровых и автоматизированных решений – повышать эффективность и устойчивость перевозок. Комплексное развитие указанных направлений создает основу для повышения транспортной связанности России, устойчивости логистических цепей и конкурентоспособности национальной экономики.

УДК 336.658:656(476)

ФИНАНСОВАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ТРАНСПОРТНОГО СЕКТОРА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ: КЛЮЧЕВЫЕ ИНДИКАТОРЫ И ПОРОГИ УСТОЙЧИВОСТИ

Е. В. КУРЬЯН
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Транспортный комплекс занимает особое место в экономике Республики Беларусь, решает сложные экономические и социальные задачи. Транспорт выполняет не только внутренние логистические операции, но и предоставляет евразийский транзитный коридор между Европейским союзом, Российской Федерацией и странами Азии.

Транспортный сектор обеспечивает значительную долю валютных поступлений от экспорта услуг и характеризуется высокой капиталоемкостью, длительной оборачиваемостью вложенного капитала и зависимостью финансовых результатов от внешнеэкономической конъюнктуры. В связи с этим устойчивость финансового состояния транспортных организаций необходимо оценивать комплексно, в системе количественных индикаторов и пороговых значений, отклонение от которых сигнализирует о нарастании угроз финансовой безопасности.

Под пороговым значением индикатора финансовой безопасности следует понимать предельную количественную величину показателя, несоблюдение которой означает переход от безопасного состояния объекта к опасному, кризисному.

К ключевым индикаторам финансовой безопасности транспортной отрасли Беларуси целесообразно отнести показатели четырех групп. Первая группа – показатели прибыльности и рентабельности: рентабельность продаж транспортных организаций, динамика чистой прибыли отрасли. По данным исследований, в 2024 г. чистая прибыль транспортных организаций возросла примерно на 23 %, а в 2022 г. снизилась на 58 %, что говорит о высокой чувствительности отрасли к внешнему воздействию. Рентабельность продаж в 2024 г. составила по транспортной отрасли 9,9 %, а средний уровень рентабельности продаж по экономике в целом в 2024 г. оценивался на уровне 7,1%, в 2025 г. – на уровне немногим более 6 %, что можно рассматривать как ориентировочный нижний порог устойчивости для транспортных организаций [2].

Вторая группа – показатели платежеспособности и ликвидности: коэффициент текущей ликвидности и коэффициент обеспеченности собственными оборотными средствами, а также доля просроченной кредиторской и дебиторской задолженности в общем объеме обязательств. В 2024 г. значения данных коэффициентов по транспортной отрасли составляли соответственно 1,157 и 0,136, в 2025 г. соответственно 1,028 и 0,028. Доля просроченной кредиторской и дебиторской задолженности по транспортной отрасли в 2025 г. соответственно составила 11,5 и 8,8 %, в целом по стране – на уровне 10–11 % [2].

Третья группа индикаторов связана с воспроизводством основных средств транспорта: степень износа основных средств, в первую очередь подвижного состава и инфраструктуры (критическим считается превышение порога в 50–60 %). По данным отраслевых исследований, в 2024 г. доля накопленной амортизации в стоимости основных средств по транспортной отрасли была на уровне 55 % [3]. В данную группу индикаторов следует отнести также показатель доли инвестиций в обновление основных средств транспорта в общем объеме инвестиций в основной капитал. Учитывая капиталоемкость отрасли, снижение инвестиционной активности ниже порогового уровня напрямую угрожает финансовой устойчивости в среднесрочной перспективе за счет роста эксплуатационных расходов и аварийности изношенной техники.

Четвертая группа – внешнеэкономические индикаторы, специфичные для транзитного государства, такие как сальдо внешней торговли транспортными услугами, динамика грузо- и пассажирооборота. Так, по данным Национального статистического комитета, грузооборот транспорта в 2025 г. составил 72 342 млн т·км, или 97,7 % к 2024 г., тогда как пассажирооборот вырос до 28 312 млн пас·км (106,8 %), что отражает разнонаправленную динамику грузового и пассажирского сегментов и необходимость раздельного мониторинга их устойчивости [1].

Практическое значение системы пороговых значений заключается в том, что она позволяет перейти от выявления отдельных финансовых проблем транспортных организаций к раннему диагностированию системных рисков. Приближение фактических значений индикаторов к пороговым (например, снижение рентабельности продаж ниже 5 %, рост степени износа основных средств вы-

ше 55 %, сокращение грузооборота при одновременном росте просроченной задолженности) должно рассматриваться как сигнал для принятия корректирующих мер на уровне министерства и отдельных организаций. При этом важно учитывать не единичное превышение порога по одному показателю, а комплексную динамику индикаторов всех четырех групп, так как ухудшение отдельного показателя может носить временный характер и не свидетельствовать об угрозе финансовой безопасности сектора в целом.

Обобщенное представление о предлагаемой системе индикаторов и их пороговых значениях для транспортного сектора Республики Беларусь приведено в таблице 1.

Таблица 1 – **Рекомендуемые индикаторы и пороговые значения финансовой безопасности транспортной отрасли**

Группа индикаторов	Показатель	Пороговое значение, %
Прибыльность и рентабельность	Рентабельность продаж	Не менее 6–7
	Темп прироста чистой прибыли к предыдущему году	Не менее 10
Платежеспособность и ликвидность	Коэффициент текущей ликвидности	Не менее 1,15
	Коэффициент обеспеченности собственными оборотными средствами	Не менее 0,1
	Доля просроченной кредиторской и дебиторской задолженности	Не более 5–10
Воспроизводство основных средств	Доля накопленной амортизации в стоимости основных средств	Не более 50–60
	Доля инвестиций в обновление основных средств транспорта	Не менее 25–30
Внешнеэкономические индикаторы	Сальдо внешней торговли транспортными услугами	Положительное, прирост не менее 3–5 в год
	Индекс грузо- и пассажирооборота к предыдущему году	Не ниже 0,95

В качестве мер повышения устойчивости транспортной отрасли на основе индикативного подхода можно предложить следующие направления: закрепление отраслевых пороговых значений финансовых индикаторов транспорта; организация регулярного их мониторинга (не реже одного раза в квартал); приоритетное направление инвестиций на обновление наиболее изношенных сегментов основных средств. При этом целесообразно учитывать различия в пороговых значениях индикаторов для отдельных видов транспорта.

Внедрение предлагаемой системы индикаторов и пороговых значений целесообразно осуществлять поэтапно: на первом этапе – утверждение перечня индикаторов и их пороговых значений по видам транспорта; на втором этапе – организация систематического сбора и публикация данных мониторинга в разрезе отдельных транспортных организаций и отрасли в целом; на третьем этапе – оценка последствий выявленных угроз, разработка и принятие системы управленческих решений по их нейтрализации.

Таким образом, обеспечение финансовой безопасности транспортной отрасли Республики Беларусь требует перехода от общих оценок финансового состояния отрасли к системному индикативному подходу. Такой подход позволит своевременно выявлять признаки нарастания угроз и обеспечивать устойчивое развитие транспортного сектора как значимого элемента экономической безопасности государства.

Список литературы

1 Беларусь в цифрах. – Минск, 2026. – URL: https://www.belstat.gov.by/upload/iblock/66c/ 9w6xi4zqn1lqebv04kh6lyw 7q65pz7vi.pdf. (дата обращения: 05.09.2026).

2 Статистический ежегодник Республики Беларусь, 2025. – Минск, 2025. – URL: https://www.belstat.gov.by/upload/iblock/ 9be/bw58kf25iyvf50lhg5ggffbiroi4haqa.pdf. (дата обращения: 05.09.2026).

3 Финансы Республики Беларусь. – Минск, 2024. – URL: https://www.belstat.gov.by/upload/iblock/f67/ r12y69sck02cgcu210 rsgntz3o5umbqi.pdf. (дата обращения: 05.09.2026).

УДК 336.663

ФОРМИРОВАНИЕ МЕХАНИЗМА УПРАВЛЕНИЯ ДЕБИТОРСКОЙ ЗАДОЛЖЕННОСТЬЮ ТРАНСПОРТНЫХ КОМПАНИЙ

О. В. ЛИПАТОВА
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Современные условия функционирования хозяйствующих субъектов характеризуются высокой динамичностью внешней среды, усилением конкуренции, нестабильностью финансовых рынков и изменчивостью потребительского спроса. В таких условиях особое значение приобретает обеспечение финансовой устойчивости и платёжеспособности, важным элементом которой выступает эффективное управление дебиторской задолженностью, которое связано с оптимизацией её величины и обеспечением возврата задолженности покупателями. При этом данный процесс направлен не только на ускорение оборачиваемости средств, но и на снижение финансовых рисков, связанных с неплатежами, а также на поддержание необходимого уровня ликвидности и платёжеспособности организации.

Сложившийся уровень дебиторской задолженность транспортных компаний является своеобразным макроэкономический индикатором здоровья логистической системы государства. Высокий уровень означает изъятие оборотных средств из хозяйственного оборота, что ведет к кассовым разрывам, необходимости привлечения дорогостоящих кредитных ресурсов и снижению рентабельности хозяйствования. Для железнодорожного транспорта, характеризующегося высоким уровнем капиталоемкости, значительными операционным потоками и значительным числом контрагентов, финансовые ресурсы, «замороженные» в дебиторской задолженности, являются не только источником «недофинансирования» его текущей деятельности, а и роста инвестиционной зависимости.

В связи с этим особую актуальность приобретает проблема формирования эффективного механизма управления дебиторской задолженностью, обеспечивающего баланс между увеличением объема реализации и сохранением необходимого уровня финансовой устойчивости. Отсутствие системного подхода к управлению задолженностью приводит к росту просроченных долгов, ухудшению платёжеспособности и, в конечном итоге, к снижению инвестиционной привлекательности.

Формирование рационального механизма управления дебиторской задолженностью предполагает комплексное применение методов анализа, планирования, прогнозирования и контроля, направленных на минимизацию кредитных рисков и оптимизацию сроков оборота задолженности. Существенное значение при этом имеет внедрение информационных технологий, обеспечивающих оперативный контроль расчётов, автоматизацию анализа платёжной дисциплины и повышение эффективности управленческих решений.

В общем виде механизм управления должен включать два направления, одно из которых ориентировано на управление дебиторской задолженностью до ее образования и предусматривает минимизацию исходных рисков через тщательный отбор контрагентов, разработку жёсткой, но гибкой кредитной политики и обеспечение юридической чистоты заключаемых договоров, а второе связано с управлением дебиторской задолженностью после образования, через оптимизацию и своевременную инкассацию образовавшейся задолженности путем мониторинга, активной работы с контрагентами, применения инструментов рефинансирования и эффективных процедур взыскания [1].

Таким образом предлагаемый механизм будет включать четыре ключевых этапа, каждый из которых может быть детализирован на составляющие:

1 Этап превентивного контроля или кредитного скоринга. Этот этап базируется на сегментации грузоотправителей на основе финансового состояния и дифференциации условий их оплаты, которые будут положены в основу формирования системы кредитных взаимоотношений с контрагентами.

2 Этап операционного взаимодействия, который включает в себя интеграцию автоматизированной системы управления перевозочным процессом с финансовыми модулями, использование электронного документооборота и системы раннего оповещения, которые на основании анализа задержки платежей автоматически запускают процедуру напоминания или блокировки отгрузки [2].

3 Этап аналитических исследований, основная цель которого состоит в разработке управленческих по ускорению оборачиваемости средств в расчетах и минимизации величины дебиторской задолженности.

В качестве наиболее эффективных инструментов ускорения оборачиваемости в настоящее время выступают: система скидок для клиентов, оплачивающих услуги на условиях предоплаты или в течение 3–5 дней; транспортный факторинг, использующий банковские кредиты для финансирования дебиторской задолженности, при котором банк, финансируя железной дороге перевозку, впоследствии сам работает с отсрочкой платежа дебитора и др.

4 Этап претензионной работы, представляющий собой работу с проблемной дебиторской задолженностью. На данном этапе происходит генерация претензионных и исковых заявлений, связанных с нарушением сроков оплаты, реструктуризация долгов и разработка графиков погашения задолженности в случаях их возникновения при взаимодействии со стратегическими партнерами.

Все этапы механизма управления должны быть интегрированы в существующую систему экономической безопасности субъекта хозяйствования через систему как превентивных, так и оперативных контрольно-аналитических процедур, включающих:

– ведение оперативного мониторинга и аналитического учёта возникновения и погашения задолженности;

– мониторинг финансового состояния контрагентов;

– выявление признаков недобросовестности платежной дисциплины потенциальных и фактических дебиторов;

– оперативное реагирование на изменение кредитной политики и финансового состояния контрагентов;

– реализацию мер экономического и правового воздействия на должников при возникновении просрочки, включая претензионную и исковую работу.

Таким образом, предлагаемый механизм предполагает использование принципов проактивного управления, основанного на предотвращении и минимизации угроз возникновения неоплаченной дебиторской задолженности или снижения рисков ее непогашения [3]. При этом он должен лаконично быть вписан в существующую систему финансового менеджмента и стать стратегическим приоритетом в системе взаимоотношения с контрагентами, непосредственно влияющим на экономическую безопасность предприятия. В условиях высокой кредитной нагрузки и внешних финансовых рисков внедрение данного механизма позволит:

– укрепить финансовую устойчивость железной дороги;

– высвободить из дебиторской задолженности «замороженные» в ней оборотные средства и направить их на активизацию хозяйственной деятельности или снижение кредитной задолженности;

– снизить риски образования безнадежных долгов и связанных с ними убытков;

– повысить результативность финансового планирования и т. д.

Список литературы

1 **Липатова, О. В**. Управление дебиторской задолженностью в системе повышения эффективности менеджмента субъектов хозяйствования / О. В. Липатова, Е. Ю. Черкасова // Тихомировские чтения: технологические модели и развитие систем принятия решений в перевозочном процессе : материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Гомель : БелГУТ, 2025. – С. 173– 111.

2 **Шатров, С. Л.** Управление дебиторской задолженностью в системе экономической безопасности / С. Л. Шатров, А. В. Кравченко, В. Я. Кравец // Проблемы безопасности на транспорте : материалы VII Междунар. науч.-практ. конф. – Гомель : БелГУТ, 2015. – С. 163.

3 **Шатров, С. Л.** Оценочные резервы в системе управления активами железнодорожного транспорта : монография / С. Л. Шатров, О. В. Липатова, А. В. Кравченко. – Гомель : БелГУТ, 2019. – 175 с.

УДК 338.1

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОСТЬ ВОКЗАЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ: СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ И ВЫЗОВЫ

А. В. МИТРЕНКОВА, С. Д. СУГАКО
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Экономическая безопасность и многофункциональность вокзальных комплексов – взаимосвязанные аспекты их развития в современных условиях [1]. Вокзалы трансформируются из традици-

онных транспортных узлов в многофункциональные транспортно-коммуникационные узлы, которые интегрируют транспорт, коммерцию и сервисы, влияя на экономику городов и региональную инфраструктуру. Сегодня вокзал перестает быть просто пунктом посадки и высадки пассажиров. Он превращается в крупный социально-экономический хаб (транспортно-пересадочный узел – ТПУ), интегрированный в городскую среду.

Современный вокзальный комплекс – это совокупность вокзала и прилегающей к нему территории, зданий, сооружений и других объектов, связанных с ним конструктивно, технологически или иным образом и подчинённых единому режиму управления, функционирования и развития.

Переход от монофункционального транспортного объекта к многофункциональному комплексу позволяет диверсифицировать доходы и снизить зависимость от бюджетных дотаций.

Трансформация вокзалов в многофункциональные комплексы направлена на диверсификацию доходов и снижение зависимости от бюджетных субсидий или исключительно тарифной выручки от перевозок:

1 Коммерческий ритейл и общепит. Вокзалы генерируют колоссальный и стабильный пешеходный трафик. Интеграция торговых центров, фуд-кортов и супермаркетов превращает вокзал в локальный центр притяжения не только для пассажиров, но и для жителей прилегающих районов.

2 Офисные и коворкинг-пространства. Интеграция гибких офисов непосредственно на территории ТПУ востребована бизнес-туристами и специалистами, ценящими мобильность.

3 Сервисная инфраструктура. Размещение гостиниц, капсульных отелей, фитнес-центров, отделений банков и МФЦ («умный город» в миниатюре).

Экономическая безопасность вокзала – это его способность сохранять финансовую устойчивость, защищать активы, минимизировать риски убытков и бесперебойно выполнять свои функции в условиях внутренних и внешних угроз:

1 Внешние экономические угрозы. Колебания пассажиропотока (например, из-за пандемий, макроэкономических кризисов), изменение законодательства, санкционное давление (ограничение доступа к импортным технологиям автоматизации).

2 Внутренние риски. Неэффективное управление коммерческими площадями, высокая доля пустующих арендуемых зон, износ инфраструктуры, требующий капитальных затрат, и киберугрозы IT-системам ТПУ [3].

Главный вызов – конфликт безопасности и коммерции.

Обеспечение антитеррористической, физической и транспортной безопасности напрямую сталкивается с интересами экономической эффективности вокзала:

1 Проблема «жестких» зон досмотра. Установка массивных досмотровых зон (интроскопы, рамки металлодетекторов) на всех входах изолирует вокзал от города. Жители города перестают заходить на вокзал за покупками или в рестораны, так как не хотят тратить время на очереди и досмотр. Это резко снижает коммерческую привлекательность площадей для арендаторов.

2 Поиск компромисса. Современный подход требует перехода к безбарьерной (или скрытой) безопасности. Это использование интеллектуального видеонаблюдения с распознаванием лиц, профилирования пассажиров в потоке, датчиков опасных веществ, встроенных в элементы интерьера, что позволяет защитить объект, не снижая его коммерческий потенциал.

Для соблюдения баланса между многофункциональностью и безопасностью применяются следующие инструменты:

1 Концепция Smart Station («Умный вокзал»). Внедрение сквозных цифровых технологий (IoT-датчики для управления энергопотреблением, предиктивная аналитика ремонта оборудования, автоматизированные системы распределения потоков пассажиров). Это снижает операционные издержки (OPEX) вокзала.

2 Государственно-частное партнерство (ГЧП). Привлечение частных инвесторов к строительству и реконструкции вокзалов в обмен на долгосрочные права управления коммерческими зонами. Это снижает нагрузку на государственный бюджет.

3 Экологическая и социальная устойчивость (ESG). Использование «зеленых» технологий (солнечные батареи, энергоэффективные фасады) не только улучшает имидж, но и защищает вокзал от роста тарифов на энергоресурсы, укрепляя экономическую безопасность.

Основные вызовы современности:

1 Кибербезопасность. Чем более многофункциональным и цифровым становится вокзал (онлайн-кассы, единые системы управления ТПУ, автоматизированный ритейл), тем выше риск хакерских атак, способных парализовать как движение поездов, так и финансовые транзакции.

2 Высокая капиталоемкость модернизации. Перестройка старых советских или исторических европейских вокзалов под современные ТПУ требует гигантских инвестиций с длительным сроком окупаемости.

3 Гибкость планирования. Современные экономические циклы меняются быстро. Архитектура вокзала должна позволять легко переформатировать торговую зону в логистический пункт выдачи заказов или коворкинг, если структура спроса в городе изменится [4].

Таким образом, экономическая безопасность современного вокзала больше не сводится к банальной экономии ресурсов. Сегодня она достигается за счет диверсификации доходов через многофункциональность и внедрения интеллектуальных систем безопасности, которые защищают людей, не создавая физических барьеров для ведения бизнес.

Список литературы

1 **Апанович, Е. А.** Транспортная безопасность как условие обеспечения экономической безопасности / Е. А. Апанович // Проблемы безопасности на транспорте : материалы X Междунар. науч.-практ. конф. (Гомель, 26–27 нояб., 2020 г.) : в 5 ч. Ч. 2. – Гомель : БелГУТ, 2020. – С. 5–6.

2 **Быченко, О. Г.** Экономика железнодорожного транспорта : учеб. пособие / О. Г. Быченко, А. Ф. Сыцко. – Гомель : БелГУТ, 2017. – 223 с.

3 **Залозная, Д. В.** Потенциальные угрозы экономической безопасности на железнодорожном транспорте / Д. В. Залозная, В. С. Шевченко // Вестник науки. – 2022. – № 5 (50). – С. 92–97.

4 **Сободах, И. В.** Финансовые угрозы экономической безопасности предприятий железнодорожного транспорта / И. В. Сободах, Е. М. Забелина // Современные проблемы обеспечения экономической безопасности : материалы междунар. науч.-практ. конф. – Минск : БГУ, 2024. – С. 406–408.

5 **Якубук, Ю. П.** Направления обеспечения экономической безопасности в транспортной сфере / Ю. П. Якубук // Бизнес. Образование. Экономика : междунар. науч.-практ. конф., Минск, 6–7 апр. 2023 г. : сб. ст. / редкол. : В. В. Манкевич [и др.]. – Минск : Институт бизнеса БГУ, 2023. – С. 467–470.

УДК 338.1

МЕЖДУНАРОДНАЯ ЦЕПЬ ПОСТАВОК КАК ОБЪЕКТ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

А. В. МИТРЕНКОВА, Н. М. МЕДВЕДЕВ
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Устойчивость международных цепей поставок в современных условиях целесообразно рассматривать сквозь призму категории экономической безопасности. Под международной цепью поставок понимается упорядоченная совокупность участников логистического процесса – поставщиков, перевозчиков, экспедиторов, распределительных центров и потребителей, – взаимодействие которых обеспечивает продвижение материальных, информационных и финансовых потоков через национальные границы. В отличие от внутриреспубликанских перевозок такая цепь функционирует одновременно в нескольких нормативно-правовых средах, что объективно повышает число факторов неопределённости и расширяет перечень угроз.

Методологической базой анализа выступает теория логистических систем. Логистическая система трактуется как адаптивная структура с развитой обратной связью, выполняющая комплекс логистических функций, включающая несколько взаимосвязанных подсистем и взаимодействующая с внешней средой. К её определяющим признакам относятся адаптивность, наличие обратной связи, целостность и взаимосвязанность элементов, сложность и многоуровневость. Именно эти свойства позволяют рассматривать международную цепь поставок не как механическую сумму операций, а как единый управляемый объект, чувствительный к изменениям внешней среды.

Существенной особенностью международного уровня является то, что макрологистические системы охватывают сложную инфраструктуру национальных и международных экономических пространств. Их формирование требует учёта различий в нормативно-правовой базе стран, особенностей внешнеэкономической деятельности, специфики условий поставки, несовпадения транспортных стандартов и таможенных правил. Перечисленные факторы носят устойчивый характер, однако при введении ограничений их влияние многократно усиливается, поскольку каждая из перечисленных сфер становится источником дополнительных рисков.

Внутренней подсистемой макрологистической системы выступает транспортно-логистическая сеть, объединяющая концентрационно-распределительные пункты (терминалы, складские комплексы, распределительные центры) и соединяющие их маршруты. Устойчивое функционирование такой сети обеспечивается системным подходом, который исключает оптимизацию отдельных подсистем без учёта влияния на общий результат и предполагает управление всей цепью как единым процессом, направленным на снижение совокупных издержек. Соответственно, экономическая безопасность международной цепи поставок представляет собой состояние защищённости её участников от внешних и внутренних угроз, при котором сохраняется способность выполнять договорные обязательства по срокам, объёмам и сохранности грузов без недопустимого роста издержек.

Таким образом, международная цепь поставок является объектом экономической безопасности постольку, поскольку её устойчивость зависит не только от эффективности отдельных операций, но и от согласованности интересов всех участников, а также от способности системы адаптироваться к изменениям внешнеэкономической конъюнктуры.

Эффективность функционирования логистической системы понимается как соотношение затрат, необходимых для осуществления логистических процессов, и достигнутых результатов, либо как совокупность индикаторов, характеризующих качество её работы при определённом уровне расходования логистических ресурсов. В научной литературе выделяется группа ключевых критериев, к которым относятся: совокупные логистические затраты; уровень и качество логистического сервиса; продолжительность отдельных и интегрированных логистических циклов; отдача инвестиций, вложенных в развитие логистической инфраструктуры. Эти индикаторы образуют комплексную оценочную систему, применяемую для анализа рациональности использования производственных, материальных, финансовых и информационных ресурсов.

Отдельного внимания заслуживает взаимосвязь между уровнем сервиса и величиной издержек. Повышение качества обслуживания, как правило, сопровождается ростом затрат, поэтому одной из ключевых задач является поиск оптимального сочетания уровня логистического сервиса и суммарных издержек, обеспечивающего конкурентоспособность системы на рынке. В условиях санкционного давления этот баланс смещается: сохранение требуемого уровня надёжности становится приоритетным, а допустимый уровень издержек возрастает.

Схема доставки как структурный элемент логистической цепи характеризуется рядом параметров, определяющих её содержание и конкурентоспособность. К таким параметрам относятся транспортные расходы, включающие провозную плату и стоимость услуг по сопровождению перевозки; полный логистический цикл, охватывающий не только время перемещения груза, но и периоды накопления партий у отправителя и получателя; продолжительность операций в начальных и конечных пунктах; обеспечение сохранности груза на всех этапах движения; уровень сервисно-экспедиционного обеспечения; а также влияние схемы на логистические издержки отправителя и получателя, включая изменение уровня запасов, риски дефицита и возможные штрафные санкции [1].

Оценка эффективности и конкурентоспособности альтернативных схем доставки грузов требует применения смешанного критерия, включающего два взаимодополняющих элемента: качественный критерий, определяемый преимущественно методами экспертных оценок и позволяющий учесть параметры, которые трудно поддаются формализованному измерению, и экономический критерий, отражающий совокупные затраты и финансовую целесообразность использования конкретной схемы. Для конечного потребителя основным индикатором остаётся качество обслуживания заказа, отражающее скорость, точность, надёжность и полноту выполнения логистических операций.

Таким образом, экономическая безопасность цепи поставок может быть количественно интерпретирована как способность системы минимизировать совокупные логистические затраты при заданных требованиях к срокам и сохранности груза. Это создаёт методическую основу для последующего анализа влияния ограничений и обоснования выбора схемы доставки.

Список литературы

1 **Герами, В. Д.** Управление транспортными системами. Транспортное обеспечение логистики : учеб. и практикум для вузов / В. Д. Герами, А. В. Колик. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Юрайт, 2025. – 536 с.

УДК 338.47:656

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ: ИНДИКАТОРЫ, УГРОЗЫ И НАПРАВЛЕНИЯ УКРЕПЛЕНИЯ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Л. В. МИЩЕНКО
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Транспортная система является одним из базовых элементов национальной экономики, обеспечивающим производственные связи, товародвижение, мобильность населения и интеграцию регионов в единое экономическое пространство. В современных условиях возрастает зависимость устойчивости экономики от надежности и безопасности транспорта.

Санкционные ограничения, перестройка логистических маршрутов, волатильность цен на энергоносители, ограничение доступа к финансовым и технологическим ресурсам, а также ускоренная цифровизация формируют новые вызовы для транспортного комплекса. В связи с этим экономическая безопасность транспортных систем приобретает не узкоотраслевой, а стратегический характер, поскольку от нее зависят продовольственная, энергетическая, промышленная и внешнеэкономическая безопасность страны [1].

Под экономической безопасностью транспортной системы следует понимать такое состояние транспортного комплекса, при котором обеспечиваются устойчивое выполнение перевозок, сохранение платежеспособности и инвестиционной привлекательности предприятий, технологическая независимость, кадровая обеспеченность, киберустойчивость и способность адаптироваться к внешним и внутренним угрозам без критических потерь для экономики. Ключевыми критериями экономической безопасности выступают устойчивость, адаптивность, конкурентоспособность, инновационность, ресурсная независимость и социальная ответственность транспорта.

Внешние угрозы экономической безопасности транспортных систем включают ограничение доступа к международным рынкам капитала и страхования, запреты на поставки отдельных видов техники и комплектующих, ужесточение таможенных и транзитных процедур, изменение конъюнктуры мировых грузопотоков, рост цен на топливо и электроэнергию, а также геополитические риски. Особенно чувствительны к таким угрозам международные транспортные коридоры, пограничная инфраструктура, морские и воздушные перевозки, системы расчетов и страхования грузов. Внутренние угрозы связаны с высоким износом основных фондов, недостаточными темпами обновления подвижного состава, ограниченностью инвестиционных ресурсов, дефицитом квалифицированных кадров, низкой инновационной активностью, зависимостью от импортных технологий, киберугрозами и диспропорциями в развитии видов транспорта.

Для оценки уровня экономической безопасности транспортной системы целесообразно применять систему индикаторов, сгруппированных по нескольким блокам. Макроэкономический блок включает долю транспорта в валовом внутреннем продукте, объем грузооборота и пассажирооборота, инвестиции в основной капитал, производительность труда, энергоемкость перевозок. Производственно-технологический блок отражает степень износа инфраструктуры и подвижного состава, уровень контейнеризации, мультимодальности, цифровизации, долю отечественных технологий и комплектующих. Финансовый блок включает рентабельность перевозок, долговую нагрузку, ликвидность, доступность кредитных ресурсов, уровень тарифов и страховых издержек. Кадровый и социальный блок характеризует обеспеченность персоналом, возрастную структуру работников, уровень оплаты труда и социальной стабильности. Отдельно выделяется блок кибербезопасности и защиты данных, значимость которого возрастает при переходе к интеллектуальным транспортным системам.

Методический подход к оценке экономической безопасности может основываться на многокритериальном анализе, индексном методе, экспертных оценках и сценарном моделировании. На первом этапе формируется система частных показателей, производится их нормирование и приведение к сопоставимому виду. На втором этапе определяются весовые коэффициенты с учетом значимости показателей для устойчивости транспортной системы. На третьем этапе рассчитывается интегральный индекс экономической безопасности, позволяющий сравнивать периоды, виды транспорта, регионы и предприятия. На четвертом этапе выполняется риск-ориентированная интерпретация результатов: выявляются критические зоны, пороговые значения и наиболее вероятные сценарии

развития. Такой подход позволяет не только фиксировать текущее состояние, но и обосновывать управленческие решения.

Апробация предлагаемого подхода показывает, что в условиях геоэкономических ограничений наиболее уязвимыми элементами транспортных систем являются международная логистика, финансирование инфраструктурных проектов, поставки высокотехнологичного оборудования и обеспеченность кадрами. В то же время переориентация грузопотоков на восточное и южное направления, развитие железнодорожных и мультимодальных перевозок, расширение внутреннего рынка транспортных услуг создают новые возможности. Для Беларуси и стран ЕАЭС важное значение имеют транзитный потенциал, согласованная тарифная политика, развитие логистических центров, электронный документооборот и сопряжение транспортных коридоров [1].

Цифровая трансформация оказывает двойственное влияние на экономическую безопасность. С одной стороны, она повышает прозрачность перевозок, снижает трансакционные издержки, ускоряет обработку грузов и улучшает управление цепями поставок. С другой стороны, возрастают риски кибератак, утечек данных, сбоев программного обеспечения и технологической зависимости от внешних поставщиков цифровых решений. Поэтому цифровизация должна сопровождаться созданием отечественных платформ, резервных систем, стандартов информационной безопасности и подготовкой специалистов в области защиты критической инфраструктуры [2].

Важнейшими направлениями укрепления экономической безопасности транспортных систем являются: диверсификация маршрутов и рынков транспортных услуг; развитие импортозамещения и технологического суверенитета; ускоренное обновление инфраструктуры и подвижного состава; расширение государственно-частного партнерства; совершенствование тарифной, налоговой и страховой политики; развитие кадрового потенциала; внедрение риск-менеджмента и индикативного планирования; укрепление интеграции в рамках ЕАЭС и СНГ. Особое внимание следует уделять мониторингу пороговых значений, созданию резервных мощностей, страхованию рисков и формированию адаптивных механизмов управления [1, 2].

Таким образом, экономическая безопасность транспортных систем представляет собой комплексную характеристику, отражающую способность транспорта устойчиво функционировать, развиваться и противостоять современным угрозам. Предложенный подход к построению системы индикаторов и интегральной оценки позволяет выявлять уязвимые звенья, обосновывать приоритеты инвестиций и управленческих решений. Дальнейшие исследования целесообразно направить на разработку математических моделей оценки рисков, сценарного прогнозирования грузопотоков и обоснования механизмов обеспечения экономической безопасности транспортного комплекса в условиях неопределенности.

Список литературы

1 О Государственной программе «Транспорт Беларуси» на 2026–2030 годы : постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 29 дек. 2025 г. № 778 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: https://pravo.by/dokument/?guid=3961&p0=C22500778 (дата обращения: 15.09.2026).

2 Концепция национальной безопасности Республики Беларусь : утв. Указом Президента Респ. Беларусь от 18 июля 2023 г. № 211 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: https://pravo.by/dokument/?guid=3871&p0=P32300211 (дата обращения: 15.09.2026).

УДК 339.543:502.1

ТАМОЖЕННЫЙ КОНТРОЛЬ ОЗОНОРАЗРУШАЮЩИХ ВЕЩЕСТВ КАК ЭЛЕМЕНТ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Л. В. МИЩЕНКО, Е. С. МЕЛЕШКО, И. Д. ПАТАПЕЙКА
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Охрана окружающей среды в современных условиях связана не только с регулированием хозяйственной деятельности внутри государства, но и с контролем международного перемещения потенциально опасных веществ. Особое место среди них занимают озоноразрушающие вещества (ОРВ), использование которых способно негативно влиять на состояние озонового слоя. В связи с этим контроль за их перемещением через таможенную границу приобретает значение не только как

направление нетарифного регулирования внешней торговли, но и как один из инструментов обеспечения экологической безопасности.

Правовой основой участия таможенных органов Республики Беларусь в данном процессе выступает законодательство о таможенном регулировании. Закон Республики Беларусь от 10 января 2014 г. № 129-З «О таможенном регулировании в Республике Беларусь» определяет систему таможенного регулирования и закрепляет полномочия таможенных органов при проведении таможенных операций и контроля за перемещением товаров через таможенную границу ЕАЭС [1]. Следовательно, при перемещении товаров, в отношении которых установлены специальные запреты или ограничения, таможенный контроль выполняет функцию предварительного барьера, препятствующего попаданию соответствующей продукции в легальный оборот с нарушением установленных требований.

Специфика ОРВ заключается в том, что их незаконное перемещение может быть связано не только с непосредственным ввозом химических веществ, но и с перемещением продукции и оборудования, содержащих такие вещества. Поэтому для таможенного органа принципиальное значение имеет правильная идентификация товара. При осуществлении контроля необходимо сопоставлять сведения, указанные в документах и декларации, с фактическими характеристиками перемещаемой продукции, ее наименованием, составом и кодом ТН ВЭД ЕАЭС. Подобный подход особенно важен в ситуациях, когда внешне сходные товары имеют различный правовой режим.

Международной основой соответствующего регулирования является Монреальский протокол по веществам, разрушающим озоновый слой. Документ предусматривает контроль международной торговли регулируемыми веществами и устанавливает механизмы ограничения их перемещения. Практическая реализация этих требований непосредственно связана с деятельностью таможенных органов, поскольку именно на границе осуществляется проверка документов, характеристик и законности перемещения соответствующих товаров. Международные решения в рамках Протокола также обращают внимание на необходимость совершенствования таможенных кодов, обмена информацией и подготовки сотрудников таможенных служб для выявления незаконной торговли ОРВ [2].

Для государств ЕАЭС механизм контроля дополнительно конкретизируется актами Евразийской экономической комиссии. В частности, Решение Коллегии ЕЭК от 21 апреля 2015 г. № 30 «О мерах нетарифного регулирования» предусматривает специальные меры в отношении озоноразрушающих веществ и продукции, содержащей ОРВ. В документе выделяются товары, запрещенные к ввозу и вывозу, а также ОРВ, перемещение которых осуществляется в разрешительном порядке [3]. Таким образом, таможенный контроль в отношении данной категории товаров строится с учетом установленного для конкретного товара режима.

На практике одним из наиболее сложных элементов такого контроля является выявление случаев сокрытия реального состава товара. Определенные виды ОРВ могут перемещаться под видом иных химических продуктов либо входить в состав смесей и оборудования. Дополнительную сложность создает использование различных торговых наименований, сокращений и маркировок.

В связи с этим формальной проверки документов недостаточно: при наличии оснований таможенным органам необходимо применять предусмотренные законодательством формы таможенного контроля, а при необходимости привлекать специалистов и использовать возможности таможенной экспертизы.

Существенную роль играет и анализ предварительной информации о внешнеторговой операции. Сведения о стране происхождения, отправителе и получателе, маршруте перевозки, характеристиках товара и его заявленной классификации позволяют выявлять операции, требующие дополнительного внимания. Такой риск-ориентированный подход дает возможность сосредоточить контрольные мероприятия на товарах и внешнеторговых операциях, которые потенциально связаны с нарушением установленных ограничений, не создавая избыточных препятствий для законной торговли.

Особое значение имеет международное взаимодействие. Незаконная торговля ОРВ по своей природе имеет трансграничный характер, поэтому результаты контроля в одном государстве могут иметь значение для таможенных и природоохранных органов другого государства. В рамках Монреальского протокола государствам рекомендуется обмениваться информацией о подтвержденных случаях незаконной торговли и совершенствовать механизмы отслеживания международного перемещения контролируемых веществ. Официальные материалы Секретариата по озону указывают на сохраняющуюся проблему идентификации ОРВ, сложности классификации и необходимости повышения квалификации сотрудников таможенных органов [2].

Для Республики Беларусь дальнейшее развитие контроля в рассматриваемой сфере целесообразно связывать прежде всего с повышением качества идентификации товаров и расширением информационного взаимодействия между таможенными и природоохранными органами. Значительный эффект может дать формирование специализированных информационных профилей риска для операций с ОРВ, использование актуальных справочников химических веществ и их торговых наименований, а также автоматизированное сопоставление данных таможенной декларации с разрешительными документами.

Не менее важным направлением является совершенствование профессиональной подготовки должностных лиц таможенных органов. При выявлении ОРВ необходимо учитывать не только код товара, но и химический состав вещества, особенности его маркировки, форму выпуска и сферу применения. Поэтому практические занятия по распознаванию ОРВ, изучение типичных способов их сокрытия и взаимодействие с профильными специалистами способны повысить результативность таможенного контроля.

Таким образом, участие таможенных органов Республики Беларусь в контроле перемещения озоноразрушающих веществ представляет собой комплексное направление деятельности, находящееся на пересечении таможенного, экологического и правоохранительного регулирования. Таможенный контроль позволяет не только обеспечить соблюдение установленных запретов и ограничений при перемещении товаров через границу ЕАЭС, но и препятствовать формированию нелегального рынка веществ, способных оказывать негативное воздействие на озоновый слой. Перспективным направлением является переход от преимущественно документального контроля к комплексной системе, основанной на анализе рисков, точной идентификации веществ, цифровом сопоставлении разрешительной информации и международном обмене сведениями. Это позволит повысить эффективность предупреждения незаконного оборота ОРВ и одновременно укрепить вклад таможенных органов в обеспечение экологической безопасности Республики Беларусь.

Список литературы

1 О таможенном регулировании в Республике Беларусь : Закон Респ. Беларусь от 10 янв. 2014 г. № 129-З : в ред. Закона Респ. Беларусь от 16 марта 2026 г. № 134-З // ЭТАЛОН : информ.-поисковая система (дата обращения: 22.09.2026).

2 Монреальский протокол по веществам, разрушающим озоновый слой : принят 16 сент. 1987 г. // Секретариат по озону. – URL: https://ozone.unep.org/treaties/montreal-protocol (дата обращения: 22.09.2026).

3 О мерах нетарифного регулирования : Решение Коллегии Евразийской экономической комиссии от 21 апр. 2015 г. № 30 : в ред. по состоянию на 26 авг. 2025 г. // Евразийская экономическая комиссия. – URL: https://eec.eaeunion.org/ (дата обращения: 22.09.2026).

УДК 338.2:656.2.078

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОБСТВЕННОГО ПАРКА ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ

Д. В. ОРЕШКИН
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Экономическая безопасность транспортной организации во многом определяется способностью сохранять устойчивость финансового результата при изменении спроса, дислокации подвижного состава, стоимости порожних перемещений и продолжительности оборота вагонов. Для компании, управляющей собственным парком грузовых вагонов, существенная часть рисков возникает именно на этапе оперативного планирования: ошибочное назначение вагонов на заявки способно увеличить непроизводительный пробег, создать дефицит подвижного состава на более доходных направлениях и привести к невыполнению обязательств перед клиентами. Поэтому планирование использования парка целесообразно рассматривать не только как эксплуатационную задачу, но и как элемент системы экономической безопасности.

В научной литературе экономическая безопасность железнодорожного транспорта связывается с выявлением угроз, контролем ключевых показателей и предупреждением состояний, при которых ухудшается устойчивость транспортной системы [1, 2]. Для грузового вагонного парка к таким со-

стояниям относятся рост доли порожнего пробега, увеличение времени оборота, длительные простои, несбалансированное распределение вагонов по станциям, снижение маржинальности перевозок и принятие решений на основе неполных либо несвоевременных данных. Исследования эффективности использования грузовых вагонов также показывают, что величина порожнего рейса и оборот вагона непосредственно влияют на результативность управления парком [3].

Локально выгодное решение не всегда является выгодным для парка в целом. Заявка может иметь высокую доходную ставку, однако для ее выполнения требуется подача вагонов с удаленной станции. После учета порожнего пробега, времени передислокации и потери возможности использовать эти вагоны по другим направлениям фактический экономический эффект снижается. При «ручном» планировании такие взаимосвязи трудно оценить одновременно по большому количеству заявок и вагонов, что повышает зависимость результата от опыта специалиста.

В рамках разрабатываемой автоматизированной системы управления собственным вагонным парком предлагается включить оценку экономических рисков непосредственно в процедуру формирования плана. Исходными данными выступают заявки на перевозку, дислокация вагонов, станции отправления и назначения, доступный парк, доходная ставка по направлению, ориентировочные затраты на порожнюю подачу, а также временные параметры перевозочного процесса. На их основе система должна сравнивать возможные варианты распределения и исключать решения, которые формально обеспечивают выполнение заявки, но создают отрицательный либо недостаточный экономический эффект.

Для целей экономической безопасности целесообразно выделить несколько групп контролируемых факторов. Первая группа связана с доходностью: для каждой заявки определяется ожидаемый финансовый результат с учетом затрат на обеспечение вагонами. Вторая группа отражает использование парка: контролируются потребность в порожней передислокации, возможный рост непроизводительного пробега и концентрация вагонов на отдельных направлениях. Третья группа характеризует ресурсные ограничения: система сопоставляет количество требуемых и реально доступных вагонов, предотвращая формирование заведомо невыполнимого плана. Четвертая группа относится к информационным рискам и включает проверку полноты исходных данных, корректности станций, объемов заявок и расчетных параметров.

Практически это означает, что решение о назначении вагона должно приниматься не только по признаку его физической доступности. Для каждого варианта необходимо учитывать, откуда вагон будет подан, какие расходы возникнут до начала груженого рейса, не приведет ли его использование к дефициту на другой станции и останется ли перевозка экономически оправданной. При наличии нескольких вариантов система может отдавать приоритет подаче с минимальными совокупными затратами, если такой выбор не ухудшает выполнение других заявок. В результате план формируется с учетом взаимного влияния перевозок, а не как независимый набор отдельных решений.

Дополнительным элементом обеспечения экономической безопасности является применение пороговых значений. В исследованиях железнодорожных цепей поставок подчеркивается необходимость использования контролируемых границ показателей, позволяющих своевременно выявлять ухудшение условий перевозочного процесса [4]. В автоматизированной системе аналогичный подход может быть реализован через набор предупреждений: превышение допустимой доли затрат на порожний перегон, снижение расчетной рентабельности заявки ниже установленного уровня, недостаток вагонов на станции отправления, чрезмерная продолжительность подачи или формирование значительного дисбаланса парка. Пороговые значения при этом должны задаваться пользователем и изменяться в зависимости от типа вагона, направления и текущих условий работы.

Предупреждение не должно автоматически запрещать выполнение перевозки. Возможны стратегически важные заявки, договорные обязательства и направления, по которым компания сознательно принимает более низкую доходность. Поэтому система должна поддерживать принятие решения: показывать экономические последствия выбранного варианта и фиксировать отклонения от рекомендуемых параметров. Это сохраняет управленческую гибкость и делает планирование более прозрачным.

Архитектурно модуль оценки экономической безопасности может быть включен в общий расчетный контур системы. После загрузки заявок и данных о дислокации выполняется проверка исходной информации, затем рассчитываются показатели по возможным назначениям вагонов. Далее формируется допустимый набор вариантов, проводится распределение парка и рассчитываются итоговые показатели плана. Пользователю представляются не только назначенные объемы перево-

зок, но и причины отклонения заявок, потребность в порожней подаче, ожидаемые затраты и перечень выявленных рисков. Результаты расчета сохраняются в базе данных, что создает возможность последующего анализа качества планирования и сравнения плановых показателей с фактическими.

Предлагаемый подход связывает эксплуатационное планирование с задачами экономической безопасности. Автоматизация не устраняет неопределенность внешней среды, однако снижает риски неполного учета затрат, несогласованного распределения ограниченного парка и субъективности ручных расчетов. История планов и фактических результатов создает основу для корректировки пороговых значений и повышения точности оценки по отдельным направлениям.

Таким образом, экономическая безопасность управления собственным парком грузовых вагонов может обеспечиваться через системный контроль финансового результата, рациональности порожних перемещений, ресурсной обеспеченности и качества исходных данных. Включение этих механизмов в автоматизированную систему планирования позволяет выявлять экономически неблагоприятные решения до их реализации, формировать более обоснованный план использования парка и повышать устойчивость транспортно-логистической деятельности компании.

Список литературы

1 **Бычкова, А. А.** Риски и роль железнодорожного транспорта в экономической безопасности страны / А. А. Бычкова // Вестник Челябинского государственного университета. – 2020. – № 6 (440). – С. 232–237.

2 **Назаренко, И. Л.** Оценка экономической безопасности вагонного участка / И. Л. Назаренко, С. В. Черненко // Вестник экономики транспорта и промышленности Украины. – 2018. – № 62. – С. 89–96.

3 **Елисеев, С. Ю.** Основные факторы, влияющие на эффективность использования грузовых вагонов / С. Ю. Елисеев, А. А. Шатохин // Логистика сегодня. – 2015. – № 1. – С. 14–19.

4 **Журавлева, Н. А.** Пороговые значения экономической безопасности цепей поставок на основе железнодорожного транспорта в новой геоэкономике / Н. А. Журавлева, А. Б. Никитин // Ученые записки Международного банковского института. – 2024. – № 4 (50). – С. 56–67.

УДК 625.096

ИССЛЕДОВАНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННОГО И ЗАРУБЕЖНОГО ОПЫТА СПОСОБОВ ПЕРЕРАБОТКИ КОНТЕЙНЕРНЫХ ПОТОКОВ

О. Н. ПАНОВА, Д. Р. БАЛЬЧЮНАС
Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва

Рост международной торговли и контейнеризации увеличивает объёмы контейнерных потоков и повышает требования к пропускной способности и эффективности транспортных систем. Традиционная логистическая модель со значительным объемом складского хранения и промежуточных операций приводит к росту издержек и сроков доставки. Поэтому особое значение приобретают повышение эффективности работы транспортно-логистических центров и сокращение времени складских операций.

Способ обработки контейнерных грузов зависит от характера грузопотока. Применяются три основных способа:

1 FCL (Full Container Load): перевозка целого контейнера одного отправителя.

2 LCL (Less than Container Load): перевозка сборных грузов с консолидацией партий.

3 FCL с консолидацией: объединение партий в один контейнер с последующим распределением по направлениям.

Современные подходы к терминальной переработке направлены на минимизацию операций, не связанных с перемещением груза к месту дальнейшей отправки. Одним из наиболее эффективных решений является кросс-докинг. Эта технология ускоряет грузопоток за счет исключения или минимизации этапа хранения.

В России развитие кросс-докинга связано с формированием сети транспортно-логистических центров ОАО «РЖД». Для таких центров важны возможность обработки полносоставных контейнерных поездов и наличие автомобильных подъездов для организации «последней мили» [1]. Эффект от применения этой технологии проявляется только в сочетании с обновленной инфраструктурой и цифровизацией. Сюда относятся системы WMS, RFID, IoT, роботизация, а также алгоритмы оптимизации расписания погрузки и разгрузки вагонов и автотранспорта.

Зарубежная практика отличается комплексной автоматизацией и синхронизацией потоков. Так, на автоматизированных контейнерных терминалах Китая, в том числе в порту Шанхая, используются автоматизированные перегрузочные краны, автономные транспортные средства и интеллектуальные системы управления терминалом. Концепция «умных портов» предполагает применение робототехники, искусственного интеллекта и интернета вещей для управления логистическими процессами в режиме реального времени. Организационный аспект иллюстрирует производственная система Toyota с принципом Just-in-Time, т. е. поставками в нужное время и в нужном количестве. Таким образом, ускорение переработки достигается согласованием автоматизированного оборудования, цифрового обмена информацией и транспортных потоков.

Российская транспортная система обладает значительным потенциалом благодаря железнодорожной сети и транзитному положению страны. Приоритетными направлениями являются:

– развитие международных коридоров;

– цифровизация;

– интеграция в транспортно-логистические системы ЕАЭС;

– расширение мультимодальных перевозок [3, 4].

Для ОАО «РЖД» кросс-докинг важен тем, что позволяет усилить роль транспортно-логистических центров как элементов интегрированной транспортно-логистической инфраструктуры.

Показательным примером является транспортно-логистический центр (ТЛЦ) «Артём» («сухой порт»). Целями его создания являются снижение логистических издержек, повышение скорости и надежности доставки, а также развитие транспортной инфраструктуры Приморского края. Ранее объект функционировал как перевалочный узел с длительным циклом обработки грузов и ограниченной пропускной способностью. Реконструкция направлена на сокращение промежуточного хранения.

Технологическая схема ТЛЦ предусматривает следующие этапы:

1) доставка контейнеров автотранспортом из портов Владивостока и Находки;

2) перегрузка контейнеров на фитинговые платформы;

3) отправка поездов через ТЛЦ «Уральский» и «Сибирский» в московские ТЛЦ.

Интеграция объекта в коридор «Приморье-2» формирует интермодальную схему взаимодействия автомобильного, железнодорожного и морского транспорта.

Отечественная и зарубежная практика развиваются в одном направлении: сокращение времени обработки, минимизация хранения и согласованность терминальных и транспортных операций. Зарубежные терминалы отличаются более глубокой интеграцией автоматизации и единым информационным пространством участников цепи. Для России это направление является важным резервом развития. Преимущества отечественной практики составляют сеть ТЛЦ, железнодорожная инфраструктура и международные транспортные коридоры. Прямой перенос зарубежных решений ограничен особенностями грузопотоков, технического оснащения, нормативной базы и взаимодействия участников. Поэтому наиболее перспективным является сочетание российского инфраструктурного потенциала с зарубежными решениями в области цифровизации.

Кросс-докинг целесообразно рассматривать не как отдельную перегрузочную операцию, а как элемент комплексной системы управления контейнерными потоками. Его можно внедрять на объектах ОАО «РЖД», связанных с направлениями «Транссиб» и «Приморье-2». В сочетании с модернизацией ТЛЦ, цифровой трансформацией и интеграцией видов транспорта это может повысить эффективность переработки контейнерных грузов и конкурентоспособность транспортно-логистических коридоров Российской Федерации.

Список литературы

1 **Охотников, А. Л.** Терминально-логистический центр как объект интеграции по работе с грузами в ОАО «РЖД» / А. Л. Охотников, В. Я. Цветков // Транспортное дело России. – 2019. – № 6. – С. 69–72. – URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_42403602_43630196.pdf (дата обращения: 13.09.2026).

2 Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года : распоряжение Правительства РФ от 27.11.2021 № 3363-р (в ред. от 06.11.2024) // Правительство Российской Федерации. – URL: https://government.ru/docs/all/137914/ (дата обращения: 13.09.2026).

3 **Вакуленко, С. П.** Единая транспортная система : учеб. пособие / С. П. Вакуленко, Н. Ю. Евреенова. – М. : РУТ (МИИТ), 2020. – 105 с. – URL: https://znanium.com/catalog/product/1896322 (дата обращения: 13.09.2026).

УДК 658.7:69

ОЦЕНКА РЕСУРСНОГО ПОТЕНЦИАЛА УЧАСТНИКОВ ЦЕПИ ПОСТАВОК ПРЕДПРИЯТИЙ СТРОИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА

Т. Г. ПОТЁМКИНА
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Строительный комплекс (СК) – это сложная, межотраслевая система, деятельность которой направлена на выполнение полного цикла работ по строительству и передаче в эксплуатацию зданий, сооружений, объектов инфраструктуры. Одной из актуальных проблем современной теории и практики логистики является формирование и развитие цепей поставок в строительном комплексе (ЦП СК), зависящих от множества участников и особенностей их производственной деятельности, включающей добычу нерудного сырья, производство инертных материалов, производство строительных материалов, производство строительных изделий и конструкций, строительство [1].

Ресурсный потенциал участников ЦП СК можно разделить на две группы:

1 *Осязаемый ресурсный потенциал* – совокупность ресурсной базы участников ЦП СК, являющейся основой их научно-исследовательской, изыскательской, проектной, производственной, строительно-монтажной деятельности. Оцениваемые компоненты осязаемого ресурсного потенциала ЦП СК рассмотрены таблице 1.

Таблица 1 – **Характеристика компонентов осязаемого ресурсного потенциала участников ЦП СК** [2, 3]

Вид потенциала	Оцениваемые компоненты
Технический	Основные фонды предприятия (машины, оборудование, приборы, специализированный транспорт, погрузочно-разгрузочные механизмы и пр.), технологический процесс
Материальный	Материальные ресурсы, производственные запасы, нормирование оборотных средств, ритмичность поставок и пр.
Кадровый	Качественный, количественный состав трудовых ресурсов; обеспеченность трудовыми ресурсами; их ротация и движение, организация охраны труда
Финансовый	Собственные, привлеченные, заемные источники финансовых ресурсов; финансовые результаты

Оценка осязаемого ресурсного потенциала направлена на оптимизацию структуры, технологичности, состояния основных производственных фондов; экономию материальных ресурсов; внедрение инноваций; обновление материально-технической базы; рост качества трудовых ресурсов и производительности их труда, снижение текучести кадров; обоснование резервов роста эффективности строительных работ в ЦП СК.

2 *Неосязаемый ресурсный потенциал* – совокупность способностей, навыков, технологий эффективного использования и управления ресурсами; учитывает нематериальные и качественные характеристики ресурсного потенциала; оценивает резервы, которые участники ЦП СК могут мобилизовать для повышения эффективности своей деятельности, но которые сложно проанализировать стандартными экономическими методами. Оцениваемые компоненты неосязаемого ресурсного потенциала рассмотрены в таблице 2 [2].

Таблица 2 – **Характеристика компонентов неосязаемого ресурсного потенциала ЦП СК** [2, 3]

Вид потенциала	Оцениваемые компоненты
Производственный	Качественные и количественные параметры, эффективность организации движения сырьевого потока, потоков инертных и строительных материалов, строительных изделий и конструкция, грузопотоки в ЦП СК
Информационно-коммуникационный	Совокупность информационных технологий, используемых в процессе движения информационных, финансовых, сервисных и материальных потоков в ЦП СК
Потенциал маркетинга	Факторы и процессы внешней и внутренней среды; возможности адаптации производственной деятельности под потребности рынка; скорость реакции на изменения рыночной ситуации, конкурентоспособность участников ЦП СК по отдельности и в целом
Инновационно-технологический	Способность внедрять инновационные и технологичные решения в ЦП СК, оценивать достоверность и эффективность этих решений
Потенциал менеджмента	Управляемость сложной, организационно завершенной экономической системы, нацеленность на эффективную и бережливую производственную деятельность. Совокупность возможностей руководства и организации процессов, способность эффективно достигать целей

Оценка неосязаемого ресурсного потенциала направлена на рост эффективности организации взаимодействия участников ЦП СК, снижение логистических издержек; улучшение качества и обоснованное снижение стоимости строительной продукции; рост экспортного потенциала строительного комплекса.

В совокупности оценка осязаемого и неосязаемого ресурсного потенциала участников ЦП СК нацелена:

– на рост эффективности управления инвестиционными проектами и оптимизацию различных процессов в строительстве (проведение конкурсных процедур, нормирование труда, организации строительных работ);

– снижение стоимости строительства объекта, цен на услуги строительства;

– рост эффективности при использовании производственных мощностей;

– снижение ресурсоемкости строительства;

– рост уровня применяемых современных технологий;

– развитие государственно-частного партнерства и др. [1].

Список литературы

1 **Зорина, Т. Г.** Системный подход к формированию и развитию логистических цепей поставок в строительном комплексе Республики Беларусь / Т. Г. Зорина, Т. Г. Потёмкина // Вестник Витебского государственного технологического университета. – 2021. – № 2 (41) . – С. 141–151.

2 **Потёмкина, Т. Г.** Оценка ресурсного потенциала дорожно-строительного предприятия с целью повышения его экономической безопасности / Т. Г. Потёмкина, А. Е. Павлюченко // Рынок транспортных услуг (проблемы повышения эффективности) : междунар. сб. науч. трудов. – Гомель : БелГУТ, 2025. – Вып. 18. – С. 241–247.

3 **Потёмкина, Т. Г.** Ресурсный потенциал ГП «Минский метрополитен»: сущность, структура, направление роста эффективности использования / Т. Г. Потёмкина, С. В. Трутько // Рынок транспортных услуг (проблемы повышения эффективности) : междунар. сб. науч. трудов. – Гомель : БелГУТ, 2023. – Вып. 16. – С. 211–219.

УДК 338.47:656

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ В УСЛОВИЯХ ВЫСОКОЙ ПЛОТНОСТИ НАСЕЛЕНИЯ: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ АНДИЖАНСКОЙ ОБЛАСТИ

Г. А. САТТАКУЛОВА

Андижанский государственный технический институт, Республика Узбекистан

Транспортная система является одним из ключевых элементов региональной экономики, поскольку обеспечивает перемещение населения, сырья, готовой продукции и ресурсов между территориями и хозяйствующими субъектами. Поэтому ее экономическая безопасность должна рассматриваться как способность транспортного комплекса сохранять устойчивость, непрерывность и приемлемый уровень затрат при воздействии инфраструктурных, ресурсных, экологических и логистических рисков. Для Андижанской области данный вопрос приобретает особую значимость вследствие высокой плотности населения и концентрации промышленной и предпринимательской активности.

Андижанская область относится к наиболее плотно заселенным территориям Узбекистана. По данным Национального комитета по статистике, на 1 апреля 2025 г. плотность населения в области составляла 807,9 человека на 1 км²; на 1 января 2025 г. – 804,9 человека на 1 км² [1, 2]. Такая территориальная концентрация населения формирует значительные пассажирские потоки и одновременно повышает требования к пропускной способности дорожной сети, организации общественного транспорта и надежности транспортно-логистических связей.

Экономическое значение транспортного сектора подтверждается его динамикой. По данным Национального комитета по статистике, в январе – июле 2025 г. объем транспортных услуг в Андижанской области составил 4,5 трлн сумов [3]. По итогам января – ноября 2025 г. данный показатель достиг 7,9 трлн сумов [4]. Таким образом, транспортный комплекс выступает не только обслуживающей инфраструктурой, но и самостоятельным фактором региональной экономической активности. Вместе с тем рост объема услуг сопровождается повышением требований к надежности транспортной сети и эффективности управления рисками.

В условиях высокой плотности населения риски транспортной системы целесообразно группировать по четырем взаимосвязанным направлениям. Первый блок составляют инфраструктурные риски: ограниченная пропускная способность отдельных участков сети, состояние дорожного покрытия, перегрузка узлов и необходимость своевременного ремонта и модернизации. Второй блок связан с ресурсными и издержечными рисками, включая зависимость перевозчиков от стоимости топлива и электроэнергии, а также рост эксплуатационных расходов. Третий блок образуют экологические риски, усиливающиеся при высокой интенсивности автомобильного движения. Четвертый блок – логистические риски, возникающие при нарушении ритмичности поставок и недостаточной согласованности различных видов транспорта.

Для оценки экономической безопасности транспортной системы предлагается использовать комплексный подход, при котором количественные показатели дополняются показателями качества и устойчивости. К числу основных индикаторов могут относиться объем транспортных услуг, динамика пассажирских и грузовых перевозок, средняя скорость движения на проблемных участках, время доставки грузов, доля затрат на топливо и электроэнергию в себестоимости перевозок, уровень аварийности, степень износа инфраструктуры, экологическая нагрузка и доступность цифровых сервисов. Такой подход позволяет перейти от оценки отдельных результатов деятельности к выявлению источников системного риска.

Особое значение для Андижанской области имеет цифровизация транспортного управления. Использование интеллектуальных транспортных систем, автоматизированного мониторинга движения, электронных платежей и диспетчеризации способно повысить прозрачность операций, улучшить управление потоками и сократить потери времени. Экономический эффект цифровизации следует оценивать не только через прямое снижение затрат, но и через сокращение простоев, повышение регулярности перевозок, улучшение использования транспортных средств и повышение качества обслуживания населения.

Другим направлением укрепления экономической безопасности является экологизация транспорта. Обновление общественного транспорта с переходом на энергоэффективные и электрические виды подвижного состава может одновременно решать задачи снижения эксплуатационных расходов и экологической нагрузки. При этом экономическая целесообразность таких проектов должна определяться на основе полного жизненного цикла: стоимости приобретения и инфраструктуры, затрат на энергию и техническое обслуживание, срока службы оборудования и ожидаемого объема перевозок.

Важным резервом повышения устойчивости является развитие мультимодальных перевозок. При наличии соответствующей инфраструктуры часть грузовых потоков целесообразно перераспределять между автомобильным и железнодорожным транспортом с учетом расстояния, массы груза, сроков доставки и стоимости перевозки. Это позволяет рассматривать транспортную сеть как единую систему, а не как совокупность изолированных видов транспорта.

С учетом выявленных факторов предлагается модель экономической безопасности транспортной системы Андижанской области, включающая четыре взаимосвязанных элемента: инфраструктурную устойчивость, ресурсно-экологическую безопасность, цифровую прозрачность и инвестиционную устойчивость. Инфраструктурный элемент предполагает модернизацию дорожной сети и развитие железнодорожных подходов; ресурсно-экологический – повышение энергоэффективности и обновление подвижного состава; цифровой – внедрение мониторинга и интеллектуального управления; инвестиционный – использование механизмов государственно-частного партнерства и привлечение частного капитала.

Таким образом, экономическая безопасность транспортной системы Андижанской области должна оцениваться как результат взаимодействия инфраструктурных, экономических, экологических и организационно-технологических факторов. Высокая плотность населения делает особенно важным обеспечение надежности перевозок при одновременном контроле их стоимости и экологических последствий. В практическом отношении приоритетными направлениями являются совершенствование системы мониторинга рисков, модернизация транспортной инфраструктуры, развитие цифровых технологий, повышение энергоэффективности общественного транспорта и формирование сбалансированной мультимодальной логистики. Последовательная реализация этих мер способна повысить устойчивость транспортного комплекса и его вклад в социально-экономическое развитие региона.

Список литературы

1 Какой регион Узбекистана самый густонаселенный? 17.04.2025 // Национальный комитет Республики Узбекистан по статистике. – URL: https://stat.uz/ru/press-tsentr/novosti-goskomstata/61156-o-zbekistonning-qaysi-hududida-aholi-eng-zich-joylashgan-2515 (дата обращения: 18.09.2026).

2 Демографическая ситуация в Республике Узбекистан: январь – декабрь 2024 года // Национальный комитет Республики Узбекистан по статистике. – URL: https://demografiya-press-reliz-23_01_2025-rus_p55285.pdf (дата обращения: 18.09.2026).

3 В Узбекистане оказано транспортных услуг на сумму 98,3 трлн сум. 04.09.2025 // Национальный комитет Республики Узбекистан по статистике. – URL: https://stat.uz/ru/press-tsentr/novosti-goskomstata/70924-zbekistonda-transport-khizmatlari-azhmi-162-8-trln-s-mga-etdi-3 (дата обращения: 18.09.2026).

4 Объем транспортных услуг превысил 168 трлн сумов. 19.01.2026 // Национальный комитет Республики Узбекистан по статистике. – URL: https://tat.uz/ru/press-tsentr/novosti-goskomstata/70924-zbekistonda-transport-khizmatlari-azhmi-162-8-trln-s-mga-etdi-3 (дата обращения: 18.09.2026).

УДК 338.47:656.078

ФИНАНСОВАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ТРАНСПОРТНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ: ВЗАИМОСВЯЗЬ И ПРИОРИТЕТЫ

Д. А. СОЛОДОВНИКОВА
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Транспортный комплекс Республики Беларусь является одной из базовых отраслей национальной экономики, обеспечивающей производственные связи, внешнеторговые операции и территориальную целостность хозяйственной системы страны. В условиях внешних ограничений, перестройки логистических маршрутов и изменчивости конъюнктуры мировых рынков особую значимость приобретает проблема обеспечения финансовой устойчивости транспортных предприятий как фундамента их экономической безопасности.

Финансовая устойчивость предприятия – это способность хозяйствующего субъекта сохранять платежеспособность, ликвидность и финансовую независимость при изменении внутренних и внешних условий функционирования. В наиболее общем виде данное определение присутствует в классических работах по финансовому анализу (например, в подходах, развиваемых в рамках российской школы экономического анализа – Савицкой Г. В. [3], Шереметом А. Д. [4], Ковалевым В. В. [1]).

Финансовая устойчивость традиционно оценивается через систему коэффициентов:

– автономии (финансовой независимости);

– финансовой зависимости;

– маневренности собственного капитала;

– обеспеченности собственными оборотными средствами;

– текущей ликвидности.

Предприятие считается финансово устойчивым, если значения указанных коэффициентов находятся в пределах нормативных диапазонов и демонстрируют стабильную или положительную динамику. Однако единого универсального норматива для всех отраслей не существует, что признается в большинстве методических источников.

Экономическая безопасность предприятия – состояние защищенности его экономических интересов от внутренних и внешних угроз, обеспечивающее стабильное функционирование и развитие. В научной литературе принято выделять несколько функциональных составляющих экономической безопасности: финансовая, кадровая (интеллектуальная), технико-технологическая, правовая, информационная, экологическая, силовая. На государственном уровне в Республике Беларусь действует Концепция национальной безопасности, утвержденная Всебелорусским народным собранием в апреле 2024 года [2].

Взаимосвязь финансовой устойчивости и экономической безопасности может быть представлена как двусторонняя:

1 Прямая связь: финансовая устойчивость → экономическая безопасность.

Финансово устойчивое предприятие способно противостоять кризисным явлениям без потери

платежеспособности; сохранять инвестиционную привлекательность; выполнять обязательства перед контрагентами, работниками и государством.

2 Обратная связь: экономическая безопасность → финансовая устойчивость.

Высокий уровень экономической безопасности снижает вероятность реализации внутренних и внешних угроз; обеспечивает предсказуемость хозяйственных процессов; создает условия для поддержания финансовых показателей в допустимых пределах [3].

Рассмотрим отраслевые особенности транспорта. Транспортные предприятия обладают рядом характеристик, отличающих их от предприятий других отраслей:

1 Высокая фондоемкость. Основные фонды (подвижной состав, инфраструктура) требуют значительных капитальных вложений и длительных сроков окупаемости.

2 Длительный производственный цикл. Транспортный процесс может занимать от нескольких часов до нескольких недель, что влияет на оборачиваемость оборотных средств [1].

3 Зависимость от внешней среды. Тарифы, топливные цены, транзитные условия, международная конъюнктура – факторы, находящиеся вне контроля предприятия.

4 Сезонность. Ряд транспортных услуг (речные перевозки) подвержен сезонным колебаниям.

5 Социальная значимость. Транспорт обеспечивает жизнедеятельность регионов, что ограничивает возможности полного коммерческого ценообразования.

Перечисленные особенности усиливают уязвимость транспортных предприятий к внешним шокам и повышают значимость внутренних резервов устойчивости.

При оценке финансовой устойчивости транспортного предприятия учитывают высокую долю внеоборотных активов, значительную долю заёмных средств, оборачиваемость, зависящую от длительности транспортного цикла, и рентабельность, подверженную тарифному регулированию.

Угрозы экономической безопасности делятся на внешние (санкции, потеря традиционных рынков, изменение логистических маршрутов, волатильность цен на топливо, усиление конкуренции, изменения в таможенном и транспортном законодательстве) и внутренние (высокий износ основных фондов, дефицит квалифицированных кадров, недостаточная цифровизация, неэффективное управление затратами, низкая инвестиционная активность).

Финансовые приоритеты включают оптимизацию структуры капитала, управление оборотным капиталом, диверсификацию источников финансирования, а также бюджетирование и финансовое планирование. Организационно-экономические приоритеты включают цифровизацию транспортных процессов. Развитие логистических центров предполагает создание и модернизацию инфраструктуры для обработки грузопотоков. Интеграция в международные транспортные коридоры связана с участием в проектах «Север – Юг» и «Восток – Запад», а также с развитием транзитного потенциала. Государственно-частное партнерство направлено на привлечение частных инвестиций в инфраструктурные проекты.

Нормативно-правовые приоритеты включают совершенствование законодательства о транспорте, гармонизацию с международными стандартами и защиту внутреннего рынка транспортных услуг, предполагающую разработку мер поддержки отечественных перевозчиков в условиях конкуренции. Важно учитывать и кадровые, а также интеллектуальные приоритеты [4]. К ним относятся подготовка и переподготовка кадров, стимулирование инноваций через поддержку научно-исследовательских работ в области транспортных технологий и формирование системы управления знаниями, обеспечивающей сохранение и передачу внутрикорпоративного опыта.

Предложенные приоритеты не являются изолированными. Финансовые приоритеты создают ресурсную базу для реализации организационно-экономических и кадровых мер. Организационно-экономические приоритеты повышают эффективность использования финансовых ресурсов и снижают уровень угроз. Нормативно-правовые приоритеты формируют институциональную среду, в которой реализуются остальные направления. Кадровые приоритеты обеспечивают возможность реализации всех остальных мер. Интегральный подход предполагает, что укрепление финансовой устойчивости и экономической безопасности достигается не отдельными мерами, а их системным сочетанием.

В заключение можно отметить, что финансовая устойчивость и экономическая безопасность транспортных предприятий находятся в двусторонней взаимосвязи: устойчивость является условием безопасности, а безопасность – гарантией устойчивости. Транспортные предприятия обладают отраслевой спецификой, такой как фондоемкость, длительный цикл и зависимость от внешней среды, что усиливает значимость обоих параметров. Приоритеты укрепления финансовой устойчиво-

сти и экономической безопасности включают финансовые, организационно-экономические, нормативно-правовые и кадровые меры. Наиболее эффективным является интегральный подход, предполагающий системное сочетание всех направлений. Направления дальнейших исследований включают разработку интегрального показателя, эмпирическую проверку взаимосвязи, сравнительный анализ с предприятиями ЕАЭС и оценку влияния внешних шоков.

Список литературы

1 **Ковалев, В. В.** Финансовый анализ: методы и процедуры / В. В. Ковалев. – М. : Финансы и статистика, 2003. – 560 с.

2 Об утверждении Концепции национальной безопасности Республики Беларусь : Решение Всебелорусского народного собрания от 25 апр. 2024 г. № 5 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: https://pravo.by (дата обращения: 15.09.2026).

3 **Савицкая, Г. В.** Экономический анализ : учеб. / Г. В. Савицкая. – 15-е изд., испр. и доп. – М. : ИНФРА-М, 2025. – 587 с.

4 **Шеремет, А. Д**. Методика финансового анализа деятельности коммерческих организаций : учеб. и практическое пособие / А. Д. Шеремет, Е. В. Негашев. – М. : ИНФРА-М, 2003. – 208 с.

УДК 336.64:004.056

ФИНАНСОВАЯ СТРАТЕГИЯ КАК ИНСТРУМЕНТ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ В УСЛОВИЯХ РАЗВИТИЯ ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Т. А. ФИЛЮТЧИК
Белорусский государственный экономический университет, г. Минск

Развитие информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) расширяет ресурсные и аналитические возможности коммерческой организации, но одновременно формирует специфические по своей природе финансовые риски, нейтрализация которых выступает необходимым условием её экономической безопасности. Разработанность теоретико-методологических подходов к формированию финансовой стратегии коммерческой организации в условиях развития ИКТ остаётся недостаточной, что касается и финансово-стратегического механизма учёта рисков цифровой трансформации как объекта экономической безопасности организации. Целью статьи является систематизация ИКТ-обусловленных рисков финансовой деятельности организации и обоснование механизма их интеграции в финансовую стратегию в качестве инструмента обеспечения экономической безопасности.

Отправной точкой служит предложенное ранее определение финансовой стратегии коммерческой организации как комплексной адаптивной конструкции обоснования прогнозных параметров входных и выходных финансовых потоков организации и механизма их реализации на основе стоимостного критерия эффективности с применением ИКТ. Для целей настоящей статьи существен системообразующий характер финансовой стратегии – её способность обеспечивать ресурсную реализуемость всех прочих функциональных стратегий организации, – которым определяется и её роль в системе экономической безопасности: именно финансовые ограничения и возможности формируют «коридор допустимости» устойчивого функционирования организации в целом.

Проведённый анализ позволил установить, что применение ИКТ придаёт финансовой стратегии организации ряд специфических черт, каждая из которых при отсутствии адекватного финансово-стратегического ответа образует самостоятельный источник угрозы экономической безопасности. Прогнозирование финансовых потоков по ИКТ-проектам осложнено неопределённостью сроков и объёма ожидаемого результата, вследствие чего точечные прогнозные параметры уступают по надёжности диапазонным оценкам. Масштаб требуемых вложений в ИКТ-проекты способен временно ухудшать финансовое состояние организации на инвестиционной стадии, что обосновывает необходимость резерва ликвидности, формируемого до начала проекта [1]. Отложенный характер отдачи от цифровых вложений – разрыв между моментом затрат и моментом экономического результата – повышает чувствительность организации к изменению стоимости капитала и требует усиленного контроля показателя средневзвешенной стоимости капитала (WACC). Рыночные пер-

спективы технологических продуктов не поддаются надёжной оценке на длительном горизонте, чем обусловлена необходимость резервных сценариев развития. Перечисленные особенности образуют таксономию финансовых рисков, специфичных именно для условий цифровой трансформации и требующих обособленного отражения в финансовой стратегии – в дополнение к традиционному набору рисков (кредитному, рыночному, операционному, риску ликвидности).

Дифференциация требований к финансовой стратегии по уровню цифровой зрелости организации операционализируется предложенной технологической осью классификации финансовой стратегии, включающей четыре уровня: традиционная (ИКТ выполняют учётно-регистрационную функцию); автоматизированная (отдельные процессы автоматизированы на базе корпоративных информационных систем); цифровая, data-driven (интегрированная цифровая среда, предиктивная аналитика); интеллектуальная (искусственный интеллект – активный участник стратегического процесса). Отнесение организации к одному из уровней позволяет дифференцировать состав и интенсивность мероприятий по управлению ИКТ-рисками: чем выше цифровая зрелость, тем шире состав учитываемых рисков и выше требования к их интеграции в контур финансового риск-менеджмента.

Двойственный характер цифровизации, порождающей наряду с преимуществами (снижением издержек, ускоренной адаптацией) риски утечки конфиденциальных данных, киберугроз и роста затрат на переквалификацию персонала [2], обусловливает необходимость расширения объекта финансовой стратегии до пяти категорий цифровых рисков, систематизированных в таблице 1.

Таблица 1 – **Категории ИКТ-обусловленных рисков финансовой стратегии и механизм их нейтрализации**

Категория риска	Механизм нейтрализации в финансовой стратегии
Киберриски (несанкционированный доступ, утечки данных)	Встраивание управления киберрисками в общий контур финансового риск-менеджмента
Технологические риски (vendor lock-in)	Диверсификация поставщиков цифровой инфраструктуры
Регуляторные риски (ИИ, защита персональных данных)	Мониторинг регуляторной готовности, резерв средств на комплаенс
Операционные риски цифровых сбоев	Резерв ликвидности, сценарии непрерывности деятельности
Кадровый риск утраты цифровых компетенций	Инвестиции в переквалификацию персонала в финансовом плане
Примечание – Источник: собственная разработка.	

Перечисленные в таблице 1 категории рисков поддаются финансово-стратегическому управлению лишь при соблюдении принципа интеграции: управление цифровыми угрозами должно быть встроено в общую систему финансового риск-менеджмента, а не обособлено в самостоятельную ИТ-функцию, что подтверждается практикой организаций, наиболее продвинутых в цифровой трансформации [3].

Предложенный механизм имеет значение для теории и практики обеспечения экономической безопасности: он переводит цифровые угрозы из категории технических инцидентов в категорию объектов финансовой стратегии, подлежащих количественной оценке, резервированию и мониторингу наравне с традиционными финансовыми рисками, что согласуется с выводом о критических финансовых факторах как основе определения способа деятельности организации [4]. Способность организации к целенаправленной трансформации ресурсной базы в ответ на цифровые риски и возможности определяется её динамическими способностями [5], что подчёркивает непрерывный, а не разовый характер управления ИКТ-рисками в рамках финансовой стратегии. Поскольку выявленные закономерности влияния цифровой трансформации на финансовую стратегию носят надотраслевой характер, предложенный механизм применим не только к организациям реального сектора, но и к субъектам хозяйствования транспортного комплекса, для которых обеспечение экономической безопасности в условиях цифровизации транспортных систем приобретает возрастающую актуальность.

Список литературы

1 **Филютчик, Т. А.** Финансовое обеспечение инновационной деятельности промышленных организаций: тенденции и перспективы развития / Т. А. Филютчик // Социально-экономические, демографические и исторические исследования на Севере России – Подоплеловские чтения : материалы V Всерос. науч.-практ. конф. (с междунар. участием), Новосибирск, 17–19 дек. 2025 г. / Ин-ты социально-экономических и энергетических проблем Севера, языка, литературы и истории ФИЦ Коми НЦ УрО РАН. – Сыктывкар, 2026. – С. 63–69.

2 **Иршенко, В. С.** Совершенствование системы финансового управления коммерческих организаций в условиях цифровизации / В. С. Иршенко, Е. Б. Федотова // Экономика и бизнес: теория и практика. – 2022. – № 5–2. – С. 28–33.

3 JPMorgan Chase & Co. Annual Report 2024. – New York : JPMorgan Chase, 2025.

4 **Жихарев, И. К.** Особенности формирования и реализации финансовой стратегии организации в условиях цифровизации / И. К. Жихарев // Экономика и бизнес: теория и практика. – 2024. – № 4–1. – С. 180–182.

5 **Teece, D. J.** Explicating Dynamic Capabilities: The Nature and Microfoundations of (Sustainable) Enterprise Performance / D. J. Teece // Strategic Management Journal. – 2007. – Vol. 28, № 13. – P. 1319–1350.

УДК 330.322:656.2

АВТОМАТИЗАЦИЯ ИНВЕСТИЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ КАК ФАКТОР ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОТРАСЛИ

Е. О. ФРОЛЕНКОВА, Р. Н. БРОСАЛИН, Р. С. АБРАМЦОВ
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Деятельность железнодорожного транспорта в части инвестиционного планирования относится к сфере управления проектами с государственным участием и ориентирована на достижение стратегических целей развития транспортной инфраструктуры. Основным результатом инвестиционной деятельности является реализованный проект (строительство, реконструкция, техническое перевооружение), обеспечивающий повышение пропускной способности, безопасности перевозок или снижение эксплуатационных затрат. В рамках выполнения инвестиционных проектов на железной дороге используется поэтапная организация: формирование потребности в инвестициях, разработка технико-экономического обоснования (ТЭО), рассмотрение и утверждение, распределение бюджета, реализация и контроль. Указанные этапы соответствуют общепринятым моделям жизненного цикла проекта, регламентированным стандартами ISO 21500:2012 «Руководство по управлению проектами» и ГОСТ Р 54869–2011 «Проектный менеджмент» [1].

Организация инвестиционной деятельности на железной дороге строится на принципах централизованного планирования и децентрализованной инициативы. Каждый инвестиционный проект ограничен по срокам, бюджету и курирующему подразделению. Структурные подразделения (отделения дороги, локомотивные и вагонные депо, дистанции пути, службы связи и др.) выступают заявителями проектов. Они разрабатывают ТЭО, обосновывают потребность в инвестициях и направляют заявки в ответственное подразделение. В рамках рассмотрения заявок формируется экспертная оценка, определяется приоритетность и принимается решение о включении проекта в инвестиционную программу. Эффективность деятельности предприятия во многом зависит от качества и обоснованности инвестиционных решений, своевременности распределения средств и контроля их целевого использования [2].

В условиях ограниченного инвестиционного бюджета и высокой потребности в обновлении основных фондов особое значение приобретает формализация и автоматизация процессов оценки и отбора инвестиционных проектов. В настоящий момент на железной дороге отсутствует единая стандартизированная форма ТЭО. Разработка обоснований выполняется в свободной форме, что приводит к неоднородности содержания, различиям в уровнях детализации и показателях. Анализ поступающих заявок производится вручную специалистами инвестиционного подразделения, без использования специализированных инструментов поддержки принятия решений. Приоритезация проектов в значительной степени основывается на экспертной оценке, что снижает объективность и прозрачность распределения бюджета.

Дополнительной сложностью является отсутствие централизованного хранилища данных по инвестиционным проектам. Информация о ТЭО, экспертных заключениях, плановых и фактических показателях может храниться в разрозненных документах (локальные файлы, электронные таблицы, бумажные носители), передаваться по электронной почте и не иметь единого контроля версий. Это создает риски потери данных, дублирования и несогласованности информации, а также увеличивает время на поиск и обработку.

В процессе реализации инвестиционных проектов контролирующие органы (финансовое управление, инвестиционная служба) нуждаются в оперативной информации о ходе выполнения работ,

освоении бюджета и соблюдении сроков. В настоящий момент такой контроль осуществляется на основе периодически предоставляемых отчетов, что не позволяет своевременно выявлять отклонения и принимать корректирующие меры. Отсутствие автоматизированного механизма сопоставления плановых и фактических показателей затрудняет мониторинг эффективности инвестиций.

Таким образом, объект проектирования будет представлять собой совокупность организационных, информационных и управленческих процессов, связанных с инициированием, оценкой, отбором и контролем реализации инвестиционных проектов на железной дороге. Наличие значительного объема неструктурированных данных, необходимость их систематизации и многокритериального анализа, а также потребность в повышении объективности и прозрачности инвестиционных решений обуславливают актуальность разработки специализированной информационной системы. Вновь проектируемая система должна обеспечить стандартизацию ввода данных (единый шаблон ТЭО), автоматическое ранжирование проектов по интегральному рейтингу, инструменты аналитической поддержки (фильтрация, визуализация, экспорт отчетов) и контроль исполнения (учет инвестиций, затрат, прогресса работ).

Дополнительной особенностью рассматриваемой предметной области станет необходимость разграничения прав доступа между участниками процесса. Выделяются три ключевые роли: заявитель (структурное подразделение, разрабатывающее ТЭО), инвестор (ответственное лицо, принимающее решение о финансировании) и администратор (обеспечивающий сопровождение системы). Каждая роль имеет строго определенные полномочия, что требует реализации гибкой системы аутентификации и авторизации.

Реализация такого решения позволит повысить прозрачность управления инвестиционными проектами, оптимизировать использование бюджетных средств, сократить временные затраты на анализ заявок и создать основу для объективного ранжирования инициатив, что соответствует современным требованиям к цифровой трансформации государственных предприятий и внедрению проектного управления в организациях с государственным участием [2].

В условиях необходимости автоматизации процессов управления инвестиционными проектами на предприятиях железнодорожного транспорта, а также в смежных отраслях (строительство, энергетика, промышленность), в настоящее время существует ряд программных решений, которые условно можно разделить на следующие группы:

– корпоративные информационные системы класса ERP (Enterprise Resource Planning), включающие модули управления инвестициями и проектами;

– специализированные системы управления проектами;

– инструменты бизнес-аналитики (BI) и многокритериального анализа;

– комбинированные решения на основе электронных таблиц и офисных приложений;

– ведомственные и отраслевые информационные системы, разрабатываемые под конкретную организацию.

Ведомственные и отраслевые информационные системы разрабатываются непосредственно под нужды конкретной организации. На железной дороге уже функционирует ряд корпоративных информационных систем (например, автоматизированная система управления грузовыми перевозками). Однако система управления инвестиционными проектами, интегрирующая функции сбора заявок, стандартизации ТЭО, автоматического ранжирования, аналитики и контроля, в настоящее время отсутствует.

Создание собственной специализированной системы позволит:

– точно учесть требования железной дороги к формам ТЭО, составу показателей, порядку согласования;

– обеспечить работу в защищенном внутреннем контуре, соответствующем требованиям информационной безопасности объектов инфраструктуры;

– реализовать гибкий механизм расчета рейтинга с возможностью настройки весовых коэффициентов;

– предоставить веб-интерфейс для всех ролей (заявитель, инвестор, администратор) без необходимости установки дополнительного ПО на рабочие станции.

Разработка собственной системы позволит реализовать именно тот набор функций, который необходим железной дороге, с возможностью дальнейшего развития и интеграции с существующими корпоративными системами (Active Directory, электронный документооборот). Разрабатываемые модули являются критически важными компонентами системы, обеспечивают прозрачность, безо-

пасность и обоснованность инвестиционных решений, а также действенный мониторинг исполнения проектов.

Список литературы

1 ГОСТ Р 54869–2011. Проектный менеджмент. Требования к управления проектом. – Введ. 01.09.2012. – URL: https://www.isopm.ru/download/gost-54869.pdf (дата обращения: 12.09.2026).

2 **Ван дер Аалст, В.** Управление бизнес-процессами: от теории к практике / В. ван дер Аалст. – М. : Вильямс, 2019. – 480 с.

УДК 338.47:004.8

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ИИ КАК ФАКТОР ПОВЫШЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЛОКАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

О. А. ХОДОСКИНА, В. А. ЛАПТЕВ
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Для современной экономики локальные транспортные системы выступают важнейшим звеном производственной инфраструктуры, обеспечивая бесперебойную экономическую деятельность не только предприятий, но и целых регионов. От эффективности функционирования транспортного комплекса напрямую зависят ритмичность логистических процессов, структура себестоимости готовой продукции и итоговая рентабельность производства. В условиях современной экономической динамики обеспечение экономической безопасности локальных транспортных систем приобретает первостепенное значение. При этом в настоящее время независимо от вида транспорта структурные транспортные подразделения сталкиваются с широким спектром угроз своей финансово-экономической стабильности: неконтролируемый рост эксплуатационных расходов (топливно-энергетические ресурсы, запасные части), неоптимальная диспетчеризация маршрутов, неэффективное распределение нагрузки на подвижной состав, а также риски оппортунистического поведения персонала (хищения горюче-смазочных материалов, скрытые простои, нецелевое использование техники) и др. [1]. Традиционные методы финансового контроля и анализа издержек зачастую носят ретроспективный характер, т. е. констатируют факт уже понесенных организацией убытков или неэффективного использования средств, а надежная защита требует перехода к предиктивному управлению. Внедрение элементов ИИ позволяет непрерывно анализировать массивы телеметрической информации, выявлять уязвимости и формулировать превентивные решения, минимизируя потенциальный материальный ущерб.

Практическая интеграция технологий искусственного интеллекта в локальные транспортные системы позволяет сформировать многоуровневую архитектуру защиты от непредвиденных экономических потерь. На современном этапе можно выделить три ключевых направления, в которых алгоритмы машинного обучения демонстрируют наибольшую финансовую отдачу. Во-первых, это интеллектуальная маршрутизация и динамическая оптимизация логистических цепочек. Традиционные системы диспетчеризации опираются на статические алгоритмы, в то время как нейросети способны перестраивать маршруты в режиме реального времени, учитывая загруженность дорожной сети, погодные условия, весогабаритные характеристики транспорта и приоритетность грузов. Внедрение таких систем приводит к существенному сокращению непроизводительных пробегов, прямому снижению расхода горюче-смазочных материалов и замедлению темпов износа транспортных средств. Экономическая безопасность в данном случае обеспечивается за счет разностороннего эффективного контроля над переменными издержками предприятия.

Во-вторых, внедрение систем предиктивной аналитики технического состояния на основе использования массивов данных с бортовых датчиков и телеметрии, когда алгоритмы ИИ анализируют модели работы узлов и агрегатов (вибрационные нагрузки, температурные режимы, потребление энергии). Интеллектуальные системы способны выявлять аппаратные аномалии на ранних стадиях, сигнализируя о необходимости вмешательства задолго до возникновения поломки. Такой переход от регламентного обслуживания к обслуживанию по фактическому предупредительному износу исключает колоссальные финансовые потери, связанные с внезапным выходом техники из строя, срывом графиков поставок и потребностью в дорогостоящем капитальном ремонте.

В-третьих, автоматизация контроля и снижение рисков некорректного поведения работников, что достигается за счет того, что системы машинного зрения и видеоаналитики, интегрированные с нейросетями, позволяют в автоматическом режиме осуществлять мониторинг сохранности грузов и соблюдения протоколов безопасности. Интеллектуальный мониторинг мгновенно фиксирует несанкционированные отклонения от заданного маршрута, аномалии в расходе топлива, свидетельствующие о его возможных хищениях, или, например, факты использования служебного автопарка в личных целях. Тем самым нивелируется влияние «человеческого фактора», традиционно выступающего одной из главных угроз экономической безопасности на локальном уровне, и перекрываются каналы прямых финансовых потерь.

Внедрение интеллектуальных систем инициирует глубокую трансформацию финансовых показателей работы транспорта, что наглядно прослеживается при исследовании динамики и структуры затрат. Проведение факторного анализа себестоимости транспортных услуг до и после интеграции элементов ИИ демонстрирует качественное смещение акцентов: доля переменных материальных расходов (в первую очередь горюче-смазочных материалов и агрегатов для срочного ремонта) закономерно снижается, в то время как удельный вес затрат на обслуживание IT-инфраструктуры возрастает. Подобная реструктуризация расходов свидетельствует о переходе предприятия к более управляемой и предсказуемой экономической модели. При этом применение методов факторного анализа позволяет изолированно оценить влияние ИИ на устранение финансовых потерь, генерируемых «человеческим фактором». Ошибки ручной диспетчеризации, нерациональный стиль вождения (если мы рассматриваем пример автотранспорта) и скрытые простои традиционно выступают непредсказуемыми факторами перерасхода материальных ресурсов. Автоматизация контроля переводит эти издержки в категорию управляемых величин, обеспечивая высокую степень прозрачности расходования оборотных средств и средств целевого финансирования, выделяемых на поддержание и обновление транспортной инфраструктуры [3].

Следует отметить, что особое значение применение предупредительной алгоритмизации приобретает в условиях жесткого государственного ценового регулирования тарифов на транспортные услуги. Когда возможности компенсации растущих издержек за счет экстенсивного повышения цен ограничены антимонопольным законодательством, именно внутренние резервы эффективности становятся гарантом выживаемости любого предприятия. Оптимизация процессов средствами машинного обучения позволяет удерживать рентабельность в требуемых нормативных рамках, снижая себестоимость «изнутри». Кроме того, интеллектуальный мониторинг оказывает прямое позитивное воздействие на показатели фондоотдачи. Минимизация времени нахождения техники в непредвиденном ремонте за счет применения системы предупредительного ремонтно-технического обслуживания увеличивает коэффициент экстенсивного использования подвижного состава. Как следствие, локальная транспортная система получает возможность выполнять заданный (или возрастающий) объем работы с привлечением меньшего количества основных производственных фондов, что фундаментально укрепляет финансовую устойчивость и экономическую безопасность организации.

В заключение следует отметить, что внедрение элементов искусственного интеллекта кардинально трансформирует саму концепцию экономической безопасности локальных транспортных систем. Из инструмента пассивного надзора и ретроспективной фиксации убытков она эволюционирует в проактивную систему непрерывной оптимизации производственно-коммерческих процессов. Технологии предиктивной аналитики, алгоритмы машинного обучения в логистике и автоматизированный нейросетевой мониторинг позволяют транспортным организациям эффективно локализовывать и нивелировать финансовые риски: перерасход горюче-смазочных материалов, преждевременный износ основных производственных фондов и негативное влияние «человеческого фактора». Однако, вместе с тем, масштабное развертывание подобных интеллектуальных систем требует соответствующей адаптации локальной нормативной и методической базы предприятия. В частности, для корректной интеграции IT-инструментов в финансовую архитектуру необходима актуализация учетной политики в области признания программных комплексов на базе ИИ в качестве нематериальных активов, а также разработка обновленных регламентов списания затрат на информационную инфраструктуру. Только комплексный подход, объединяющий передовые технологические инновации с грамотным финансово-экономическим анализом, способен обеспечить локальным транспортным системам надежную защиту экономических интересов и устойчивый рост рентабельности в условиях жестких тарифных ограничений.

Список литературы

1 **Еловой, И. А.** Управление экономикой и безопасностью транспортного комплекса / И. А. Еловой. – Гомель : БелГУТ, 2023. – 254 с.

2 **Михальченко, А. А.** Особенности формирования государственных программ развития транспорта в XXI в. / А. А. Михальченко, В. С. Коцур // Тихомировские чтения : синергия технологии перевозочного процесса : материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Гомель : БелГУТ, 2021. – С.250–253.

3 **Ковалев, А. И.** Интеллектуальные транспортные системы: оценка экономической эффективности и рисков / А. И. Ковалев. – Минск : Выш. шк., 2024. – 210 с.

УДК 338.47:004.8

СОВРЕМЕННЫЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ И ВОЗМОЖНОСТИ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ В ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СТРУКТУРНЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

О. А. ХОДОСКИНА, И. А. МАРДАНОВА
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Повышение эффективности функционирования транспортной системы является одним из приоритетных направлений государственной политики Республики Беларусь. В программных документах, определяющих стратегию инновационного развития страны, прямо указывается на необходимость ускорения научно-технологического прогресса и масштабной цифровизации экономики. При этом подчёркивается, что в условиях исчерпания факторов экстенсивного роста именно цифровизация и технологии искусственного интеллекта становятся главным акселератором экономического развития, постепенно выходя за отраслевые рамки и охватывая все сферы жизнедеятельности. На первом этапе в качестве приоритетного направления инновационного развития транспорта определено повышение уровня информатизации транспортных процессов за счёт внедрения систем интеллектуального управления и мониторинга. Второй этап, охватывающий 2026–2035 годы, предусматривает ускоренное развитие единой интеллектуальной транспортной системы, что позволит достичь мирового уровня развития транспортного комплекса Республики Беларусь и повысить его конкурентоспособность.

С учетом этого следует отметить, что интеллектуальное управление перевозками должно быть направлено на реализацию комплекса взаимосвязанных задач, таких как сквозное оперативное управление и использование единой информационной модели всеми участниками деятельности; формирование оперативных информационных сервисов и технологического взаимодействия участников перевозочного процесса; сквозной автоматизированный контроль исполнения режимов технологических процессов; оперативно-технологическую экономическую оценку разрабатываемых планов; оперативное прогнозирование и оценку стоимости непроизводительных потерь технологических процессов. При этом для всех уровней управления (сетевого, дорожного, линейного) и оперативных задач целесообразно применение единых принципов описания проблемной среды и поиска рациональных управленческих решений, включая использование адаптивных методов планирования и сценарных подходов.

Также наряду с концептуальными разработками в области управления перевозочным процессом в структурных подразделениях Белорусской железной дороги уже сейчас реализуется ряд практических проектов, демонстрирующих возможности применения интеллектуальных технологий. В частности, одним из значимых направлений является автоматизированная разработка энергоэффективных графиков движения поездов. Такой программный продукт позволяет в автоматизированном режиме разрабатывать несколько вариантов пропуска поездов и выбирать из них на основании технико-экономических расчётов оптимальный, что способно значительно сократить затраты времени (как при планировании, так и непосредственно при осуществлении перевозочного процесса) и оптимизировать материальные расходы, непосредственно связанные с перевозками.

Следует отметить, что в области диагностического обслуживания подвижного состава железной дороги применение интеллектуальных систем позволит значительно сократить фактические расходы на ремонты за счет раннего обнаружения возможных сбоев, мониторинга износа различных элементов и систем подвижного состава. Так, например, специализированные программные про-

дукты, позволяющие интегрировать мониторинг и диагностику подвижного состава в единую интеллектуально-информационно-управляющую систему, способны снизить расходы отдельных структурных подразделений (локомотивных и вагонных депо, дистанции сигнализации и связи), а также сократить общие эксплуатационные расходы железной дороги. С позиции же управления пассажирскими перевозками целесообразно совершенствование на основе национального ядра международной интеллектуальной системы «Экспресс» нового поколения. До настоящего времени в этом сегменте использовалась зарубежная платформа, однако новая концепция предусматривает технологические решения и программное обеспечение, созданные на базе отечественных разработок и компонентов [1–3]. Это позволит снизить зависимость от зарубежных поставщиков, повысить устойчивость инфраструктуры пассажирских перевозок и создать дополнительный потенциал для интеграции с другими национальными системами и международными платформами при сохранении контроля над критически важными процессами. В новой системе заложен значительный потенциал в части интеллектуальных технологий: предусматривается прогнозирование спроса и планирование перевозок, что в таком формате не было реализовано ни в одной из подобных систем.

Также следует отметить продолжающееся развитие сотрудничества Белорусской железной дороги с российскими партнёрами в области применения искусственного интеллекта для развития клиентских сервисов. Соответствующее соглашение, подписанное между БЖД и компанией «РЖД – Цифровые пассажирские решения», ориентировано на развитие цифровых сервисов и услуг для пассажиров с использованием технологий искусственного интеллекта, на основе которого предполагается обмениваться практиками внедрения ИИ-технологий и содействовать подбору решений для развития клиентских сервисов. При этом в области инфраструктурного мониторинга формируется основа для создания цифровых двойников станций и перегонов на базе использования беспилотных летательных аппаратов и технологий искусственного интеллекта. Интеграция таких систем с системами планирования ремонтов и автоматизированными комплексами управления движением поездов позволяет перейти к «безлюдным технологиям» сплошного сбора геопространственных данных в рамках концепции «Цифровая железная дорога». Беспилотные системы мониторинга инфраструктуры железнодорожного транспорта с применением искусственного интеллекта обеспечивают возможность автоматизированного выявления отклонений в состоянии пути и объектов инфраструктуры, что существенно повышает оперативность и достоверность диагностики.

В заключение необходимо отметить, что показательным примером применения интеллектуальных систем в сфере обслуживания пассажиров является пилотный проект Белорусской железной дороги по использованию робота-уборщика с системой искусственного интеллекта на вокзале станции Брест-Центральный. Благодаря системам искусственного интеллекта робот способен самостоятельно распознавать особо крупные загрязнения и точечно реагировать на них, что делает уборку более эффективной. Данный проект демонстрирует практическую направленность интеллектуальных технологий на повышение качества обслуживания пассажиров и оптимизацию трудозатрат.

Таким образом, современные интеллектуальные системы находят всё более широкое применение в деятельности структурных подразделений железнодорожного транспорта Республики Беларусь. Практические проекты в области организации грузовых и пассажирских перевозок, инфраструктурного мониторинга и обслуживания пассажиров уже демонстрируют реальные эффекты от внедрения технологий искусственного интеллекта. При этом приоритетным направлением остаётся обеспечение технологической независимости за счёт создания отечественных программных решений и компонентов. Дальнейшее развитие интеллектуальных систем на железнодорожном транспорте связано с углублением интеграции разрозненных информационных ресурсов в единую цифровую среду, внедрением адаптивных методов планирования и расширением применения беспилотных технологий для мониторинга инфраструктуры.

Список литературы

1 **Ковалев, А. И.** Интеллектуальные транспортные системы: оценка экономической эффективности и рисков / А. И. Ковалев. – Минск : Выш. шк., 2024. – 210 с.

2 **Ерофеев, А. А.** Теория построения интеллектуальной системы управления перевозочным процессом на железнодорожном транспорте : автореф. дис. … д-ра техн. наук : 05.22.08 / А. А. Ерофеев. – Гомель : БелГУТ, 2023. – 44 с.

3 **Ерофеев, А. А.** Процессно-объектный подход к формированию целевой модели интеллектуальной транспортной системы / А. А. Ерофеев, Е. А. Федоров // Интеллектуальные транспортные системы : материалы междунар. науч.-практ. конф., Москва, 25 мая 2023 г. – М. : РУТ, 2023. – С. 125–130.

УДК 336.6

ОБОРАЧИВАЕМОСТЬ ОБОРОТНОГО КАПИТАЛА КАК КЛЮЧ К ФИНАНСОВОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ

Н. Э. ЧУБАРОВА
Белорусский государственный экономический университет, г. Минск

Эффективное использование капитала, авансированного на формирование оборотных активов, достигается путем плановой организации их кругооборота в процессе производства организации. Как отмечала Т. И. Вуколова, «значительная сумма … предприятий направляется на увеличение оборотных средств, которые оказывают существенное влияние на уровень себестоимости и размер чистого дохода. Поэтому совершенствование их планирования является одной из наиболее важных задач в деле повышения эффективности работы … предприятий» [1, с. 9].

Механизм формирования и использования оборотного капитала влияет на ход производства и выполнение финансовых планов организации. Одной из задач финансовых менеджеров и других экономических служб является обеспечение успешного функционирования организации с минимальной необходимой его величиной.

Целью планирования оборотного капитала является определение оптимальной величины, необходимой для обеспечения непрерывного воспроизведения кругооборота оборотных производственных средств и средств обращения в процессе производства, на основе обеспечения предприятию финансовой устойчивости, платежеспособности и кредитоспособности.

Эффективность использования оборотного капитала характеризуется показателями его оборачиваемости. Белорусский ученый-финансист М. И. Ткачук указывает, что «эффективность использования оборотных средств характеризуется скоростью их оборота, т. е. временем, затрачиваемым на последовательное движение оборотных средств через все стадии кругооборота» [2, с. 48].

Как считает экономист И. Щитникова, «коэффициент оборачиваемости средств предназначен для измерения деловой активности, т. е. характеризует, насколько эффективно организация управляет своими средствами» [3, с. 23]. Определить, имеет место ускорение или замедление кругооборота оборотных средств, можно только сопоставлением фактической оборачиваемости данного периода с плановой оборачиваемостью или оборачиваемостью в предыдущем периоде. В результате ускорения оборачиваемости оборотного капитала происходит его высвобождение, которое следует рассматривать как дополнительный источник материальных и денежных ресурсов организации.

Оборачиваемость оборотного капитала – один из ключевых синтетических и в то же время аналитических показателей его использования. Он неразрывно связан с ускорением движения оборотного капитала на каждой стадии его кругооборота. В результате ускорения оборачиваемости оборотного капитала происходит увеличение объема производства и реализации продукции, рост показателей рентабельности и прибыли организации, высвобождение средств из оборота, т. е. организация обходится меньшей суммой средств.

По нашему мнению, при проведении анализа эффективности использования оборотного капитала следует учитывать тот факт, что целью деятельности организации является не столько увеличение скорости прохождения оборотным капиталом стадий кругооборота, сколько получение прибыли. Ускорение оборачиваемости оборотного капитала способствует росту прибыли. Эконо-мист А. С. Головачев совершенно обоснованно указывает на тот факт, что «скорость оборота оборотных средств выступает в качестве мультипликатора, который может способствовать как повышению, так и снижению доходности вложенного оборотного капитала, … скорость оборота оборотных средств – показатель интенсивности, а не эффективности его использования» [4, с. 420].

Успешное управление оборотным капиталом в организации дает ей возможность уменьшить потребность в нем за счет ускорения его оборачиваемости, снизить финансовые риски и улучшить финансовые показатели ее деятельности.

Обеспечение рациональной структуры оборотного капитала, снижение величины производственных запасов, готовой продукции, размера дебиторской задолженности могут существенно повысить ликвидность и финансовую устойчивость организаций. Излишние производственные запасы приводят к росту затрат, отвлечению средств, снижению их оборачиваемости и необходимости вовлекать в оборот дополнительные денежные средства.

Для роста эффективности использования оборотного капитала, ускорения его оборачиваемости необходимо, чтобы темп роста краткосрочных активов был ниже темпа роста выручки от реализации продукции, товаров, работ, услуг и выше темпа роста активов организации. При этом темп роста данных показателей должен быть выше 100 %. Это соотношение является одним из важнейших принципов оценки деловой активности и финансового состояния организации.

Показатели эффективности использования оборотного капитала являются звеном цепи, в которой каждое звено влияет и зависит от других звеньев. Эффективное использование оборотных средств (материально-производственных запасов, готовой продукции, дебиторской задолженности) влияет на оборачиваемость активов, ликвидность, показатели прибыльности организации. Показатели прибыли зависят от своевременности поступления и эффективности распределения и использования выручки от реализации продукции, товаров, работ, услуг, от расходов организации. Рентабельность показывает, насколько эффективно используются ресурсы организации, в том числе оборотный капитал.

Исследование взаимосвязи и взаимозависимости всех доходов, расходов организации, финансовых результатов и других показателей эффективности ее финансово-хозяйственной деятельности является основой для достижения экономического баланса и динамичного, инновационного развития организации. Невозможно организации заниматься, например, только вопросами улучшения использования оборотных средств или показателями роста эффективности использования основных средств. Необходимо совершенствовать использование всех ресурсов организации. При этом методы роста эффективности различных ресурсов и факторов производства различаются, а методы стимулирования едины и должны заинтересовывать трудовой коллектив максимально эффективно использовать совокупность ресурсов.

Для достижения ключевых целей финансовой политики предусматривается решение следующих задач: синхронизация и обеспечение сбалансированности притока и оттока денежных средств; улучшение структуры используемых финансовых ресурсов; повышение устойчивости потока денежных средств и точности планирования. Решение данных задач позволит организации повысить свою финансовую устойчивость. Оборачиваемость оборотного капитала и финансовая устойчивость организации тесно связаны между собой: ускорение оборачиваемости высвобождает из оборота средства, укрепляет независимость бизнеса и его прибыльность. Замедление оборачиваемости ведет к увеличению кредиторской задолженности, необходимости вовлекать в оборот дополнительные денежные средства. Таким образом, оборачиваемость оборотного капитала организации и ее финансовая устойчивость – это ключевые аспекты, которые дают возможность оценить финансовое состояние организации и ее способность управлять своими финансовыми ресурсами.

Список литературы

1 **Вуколова, Т. И.** Финансовое планирование на промышленном предприятии (на примере текстильной промышленности БССР) : автореф. дис. … канд. экон. наук / Вуколова Тамара Ивановна ; Белорус. гос. ин-т нар. хоз-ва им. В. В. Куйбышева. – Минск, 1970. – 26 с.

2 Управление финансовой деятельностью предприятия. Справочник / В. Ф. Близнец, Т. И. Вуколова, М. И. Ткачук [и др.] ; под общ. ред. М. И. Ткачук. – Минск : Мисанта, 1995. – 282 с.

3 **Щитникова, И.** Оборачиваемость средств и деловая активность / И. Щитникова // Финансы. Учет. Аудит. – 2009. – № 1. – С. 22–25.

4 **Головачев, А. С.** Экономика предприятия : учеб. пособие : в 2 ч. / А. С. Головачев. – Минск : Выш. шк., 2008. – Ч. 1.– 447 с.

УДК 330.364:338.47

ИССЛЕДОВАНИЕ И ИДЕНТИФИКАЦИЯ ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИХ ОСНОВ УСТОЙЧИВОСТИ МИКРОЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ ТРАНСПОРТНОЙ ОТРАСЛИ

С. Л. ШАТРОВ, М. О. ДОЛБИКОВА
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Исследованы библиографические источники [1, 2 и др.], раскрывающие поливариантность подходов (системный, экономический, ресурсный, риск-ориентированный, адаптивный), описывающих

многоаспектность категории «устойчивость» с позиции обеспечения динамического равновесия и системности, сохранения потенциала развития организации в зависимости от исследовательской концепции и специфики рассматриваемой микроэкономической системы (таблица 1).

Таблица 1 – **Компаративный анализ исследовательских подходов**

Подход к определению	Авторы	Описание	Преимущества	Недостатки
Системный подход	А. Н. Адилов, А. Л. Булгаков, А. В. Орлова, Л. Л. Терехов	Способность (свойство) целостной системы стабильно функционировать под воздействием различного рода факторов	Комплексный охват организации как единой микроэкономической системы с учетом взаимосвязи всех функциональных подсистем	Сложность идентификации и количественной оценки
Экономический подход	И. Т. Абдукаримов, М. В. Беспалов, А. С. Паршенцев, С. И. Крылов	Соотношение активов и обязательств, при котором организация способна эффективно финансировать свою деятельность, своевременно и в полном объеме погашать свои обязательства	Наличие четкой системы количественных показателей, удобство проведения экспресс-анализа	Остаются без внимания нефинансовые факторы обеспечения устойчивости организации
Ресурсный подход	B. Wernerfelt, Н. С. Рычихина, Н. С. Яшин, Е. С. Григорян	Формируется за счет внутренних ресурсов (материальных и нематериальных) организации, что способствует созданию долгосрочных конкурентных преимуществ, позволяющих сохранять высокую результативность в изменяющейся среде	Ориентирован на формирование долгосрочных конкурентных преимуществ, учитывает значение нематериальных активов, инноваций и уникальных компетенций	Сложность идентификации и количественной оценки
Риск-ориентированный подход	M. Hepfer, T. B. Lawrence, Ю. А. Долгих	Определяется способностью системы своевременно идентифицировать и нивелировать различные виды внутренних и внешних угроз для предотвращения сбоев в работе и достижения долгосрочных целей	Обладает превентивным характером, позволяет своевременно выявлять, оценивать и нейтрализовать потенциальные угрозы	Высокая трудоемкость и стоимость непрерывной актуализации комплексной системы риск-менеджмента
Адаптивный подход	О. В. Коломийченко, В. Е. Рохчин	Динамическое свойство системы адаптироваться к изменениям внешней среды, трансформировать свои процессы и возвращаться в состояние равновесия после дестабилизирующих воздействий	Обеспечивает высокую гибкость, способность трансформации бизнес-процессов в постоянно изменяющихся условиях	Высокие организационные и финансовые затраты на трансформацию процессов

Интерпретация теоретико-методологических основ устойчивости, преимуществ и недостатков различных подходов применительно к организациям транспортной отрасли предопределяет вывод о том, что технико-технологические, финансово-экономические и организационные особенности их функционирования требуют комплексного использования рассмотренных концепций по отношению к формированию системы индикаторов оценки устойчивости микроэкономических систем. При этом реализованная в Республике Беларусь конвергенция национальной учетной модели с международными стандартами учета и отчетности видоизменила и трансформировала подходы к величине и оценке привычных объектов учета, что отразилось на информационных потоках, используемых при определении уровня финансовых индикаторов, позволяющих сделать выводы об устойчивости микроэкономических систем транспортной отрасли, что требует всестороннего исследования, пересмотра устоявшихся подходов и научного обоснования как категорий, используемых в расчетах, так и самих индикаторов, и их нормативной величины.

Аутентичность системы управления технологическими процессами транспортных систем формирует исключительные требования к архитектуре системы индикаторов, включающих как абсолютные, так относительные и интегральные показатели. В условиях возрастающей неопределенности внешней среды она трансформируется в многофункциональный параметр экономической безопасности, аккумулирующий в себе информацию о степени уязвимости бизнеса перед внутрен-

ними и внешними угрозами. Интеграция оценки показателей устойчивости в контур управления экономической безопасностью является необходимым условием для обеспечения конкурентоспособности, а также минимизации рисков в долгосрочной перспективе.

В качестве одного из возможных направлений для дальнейшего исследования в данной области может выступать расширение теоретико-методологического аппарата для оценки устойчивости, включая формирование гибкой системы индикаторов с учетом функциональных областей и специфики деятельности микроэкономических систем.

Список литературы

1 **Адилов, А. Н.** Ключевые аспекты устойчивости и долгосрочности функционирования организации / А. Н. Адилов // Вестник Евразийской науки. – 2023. – Т. 15, № 1. – URL: https://esj.today/PDF/93FAVN123.pdf (дата обращения: 12.09.2026).

2 **Лобан, Н. В.** Стратегическая устойчивость организации и организационные инновации: эмпирическое исследование / Н. В. Лобан // Стратегические решения и риск-менеджмент. – 2025. –№ 16 (1). – С. 89–96.

УДК 339.543:331.1

ЖЕНСКОЕ ЛИЦО БЕЛОРУССКОЙ ТАМОЖНИ: НА СТРАЖЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ГОСУДАРСТВА

О. Н. ШЕСТАК
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Год белорусской женщины – это не просто календарная отметка, а повод по-новому взглянуть на роль женщины в обществе: как она строит повседневность, сохраняет ценности, берёт ответственность и достигает профессионального признания. Сегодня белорусская женщина – это не только хранительница домашнего очага, но и уверенный лидер, высококлассный специалист, управленец, способный брать на себя ответственность в самых сложных сферах государственной деятельности. Особенно показательно, что сферы, которые традиционно воспринимались как строго «мужские», в настоящее время становятся пространством компетентности и силы женского характера. Одной из таких сфер являются таможенные органы Республики Беларусь – система, где важны точность, выдержка, аналитическое мышление и умение действовать в условиях повышенной ответственности [1, 4].

При этом деятельность таможни нельзя рассматривать изолированно от транспорта. Именно транспортные потоки – автомобильные, железнодорожные, воздушные – связывают национальную экономику с внешними рынками, обеспечивают транзитный потенциал страны и одновременно создают зону повышенной ответственности для государства. Таможенный контроль на границе и в транспортно-логистических узлах становится важным инструментом экономической безопасности: он защищает внутренний рынок, обеспечивает поступление таможенных платежей, препятствует незаконному перемещению товаров и поддерживает устойчивость цепей поставок [2].

Республика Беларусь, не имея выхода к морю, объективно зависит от наземных транспортных коридоров и эффективности их таможенного обслуживания. Через территорию страны проходят ключевые маршруты сообщения «Восток – Запад» и «Север – Юг», функционируют международные автомобильные пункты пропуска, железнодорожные переходы, аэропорты. В этих условиях задержка одной партии груза на границе способна вызвать цепную реакцию: срыв сроков поставки, штрафные санкции для перевозчика, рост логистических издержек, а в ряде случаев – остановку производственного цикла у предприятия. Именно поэтому качество и скорость таможенных операций напрямую влияют на экономическую безопасность государства.

Экономическая безопасность на транспорте предполагает защиту экономических интересов государства при перемещении товаров и транспортных средств, недопущение нарушений таможенных правил, обеспечение полноты и своевременности таможенных платежей, а также создание предсказуемых условий для законопослушного бизнеса. Таможенные органы действуют в условиях постоянного информационного давления: меняются правила и подходы, увеличиваются объемы потоков товаров и транспортных средств, растет сложность операций. В таких условиях проявля-

ются качества, которые часто связывают с женским характером: устойчивость, умение действовать в сложных ситуациях, способность сохранять спокойствие и корректность общения [1, 5].

Следует учитывать, что экономическая безопасность на транспорте имеет несколько взаимосвязанных измерений: фискальное (полнота взимания таможенных платежей и сборов), защитное (недопущение ввоза опасных, контрафактных и запрещённых товаров), регулятивное (соблюдение запретов и ограничений, мер нетарифного регулирования), инфраструктурное (бесперебойность транспортного сообщения и транзита) и информационное (достоверность данных о перемещаемых товарах и транспортных средствах). Женщины-таможенники в равной мере участвуют в обеспечении каждого из этих измерений, а в ряде случаев – например, при работе с документами, анализе рисков, коммуникации с участниками ВЭД – их вклад особенно ощутим.

Таможня – это не только контроль, но и коммуникация. Здесь важно не только выявить нарушение, но и объяснить порядок действий, обозначить требования закона и помочь подконтрольному лицу принять правильное решение. Женщина в таможенных органах нередко выступает тем профессионалом, который умеет соединить принципиальность с уважением к человеку. На транспортных направлениях это особенно значимо: перевозчик, экспедитор, водитель или представитель бизнеса находятся в условиях ограниченного времени, а значит, от четкости и корректности таможенного взаимодействия зависит не только законность, но и скорость логистических операций [3, 5].

Важно подчеркнуть и нравственную сторону этой профессии. Таможня стоит на защите интересов государства, но также и на защите законопослушного бизнеса. Женщина-специалист, работающая в таможенной сфере, своей точностью и честностью формирует доверие к системе: бизнес и граждане видят, что правила применяются одинаково и справедливо, что решения принимаются на основе документов и норм права [1, 5]. Такой эффект невозможно создать одним лишь формальным исполнением обязанностей – требуется внутренняя установка на добросовестность, ответственность и уважение к закону. И здесь женский вклад особенно заметен.

Для экономической безопасности транспорта это имеет прямое значение. Доверие к таможенной системе снижает трансакционные издержки, уменьшает риски задержек, делает транзит и внешнеэкономические операции более предсказуемыми. В конечном счете это укрепляет конкурентные позиции национальной транспортно-логистической инфраструктуры.

Кроме того, женщины в таможенных органах активно участвуют в совершенствовании процессов: внедряют новые подходы к работе с информацией, повышают качество контроля, участвуют в подготовке кадров и профессиональном обучении. Современная таможенная служба всё больше опирается на цифровые решения, автоматизацию и анализ данных. А значит, таможенник должен постоянно развиваться, учиться, адаптироваться. Женщина, ориентированная на профессиональное саморазвитие, уверенно проходит этот путь: сочетает традиционную внимательность к документам с готовностью работать в меняющейся технологической среде.

В условиях цифровизации транспортных и таможенных процессов возрастает роль риск-ориентированного контроля, электронного декларирования, предварительного информирования и межведомственного информационного взаимодействия. Женщины-специалисты успешно осваивают эти инструменты, обеспечивая баланс между скоростью оформления и надежностью проверки. Тем самым они вносят вклад не только в фискальную функцию таможни, но и в безопасность транспортных коридоров, защиту рынка от некачественных и опасных товаров, противодействие теневым схемам.

Год белорусской женщины – это возможность признать роль женщин в укреплении институтов государства. Женщина в таможенных органах Республики Беларусь – пример сочетания профессиональной компетентности и личностной ответственности, стремления к порядку и уважения к праву. Ее труд является неотъемлемой частью общего дела: обеспечения законности на таможенной границе, защиты экономических интересов страны и повышения доверия к государственным институтам [4].

Таким образом, женщина, стоящая на страже экономических интересов Республики Беларусь, отражает современную реальность, в которой профессиональный успех определяется знаниями, качеством работы и готовностью брать на себя ответственность. В контексте экономической безопасности на транспорте роль женщин в таможенных органах приобретает дополнительное значение: они участвуют в защите транспортно-логистических потоков, обеспечении устойчивости цепей поставок и формировании уважительного общественного представления о ценности труда. Именно

поэтому признание роли белорусских женщин в таможенных органах имеет важное значение как для укрепления кадрового потенциала, так и для развития безопасной и конкурентоспособной транспортной системы страны.

Список литературы

1 **Острога, В. А.** Таможенная служба Беларуси: гендерный аспект / В. А. Острога // Управление в области таможенного дела : сб. материалов II Междунар. науч. конф., Минск, 20 марта 2015 г. / редкол. : В. Г. Шадурский (отв. ред.) [и др.]. – Минск : Изд. центр БГУ, 2015. – С. 107–109.

2 **Демура, Е. А.** Актуальные вопросы обеспечения экономической безопасности таможенными органами / Е. А. Демура // Актуальные проблемы экономики и права. – 2023. – № 3. – С. 45–52.

3 На малой родине служу. Инспектор таможенной службы ельчанка Анна Мишота: «Знания есть, а опыт дело наживное». – URL: https://www.yelsk.by/2021/07/na-maloj-rodine-sluzhu-inspektor-tamozhennoj-sluzhby-anna-mishota-znaniya-est-a-opyt-delo-nazhivnoe (дата обращения: 30.08.2026).

4 Генеральный консул Республики Беларусь в Стамбуле выступила на панельной сессии «Diplomacy and Women: Representation and Global Equality». – URL: https://istanbul.mfa.gov.by/ru/embassy/news/df84f763d0494dcf.html (дата обращения: 30.08.2026).

5 Обаяние и стержень леди в погонах. – URL: https://www.mgazeta.by/regionalnyij-akczent/obayanie-i-sterzhen-ledi-v-pogonax.html (дата обращения: 30.08.2026).

УДК 657.6

ЦИФРОВИЗАЦИЯ ВНУТРЕННЕГО КОНТРОЛЯ КАК ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ

Т. В. ШОРЕЦ
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Финансово-хозяйственная деятельность любого субъекта хозяйствования нацелена на получение оптимального размера доходов, позволяющих не только обеспечить текущую производственную деятельность, но и создать базу для дальнейшего развития и расширения материально-технической базы. Работа в современных условиях осложняется различными внешними и внутренними рисками, что заставляет управленческий аппарат искать новые методы и инструменты по совершенствованию подходов к разработке и принятию эффективных решений.

Сегодня организации осуществляют свою производственно-финансовую деятельность в условиях высокой динамичности внешней среды, усиления конкурентной борьбы, роста регуляторных требований, что обуславливает рост потребности в надежных механизмах обеспечения устойчивости и управляемости развития. Вследствие этого одно из важнейших значений приобретает эффективно организованная система внутреннего контроля, который не только выступает как инструмент своевременного выявления рисков, предупреждения финансовых и управленческих ошибок, но и повышает уровень достоверности информации, используемой для принятия управленческих решений, что обеспечивает экономическую безопасность компании не только на текущем этапе, но и в отдаленной перспективе.

В настоящее время на внутренний контроль в организации возложены достаточно важные задачи: начиная с обнаружения фактов отклонений от установленных норм, требований и правил, обеспечения достоверности данных внешней и внутренней отчетности и заканчивая разработкой мероприятий по предупреждению фактов мошеннических действий. Таким образом, построение эффективной системы внутреннего контроля в нынешних условиях приобретает особую актуальность.

При этом внутренний контроль железнодорожных предприятий имеет свои особенности, которые связаны с территориальным размещением структурных подразделений, единством технологического процесса перевозок, порядком формирования затрат и доходов от перевозок и с другими факторами, которые требуют особого подхода к построению эффективной системы внутреннего контроля, необходимой для принятия управленческих решений и обеспечения экономической безопасности железнодорожного транспорта.

Большое количество задач, стоящих перед внутренним контролем, и необходимость его регулярного проведения заставляет службы внутреннего контроля испытывать потребность в совершенствовании своей деятельности с помощью цифровизации [2].

Современные цифровые технологии предоставляют службам внутреннего контроля следующее:

– программное обеспечение по управлению как структурными подразделениями внутреннего контроля, так и самим процессом его осуществления;

– анализ больших массивов данных. Он может использоваться для проведения оценки направлений развития, прогнозов, определения присущих и не присущих процессу закономерностей;

– возможность проведения непрерывного внутреннего контроля, представляющего собой обращение к многомерным моделям непрерывной обработки данных. Они позволяют осуществлять оперативную обработку информации для проведения анализа и принятия решений.

Использование цифровых технологий во внутреннем контроле сегодня стало необходимостью. Современная бизнес-среда развивается огромными темпами. В условиях все возрастающей скорости коммуникаций учетная информация, подвергаемая контролю, начинает быстро утрачивать свою актуальность.

Реалии современного мира не оставляют выбора службам внутреннего контроля – уже сегодня необходимо начинать работать с технологиями, связанными со сбором, обработкой, консолидацией и анализом новых форм данных и больших объемов информации. Проведенные исследования позволяют нам выделить несколько основных направлений, способных существенно изменить подходы, сложившиеся в контрольной деятельности:

1) полное оцифровывание процессов, представляющее собой автоматизацию, которая открывает новые перспективы для совершенствования методов контроля и работы с данными, связанных со скоростью и точностью сбора информации;

2) большие данные. Наиболее полно и последовательно развитие методов работы с информацией в контроле реализуется в условиях обращения к большим данным;

3) учет и отчетность в реальном режиме времени. Использование мощных компьютерных систем позволяет получать большое количество различных отчетов по заданным пользователем критериям.

Цифровизация внутреннего контроля представляет собой процесс внедрения и использования систем обработки и передачи данных, которые условно можно разделить на несколько категорий:

– роботизация, что позволяет переложить на машину проведение ряда несложных рутинных операций, которые делает человек (выгрузка, обновление данных, составление отчетов);

– базовая аналитика. Системы базовой аналитики состоят из трех элементов: источники данных (данные, которые генерируются функциональными подразделениями в ходе работы компании), хранилище данных (база данных, которую создают специально с учетом требований к методам принятия решений или предоставляемым отчетам), инструменты визуализации и анализа (позволяют анализировать данные в различных разрезах для принятия решений);

– когнитивная аналитика (искусственный интеллект, машинное обучение). Ее можно использовать в направлениях, среди которых можно выделить оптимизацию процессов, поиск и разработку новых направлений, изучение закономерностей и зависимостей среди заданных значений показателей [3].

Этапы цифровизации системы внутреннего контроля:

– внедрение системы автоматизации контроля и управления бизнес-процессами транспортной компании, что позволит увеличить скорость контрольных процедур и оптимизировать использование ресурсов организации;

– разработка единого корпоративного центра управления данными и аналитики, что позволит получать в режиме реального времени всю необходимую информацию о происходящих бизнес-процессах, анализировать ее для принятия управленческих решений и действовать оперативно в случае возникновения рисков;

– внедрение системы мониторинга контрольных операций, что позволит уменьшить вероятность мошеннических действий со стороны сотрудников, а также избежать ошибок при проведении внутреннего контроля, а также повысить его качество;

– обучение персонала использованию новых цифровых технологий и инструментов с целью повышения эффективность работы;

– формирование единой цифровой стратегии внутреннего контроля, что позволит выстраивать бизнес-процессы в единую цепочку и добиваться максимальной эффективности работы организации;

– развитие системы электронного документооборота, что позволит уменьшить объем бумажной

документации, ускорить процессы обработки и передачи документов, а также обеспечить их более эффективную защиту и хранение [1].

В целом следует отметить, что использование цифровых технологий при проведении внутреннего контроля позволит как упростить проведение процедур, так и оптимизировать контрольные мероприятия с учетом особенностей производственно-финансовой деятельности транспортных предприятий, а также позволит повысить точность и эффективность контроля, уменьшить вероятность ошибок и рисков, а также оптимизировать использование ресурсов организации, что впоследствии приведет к росту финансовых показателей и обеспечит экономическую безопасность транспортной организации в перспективе.

Список литературы

1 **Беккер, Н. А.** К вопросу о цифровизации технологий в сфере финансов и внутреннего контроля / Н. А. Беккер, И. К. Яковлев // Корпоративная экономика. – 2023. – № 3. – С. 23–30.

2 **Строгалев, К. С.** Направления цифровизации системы внутреннего контроля на строительном предприятии / К. С. Строгалев, Т. П. Благодер // Цифровой регион: опыт, компетенции, проекты : сб. ст. VII Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 95-летнему юбилею Брянского гос. инженерно-технологического ун-та. – Брянск, 2025. – С. 772–777.

3 **Шорец, Т. В.** Возможности и направления использования цифровых технологий в аудиторской деятельности / Т. В. Шорец // Транспорт в интеграционных процессах мировой экономики : материалы II Междунар. науч.-практ. онлайн-конференции. – Гомель : БелГУТ, 2021. – С. 95–97.

УДК 656.01:338.242.4

МИРОВАЯ ПРАКТИКА ВВЕДЕНИЯ ОГРАНИЧЕНИЙ ДЛЯ ИНОСТРАННЫХ ПОСТАВЩИКОВ ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКИХ УСЛУГ

Ю. П. ЯКУБУК
БЕЛНИИТ «ТРАНСТЕХНИКА», г. Минск

В системе безопасности на транспорте значимую роль имеют вопросы доступа иностранных организаций и специалистов на национальный рынок транспортно-логистических услуг. Ограничения доступа иностранных поставщиков вводятся многими странами в целях предотвращения экономических и военно-стратегических рисков, связанных с функционированием инфраструктурных объектов, обеспечением непрерывной работы логистических цепей поставок, монополизацией отдельных секторов транспортно-логистической деятельности, кибербезопасностью, техническим обслуживанием критически важных транспортных систем иностранными специалистами.

Изучением вопроса установления ограничений доступа на национальный рынок иностранных поставщиков услуг занимаются как отдельные исследователи, так и международные организации. Так, Организацией экономического сотрудничества и развития (далее – ОЭСР) разработан специальный инструмент – индекс ограничений в торговле услугами – Services Trade Restrictiveness Index (далее – STRI). STRI отражает действующие в 38 странах – членах и партнерах ОЭСР ограничительные меры в отношении торговли услугами, что позволяет оценить открытость международной торговли услугами, осуществить сравнение условий доступа на рынки различных стран в разрезе секторов услуг.

Индекс STRI включает 10 секторов из категории транспортно-логистических услуг: воздушные, морские, железнодорожные, автомобильные перевозки, курьерские услуги, дистрибьюторские услуги, услуги по обработке грузов, услуги по хранению и складированию (включая услуги таможенного склада), таможенно-брокерские услуги и транспортно-экспедиционные услуги. По итогам исследования 2025 г. в части доступа на рынок транспортно-логистических услуг можно отметить высокий уровень ограничений в области воздушного и железнодорожного транспорта. Индексы по услугам грузового автомобильного транспорта, а также услугам по обработке, складированию и экспедированию грузов имеют сравнительно меньшие значения.

Наименьшее количество ограничений по доступу на рынок транспортно-логистических услуг применяют Чехия, Испания, Нидерланды, Япония, Бразилия, Латвия, Португалия. Наибольший уровень ограничений характерен для Таиланда, России, Израиля, Вьетнама, Филиппин, Индии, Мексики, Турции, Казахстана, США и Перу. Если рассматривать период 2014–2025 гг., то наибольшее

количество новых ограничений среди всех стран вводили Польша, Россия, Венгрия, Литва, Дания, Ирландия и Колумбия[1)] [1].

Изучение данных STRI и других научных источников позволило выделить основные ограничения, применяемые различными странами в отношении доступа на национальный рынок иностранных поставщиков транспортно-логистических услуг.

К ограничениям для иностранных физических лиц, занятых оказанием транспортно-логистических услуг, относятся:

– требования к наличию визы для временного въезда/транзита в отношении членов экипажа иностранных автотранспортных средств / воздушных судов. Дополнительными ограничениями являются отсутствие возможности получения визы по прибытии и длительные сроки оформления визы;

– тесты на рынке труда или аналогичные меры для независимых поставщиков услуг;

– ограничение продолжительности пребывания в стране;

– требования о наличии лицензий на осуществление деятельности (применяется в секторах складских, транспортно-экспедиционных и таможенно-брокерских услуг);

– требования о наличии гражданства для капитанов и членов экипажей воздушных и морских судов при предоставлении услуг таможенного брокера.

Общепринятой практикой является запрет на каботажные перевозки.

Во многих странах применяются требования, касающиеся регистрации новых транспортно-логистических предприятий с иностранным капиталом либо ограничивающие их деятельность. Распространенным является требование о лицензировании, причем в некоторых странах условия лицензирования или сам процесс лицензирования не являются полностью прозрачными и недискриминационными для иностранных организаций. Кроме того, существуют требования к минимальному размеру капитала и наличию представительств иностранной организации в принимающей стране.

Для выхода на рынок таможенного хранения в отдельных странах для иностранных организаций требуется лицензия или разрешение, при этом при распределении таких лицензий или разрешений применяются квоты или критерии экономической целесообразности.

В некоторых странах иностранные компании не имеют права участвовать в программе «Уполномоченные экономические операторы».

Ограничения на участие в государственных закупках могут выступать в виде запрета на участие в государственных закупках иностранным компаниям в сфере транспортно-логистической деятельности либо предоставления преимущественного права для национальных поставщиков.

Ограничения по складской деятельности, применяемые некоторыми странами, включают запрет на приобретение и использование земли и недвижимости иностранцами, а также ограничения по приобретению складских мощностей иностранными организациями в портах и аэропортах.

Ряд стран требуют обязательного включения в специализированные реестры. Например, в Российской Федерации с марта 2026 г. был введен обязательный государственный реестр экспедиторов и запрет на деятельность вне его. Особенностью США является наличие большого количества реестров в сфере транспортно-логистической деятельности: реестры автомобильных и морских перевозчиков, автомобильных и морских экспедиторов, брокеров, операторов грузовых цистерн, поставщиков интермодального оборудования и др. Подобные реестры ограничивают возможности для осуществления деятельности на территории страны для поставщиков услуг из других стран.

Наличие системы проверки прямых иностранных инвестиций используется в целях предотвращения получения иностранными субъектами контроля над важными активами или критически важной инфраструктурой. Так, в Европейском союзе действует Регламент о проверке прямых иностранных инвестиций (Регламент (ЕС) 2019/452), предусматривающий обязательное внедрение механизмов проверки всеми государствами-членами, общий минимальный объем национальных механизмов скрининга, включая организации, работающие в секторах транспорта, энергетики или цифровой инфраструктуры, а также осуществляющие складирование стратегически важных сырьевых материалов. Общепринятым правилом является применение системы проверки в транспортном секторе, если доля иностранных инвесторов составляет 25 % и более; в сфере транспортной инфраструктуры – 10 % и более. В 2026 г. Европейский союз принял новое положение о проверке прямых иностранных инвестиций, вступающее в силу с 2028 г., что знаменует собой переход от рамочной основы, основанной на сотрудничестве, к обязательному общему минимальному стандарту ЕС для национальных режимов проверки прямых иностранных инвестиций [2].

[1)] Данные по Республике Беларусь в STRI не представлены.

Таким образом, в мировой практике применяется значительное количество ограничений в отношении иностранных поставщиков транспортно-логистических услуг. Изучение данного опыта позволит Республике Беларусь оценить результаты и последствия использования ограничений в различных странах и сформировать собственную стратегию обеспечения экономической безопасности на транспорте.

Список литературы

1 Services Trade Restrictiveness Index. Sector notes. – URL: https://www.oecd.org/en/topics/services-trade-restrictiveness-index.html#sector-notes (date of access: 11.09.2026).

2 Foreign Investment Screening in the EU: Revised Regulation to Take Effect in 2028. – URL: https://www.jonesday.com/en/insights/2026/07/foreign-investment-screening-in-the-eu-revised-regulation-to-take-effect-in-2028 (date of access: 04.09.2026).

10 ТРАНСПОРТНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПРИ УГРОЗЕ И ВОЗНИКНОВЕНИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

УДК 656.08:614.83

ОЦЕНКА УЯЗВИМОСТИ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ПРИ ТЕХНОГЕННЫХ АВАРИЯХ НА ХИМИЧЕСКИ ОПАСНЫХ ОБЪЕКТАХ

Н. В. АБИБАК, А. С. СМАЛЮГА
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Обеспечение безопасности транспортного комплекса в условиях угрозы возникновения чрезвычайных ситуаций (ЧС) техногенного характера является одной из приоритетных задач государства. Особое место среди техногенных угроз занимают аварии на химически опасных объектах (ХОО), которые зачастую расположены в непосредственной близости от крупных транспортных магистралей и железнодорожных узлов. Выброс химически опасных веществ (АХОВ), таких как аммиак, хлор или сернистый ангидрид, способен в короткие сроки создать обширную зону заражения, парализовав работу автомобильного и железнодорожного транспорта и создав прямую угрозу жизни сотен людей [1].

Уязвимость транспортной инфраструктуры при таких авариях обусловлена комплексом взаимосвязанных факторов. Во-первых, это высокая плотность транспортных потоков. В отличие от промышленных зон, где доступ людей ограничен, магистральные дороги и железнодорожные пути не имеют физических барьеров для распространения токсичного облака. Ветер может перенести его на расстояние в несколько километров, накрыв собой участки дорог, мосты, путепроводы и станции.

Во-вторых, критическую роль играет фактор времени. При возникновении ЧС на ХОО у водителей и машинистов нет запаса времени на раздумья. Если система оповещения не сработает мгновенно, в зону заражения попадут сотни единиц техники. Особую опасность представляет собой так называемый «эффект домино»: водитель, потерявший сознание из-за воздействия токсинов, теряет контроль над управлением, что приводит к массовым ДТП, блокирующим дорогу и затрудняющим проезд спасательных служб. Аналогичная ситуация складывается и на железной дороге: машинист, подвергшийся воздействию АХОВ, может не успеть применить экстренное торможение.

В-третьих, сама транспортная инфраструктура может стать источником вторичных факторов поражения. Разлив АХОВ на проезжую часть делает невозможным движение транспорта по данному участку на длительное время, требуя проведения сложной дегазации. Помимо этого, токсичные вещества могут повредить элементы обустройства дорог, системы связи и сигнализации, а также вывести из строя электронику современных автомобилей и локомотивов.

Для минимизации рисков и повышения безопасности транспортной системы в условиях угрозы химического заражения необходим комплексный подход, включающий несколько уровней защиты.

Первый уровень – превентивный мониторинг и прогнозирование. Современные интеллектуальные транспортные системы (ИТС) должны быть интегрированы с автоматизированными системами контроля химической обстановки. Датчики, установленные на потенциально опасных объектах и вдоль крупных магистралей, должны передавать данные о концентрации вредных веществ в единые центры управления. Это позволит с помощью математических моделей (например, гауссовой модели рассеивания примесей) прогнозировать направление и скорость распространения токсичного облака в реальном времени. При получении сигнала тревоги система должна автоматически запускать алгоритмы динамической маршрутизации.

Второй уровень – оперативное оповещение и управление движением. В случае подтверждения факта выброса АХОВ информация должна мгновенно транслироваться на табло переменной информации, в приложения навигации и по каналам экстренного оповещения. Управление транспортными потоками должно переходить в автоматический режим. Задача ИТС в данном случае – не просто перекрыть движение в сторону зоны заражения, но и организовать безопасные маршруты

эвакуации. Например, при заражении участка трассы М8 система должна перенаправить поток на дублирующие дороги, рассчитав оптимальную пропускную способность для предотвращения образования заторов.

Третий уровень – защита участников дорожного движения. Помимо организационных мер, необходимо внедрение технических средств индивидуальной и коллективной защиты. Для пассажирского транспорта и локомотивных бригад актуально использование портативных газоанализаторов и средств защиты органов дыхания. Для водителей личного транспорта, оказавшихся в зоне ЧС, критически важным является наличие четких инструкций и возможности быстро покинуть опасную зону. В этом контексте большую роль играют придорожные сервисные комплексы, которые могут быть использованы как пункты временного укрытия.

Важным аспектом является и подготовка инфраструктуры к проведению аварийно-восстановительных работ. Спецтехника, предназначенная для ликвидации последствий химических аварий, должна иметь беспрепятственный доступ к зоне ЧС. Для этого в ИТС должны быть предусмотрены специальные «зеленые коридоры», позволяющие спасательным службам двигаться по кратчайшему пути, игнорируя обычные ограничения дорожного движения.

Анализ показывает, что в Республике Беларусь ведется планомерная работа в данном направлении. Функционирует система мониторинга и прогнозирования ЧС, проводятся регулярные учения по гражданской обороне. Однако для кардинального повышения уровня безопасности необходима более тесная интеграция транспортных и спасательных ведомств на уровне цифровых платформ. Создание единого информационного пространства, объединяющего данные от МЧС, ГАИ, дорожных служб и метеорологов, позволит сократить время реакции на ЧС с десятков минут до нескольких секунд.

Таким образом, обеспечение транспортной безопасности при техногенных авариях на ХОО требует перехода от реактивной модели реагирования к проактивной. Только комплексное применение современных систем мониторинга, интеллектуального управления потоками и надежных средств защиты позволит минимизировать потери и сохранить устойчивость транспортной системы страны в условиях чрезвычайных ситуаций.

Список литературы

1 О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера : Закон Респ. Беларусь от 5 мая 1998 г. № 141-З : в ред. Закона Респ. Беларусь от 30.06.2022 г. // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: https://pravo.by/document/?guid=3961&p0=H19800141 (дата обращения: 10.09.2026).

УДК 629.067

АКТИВНЫЕ СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ АВТОМОБИЛЯ: НАУЧНЫЙ ОБЗОР И АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ

А. Д. АВРАМЦЕВ, А. С. ВАЛЕТКА, В. А. МЯТЛИКОВ
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Активные системы безопасности автомобиля представляют собой комплекс электронных и мехатронных устройств, предназначенных для предотвращения дорожно-транспортных происшествий (ДТП) или снижения их тяжести путем вмешательства до момента столкновения. В отличие от пассивных систем (ремни безопасности, подушки безопасности, зоны программируемой деформации кузова), которые минимизируют последствия уже произошедшей аварии, активные системы функционируют в режиме реального времени, анализируя параметры движения транспортного средства, состояние дорожного покрытия и окружающую обстановку.

К базовым активным системам относятся антиблокировочная система тормозов (ABS), электронная система распределения тормозных усилий (EBD), система помощи при экстренном торможении (BAS/EBA), противобуксовочная система (TCS/ASR) и электронная система курсовой устойчивости (ESC/ESP/DSC). Более современные решения входят в состав Advanced Driver Assistance Systems (ADAS) и включают автоматическое экстренное торможение (AEB), адаптивный

круиз-контроль (ACC), систему удержания в полосе (LKA), предупреждение о выходе из полосы (LDW), мониторинг слепых зон (BSD) и системы мониторинга состояния водителя (DMS) [1].

Система ABS предотвращает блокировку колёс при интенсивном торможении, сохраняя управляемость автомобиля и сокращая тормозной путь на скользких покрытиях. Электронная система курсовой устойчивости ESC, появившаяся в серийном производстве в середине 1990-х годов, контролирует угол поворота рулевого колеса, скорость вращения колёс, боковое ускорение и угловую скорость рыскания. При обнаружении тенденции к заносу или сносу система выборочно подтормаживает отдельные колёса и (или) снижает крутящий момент двигателя, возвращая автомобиль на заданную траекторию. Многочисленные эмпирические исследования показывают, что ESC снижает количество односторонних ДТП на 35–67 % (в зависимости от типа транспортного средства) и фатальных аварий на 30–50 % для легковых автомобилей.

Система автоматического экстренного торможения AEB использует радары, камеры и (или) лидары для обнаружения препятствий впереди (автомобили, пешеходы, велосипедисты). При критическом сближении и отсутствии адекватной реакции водителя система автоматически создаёт тормозное давление. По данным систематических обзоров, AEB сокращает количество наездов сзади на 25–50 %, а в сочетании с предупреждением о столкновении (FCW) эффективность достигает 38–50 % по данным Insurance Institute for Highway Safety. Реальные данные показывают общее снижение аварийности на 6–15 % после корректировки на долю целевых типов столкновений. Системы LKA и DMS демонстрируют ещё более выраженный эффект: снижение аварийности на 19 и 14 % соответственно [2].

Важным направлением современных исследований является координированное управление подсистемами. Переключение стратегий EBD/ABS в зависимости от коэффициента скольжения позволяет максимально использовать сцепление шин с дорогой. Для ESC применяются адаптивные нечёткие нейроконтроллеры и скользящие режимы, объединяющие управление продольным и поперечным динамическим поведением. Интеграция активных и пассивных систем (оптимизация срабатывания ремней и подушек безопасности в зависимости от прогнозируемой тяжести удара) позволяет дополнительно снижать критерии травмирования головы (HIC) на 20–30 %.

Несмотря на высокую эффективность, активные системы имеют ограничения: зависимость от качества сенсоров в сложных погодных условиях, возможность ложных срабатываний, а также риск снижения внимания водителя при длительном использовании комфортных функций (ACC). Исследования real-world safety performance подтверждают, что системы с высоким уровнем вмешательства и срочности (AEB, LKA, ESC) дают наибольший прирост безопасности, тогда как чисто комфортные системы могут даже незначительно повышать аварийность.

Перспективы развития связаны с глубокой интеграцией искусственного интеллекта, сенсорной фузии (камеры + радар + лидар + event-камеры), V2X-коммуникаций и переходом к полуавтономному управлению (уровни SAE 2–3). Обязательное оснащение новых автомобилей системами AEB, ESC и LKA в Европейском союзе, США, Японии и ряде других юрисдикций уже сегодня формирует новый стандарт безопасности. Массовое внедрение комплекса ESC + AEB + LKA + DMS потенциально способно предотвратить до 30 % ДТП в национальных парках транспортных средств [3].

Таким образом, активные системы безопасности являются ключевым инструментом снижения аварийности и смертности на дорогах. Их дальнейшее совершенствование требует междисциплинарного подхода, сочетающего теорию управления, машинное обучение, сенсорику и анализ больших данных реальной эксплуатации.

Список литературы

1 Технологии помощи водителю: официальные материалы и отчёты // Национальное управление безопасностью движения на трассах (NHTSA). – URL: https://www.nhtsa.gov/vehicle-safety/driver-assistance-technologies (дата обращения: 24.09.2026).

2 Анализ применения систем активной безопасности на автомобилях // КиберЛенинка. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-primeneniya-sistem-aktivnoy-bezopasnosti-na-avtomobilyah (дата обращения: 24.09.2026).

3 Перспективы развития систем активной и пассивной безопасности автомобиля / Т. И. Беленкевич, Р. О. Лис, Е. А. Юрочка Г. А. Дыко // // НИРС АТФ-2024 : материалы 80-й студ. науч.-техн. конф. / редкол.: С. В. Скирковский [и др.] ; под общ. ред. А. С. Поварехо ; сост. А. С. Поварехо. – Минск : БНТУ, 2024. – С. 387–391.

УДК 614.84:629.33

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ОХЛАЖДЕНИЯ ТЯГОВЫХ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ ПРИ ПОЖАРАХ ЛЕГКОВЫХ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ

В. И. АНИСЬКОВ, А. С. ЕФРЕМОВА, Ю. С. ШАТИЛОВ
Университет гражданской защиты, г. Минск, Республика Беларусь

Сегодня доля электромобилей в легковом автопарке Беларуси составляет 2 %, что в численном выражении внушительные 70 тысяч электромобилей [1]. В мировой статистике это 5 % и 56 миллионов автомобилей, оснащенных тяговыми аккумуляторными батареями (далее – АКБ). Причем стремительный рост их количества начался всего 10 лет назад, а это слишком малый срок для всестороннего изучения всех особенностей их эксплуатации. Так, недостаточно изученными остаются вопросы, касающиеся тушения электромобилей.

За период с 2021 по 2026 г. подразделения по чрезвычайным ситуациям 13 раз привлекались для ликвидации пожаров легковых электромобилей. Согласно данным международных исследований [2], количество пожаров электромобилей составляет 20–50 случаев на 100 000 транспортных средств, в зависимости от типа их электрификации. При сохранении роста количества электромобилей будет возрастать количество их пожаров.

Характерной особенностью пожаров электромобилей является тепловой разгон АКБ – стремительное развитие термических процессов с возрастанием температуры до 800–1000 °С в ячейках батарейного модуля с последующим воспламенением. Выход из строя одной ячейки может привести к возгоранию соседних всего за 3–10 секунд на каждую ячейку, что приводит к максимальной интенсивности горения через 30 секунд. При этом, если тепловой разгон АКБ удается прекратить, то остаточной энергии в поврежденных ячейках достаточно для возобновления этого процесса даже в течение двух недель после ликвидации горения.

Еще одним осложняющим фактором является то, что при тепловом разгоне выделяется большой объем водорода, который может скапливаться внутри автомобиля или гаража, тем самым создавая угрозу взрыва. Помимо водорода, выделяются токсичные вещества (фтористый водород (HF), сернистый газ (SO_2), оксиды азота (NO, NO_2), фторид фосфора (PF_3), хлористый водород (HCl), угарный газ (CO)) в таких количествах, что даже на открытых пространствах могут создавать опасные концентрации, воздействие которых в течение нескольких секунд приводит к потере зрения, некрозу легких и летальному исходу. Опасная зона при горении АКБ может достигать радиуса 100 м. Таким образом, пожары электромобилей вследствие теплового разгона АКБ создают угрозу для людей, находящихся не только в непосредственной близости, но и на значительном расстоянии.

Одним из способов замедления теплового разгона АКБ, а также предотвращения его возгорания является охлаждение АКБ. В настоящее время для охлаждения применяются комбинированные стволы с возможностью подачи распыленных струй. Однако это решение имеет недостаточную эффективность, поскольку при размещении такого ствола под автомобилем половина струи направлена вниз. Осложняет тушение то, что АКБ заключена в прочный герметичный корпус для защиты от пыли, влаги и механических воздействий, горение происходит без доступа воздуха и кроме как интенсивным охлаждением остановить тепловой разгон и горение невозможно.

Университетом гражданской защиты разработано подкатное устройство для охлаждения тяговых АКБ легковых электромобилей (рисунок 1) (далее – подкатное устройство), представляющее собой замкнутый квадратный трубчатый контур с равномерно распределенными отверстиями для выхода воды, направленными вверх.

Такая конструкция обеспечивает эффективную подачу огнетушащего вещества по всей площади днища автомобиля, что особенно важно при тушении АКБ, где требуются интенсивное охлаждение большой площади и предотвращение повторного теплового разгона.

При необходимости подкатное устройство можно устанавливать под углом к поверхности, таким образом получая водяную завесу, используемую в качестве теплового экрана для защиты автомобилей или элементов инфраструктуры, находящихся в зоне воздействия теплового излучения от горящего автомобиля, а также для осаждения ядовитых веществ, выделяющихся из АКБ при горении.




Рисунок 1 – Подкатное устройство для охлаждения тяговых АКБ легковых электромобилей

В результате выполнения гидравлического расчета установлено, что разработанное подкатное устройство обладает достаточными гидравлическими характеристиками для применения при пожарах электромобилей. Применение плавных поворотов трубопровода позволило существенно снизить местные гидравлические сопротивления и обеспечить устойчивую работу системы при рабочем давлении 10 атм. Суммарные гидравлические потери составляют ≈6,29 атм., что не превышает рабочего давления системы и подтверждает работоспособность конструкции. Расчетная интенсивность подачи воды 1,5 л/(с·м^2) обеспечивает эффективное охлаждение нижней части автомобиля, включая зоны размещения тяговой аккумуляторной батареи, силовой электроники и высоковольтных элементов.

Таким образом, разработанное подкатное устройство соответствует следующим требованиям:

– эффективная подача огнетушащих и охлаждающих веществ непосредственно на саму АКБ без использования дополнительных приспособлений;

– использование в качестве водяной завесы для минимизации косвенного ущерба от пожара;

– малое время развертывания;

– совместимость с иным оборудованием, применяемым в органах и подразделениях по чрезвычайным ситуациям, в том числе по параметрам производительности (рабочего давления, расхода воды);

– удобство и практичность при эксплуатации, транспортировке и хранении;

– простота и дешевизна конструкции, надежность, долговечность, ремонтопригодность и доступность комплектующих.

После завершения доработки и постановки на производство планируется постановка на вооружение подкатного устройства в подразделения МЧС Республики Беларусь. Это позволит более эффективно ликвидировать пожары электромобилей, а также снизит материальный ущерб от них и вред для здоровья окружающих.

Список литературы

1 Число электрозарядных станций в Беларуси к концу года может вырасти до 3 тыс. // БелТА – Новости Беларуси. – URL: https://belta.by/economics/view/chislo-elektrozarjadnyh-stantsij-v-belarusi-k-kontsu-goda-mozhet-vyrasti-do-3-tys-799129-2026/ (дата обращения: 09.09.2026).

2 Gas vs. Electric Car Fires in 2026 (Shocking Stats) // Autoinsuranceez 2024. – URL: https://www.autoinsuranceez.com/gas-vs-electric-car-fires/ (дата обращения: 09.09.2026).

УДК 624.21.04:519.6

МЕТОДИКА ИНДИВИДУАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВРЕМЕННЫХ МОСТОВ НА ОСНОВЕ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ

С. М. БОБРИЦКИЙ

Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого, Республика Беларусь

В практике эксплуатации железнодорожных линий и автомобильных дорог нередко возникают ситуации, когда требуется устройство временных мостовых переходов. Это могут быть случаи плановой реконструкции или капитального ремонта существующих сооружений, когда пропуск дви-

жения необходимо организовать в обход строительной площадки. Не менее актуальны такие задачи при ликвидации последствий стихийных бедствий – паводков, оползней, землетрясений, а также в условиях военных действий, где вопросы восстановления транспортных коммуникаций приобретают критическое значение. Во всех перечисленных случаях ключевым требованием становится максимально оперативное возведение сооружения при минимальных затратах материалов, без снижения уровня безопасности пропуска поездных или автомобильных нагрузок.

Традиционная практика проектирования таких объектов опирается на использование динамических коэффициентов, заложенных в нормативных документах. Данный подход, безусловно, обеспечивает необходимый запас прочности, однако он является достаточно консервативным и часто приводит к неоправданному завышению внутренних усилий, а следовательно – к излишнему утяжелению конструкций временных сооружений. В то же время современное развитие вычислительной техники и доступность специализированных программных комплексов открывают принципиально иные возможности. Вместо применения усреднённых коэффициентов можно непосредственно моделировать процесс прохождения нагрузки по сооружению с учётом её реальной скорости, фактического расположения осей и динамических характеристик самой конструкции. Это позволяет существенно уточнить напряжённо-деформированное состояние и обоснованно снизить сечения элементов [9].

Настоящая работа посвящена разработке методики индивидуального проектирования временных мостов, основанной на применении численного моделирования движущейся нагрузки. Основная идея заключается в замене упрощённого нормативного подхода с динамическими коэффициентами на более точный динамический анализ методом конечных элементов при окончательном подборе сечений конструктивных элементов.

Анализ нормативных документов [1–6] позволяет выделить три основные группы временных мостовых сооружений в зависимости от назначения и условий эксплуатации.

К первой группе относятся вспомогательные сооружения, возводимые на период капитального строительства или реконструкции [7]. Срок их службы составляет от нескольких месяцев до пяти лет. Работы ведутся в плановом порядке, что даёт возможность выполнять достаточно детальные расчёты и оптимизацию. Основной приоритет здесь – минимизация материальных затрат при обеспечении требуемой надёжности.

Вторая группа – это мосты для восстановления движения в чрезвычайных ситуациях. Они возводятся в сжатые сроки (от нескольких дней до двух лет), и главным требованием становится скорость возведения, а не экономия материалов. В таких условиях особые воздействия (удары, взрывы) не рассматриваются как расчётные.

Третья группа – военные условия, где срок службы может составлять от нескольких часов до нескольких лет, а приоритетами являются максимальная скорость возведения и минимальные габариты конструкций [8]. Здесь применяются специальные военные нагрузки «В» и «ВТ», регламентированные [2].

Нормативная база для расчёта включает [1], которым установлены транспортные нагрузки для мостов (модель 71 для железных дорог, модель LM1 для автодорог). Для военных условий дополнительно привлекаются положения [2]. Собственный вес конструкций определяется согласно [4], особые воздействия – по [5].

Важно отметить, что нормативный динамический коэффициент Φ_2, применяемый для учёта динамического эффекта от движения поезда, является достаточно усреднённой величиной. Для стандартного обслуживания пути он определяется по формуле (6.4) [1, с. 48] и находится в диапазоне от 1,0 до 2,0. Данный коэффициент не учитывает индивидуальные особенности конкретного сооружения, такие как собственные частоты, формы колебаний или фактическое демпфирование, что и приводит к завышению расчётных усилий.

Разработанная методика базируется на идее проведения для каждого конкретного объекта полноценного динамического анализа методом конечных элементов и включает девять последовательных этапов.

На первом этапе выполняется сбор исходных данных: тип и параметры подвижной нагрузки (осевые нагрузки, скорость движения), количество главных балок в поперечном сечении, срок службы сооружения, группа назначения, климатические и инженерно-геологические условия.

Второй этап – классификация объекта по группе назначения и выбор конструктивной формы пролётного строения (балочное, ферменное, арочное), определение типа опор и фундаментов, выбор материалов.

Третий этап – построение конечно-элементной модели всей системы «сооружение – основание». Модель должна включать все главные балки, поперечные связи, опорные части, опоры и, при необходимости, грунтовое основание. Учитываются граничные условия, взаимодействие элементов и геометрическая нелинейность.

На четвёртом этапе прикладываются все виды нагрузок в наиболее неблагоприятных сочетаниях согласно нормативным требованиям. При этом нагрузка от подвижного состава распределяется между главными балками с учётом их количества и жёсткости поперечных связей. В большинстве случаев для двухблочных пролётных строений распределение является симметричным.

Пятый этап – основной – выполнение динамического расчёта методом конечных элементов в нестационарной постановке (Transient Structural). Моделируется движение нагрузки с реальной скоростью по мосту, определяются перемещения, напряжения и ускорения во времени. Этот этап позволяет получить наиболее достоверные усилия, служащие основой для дальнейших проверок и оптимизации.

На шестом этапе выполняется верификация модели – сравнение результатов МКЭ с аналитическими или нормативными значениями. Допустимое расхождение не должно превышать 5–10 %.

Седьмой этап – проверка предельных состояний для каждого элемента: прочность, устойчивость (общая и местная), жёсткость (прогибы, перемещения), выносливость (при количестве циклов нагружения более $5 \cdot 10^4$). Для фундаментов проверяется несущая способность грунта и допустимые осадки.

Восьмой этап – параметрическая оптимизация, которая включает одновременное варьирование геометрических параметров сечения главных балок (высота, толщина стенки, ширина и толщина полок) и их количества. Целевая функция – минимизация общей массы конструкции при выполнении всех ограничений по предельным состояниям.

Девятый этап – принятие окончательного конструктивного решения.

Пример расчёта и анализ результатов. Для демонстрации эффективности методики был выполнен сравнительный расчёт пролётного строения из двух одинаковых главных балок пролётом L = 12 м. Нагрузка – модель 71 (4 оси по 250 кН с шагом 1,6 м, распределённая нагрузка 80 кН/м). Нагрузка распределялась симметрично между балками, т. е. на каждую балку приходилась половина полной нагрузки. Материал – сталь С345.

Начальное сечение одной балки [7]: высота h = 1,6 м, толщина стенки t_w = 18 мм, ширина полки b_f = 450 мм, толщина полки t_f = 35 мм. Геометрические характеристики: площадь A = 0,0603 м², момент инерции I = 0,027196 м⁴, момент сопротивления W = 0,033995 м³, погонный вес g = 4,73 кН/м.

Расчёт по линиям влияния показал, что нормативный момент от временной нагрузки на одну балку (без учёта динамики) составляет 2086,75 кН·м, момент от собственного веса – 85,1 кН·м.

При использовании нормативного динамического коэффициента (Φ_2 = 1,39 при определяющей длине 12 м и стандартном обслуживании) и коэффициентах надёжности γ = 1,35 расчётные моменты составили: M_q = 114,9 кН·м, M_v = 3922,8 кН·м, суммарный M = 4037,7 кН·м. Напряжение σ = = 118,8 МПа при допускаемом 313,6 МПа. Прогиб от нормативной нагрузки f = 5,7 мм при допустимом 40 мм. Таким образом, сечение имеет значительный запас как по прочности, так и по жёсткости.

Статический расчёт МКЭ в ANSYS Workbench с элементами SOLID186 и сеткой 100 мм дал напряжение σ = 72,8 МПа (расхождение с аналитикой 1,8 %) и прогиб f = 5,45 мм (расхождение 4,4 %), что подтвердило корректность модели.

Динамический МКЭ моделировал движение четырёх осей по 125 кН с шагом 1,6 м и распределённой нагрузкой 40 кН/м со скоростью 40 км/ч. Результаты: максимальный динамический прогиб f_{dyn} = 6,10 мм, статический прогиб f_{stat} = 5,45 мм, динамический коэффициент по прогибу Φ_{dyn} = 1,12. Динамическое напряжение σ_{dyn} = 80,1 МПа. Нормативное значение с коэффициентом Φ_2 составило 101,3 МПа.

Сравнительный анализ показывает, что нормативный коэффициент Φ_2 завышает напряжения на 26 % по сравнению с динамическим МКЭ. При этом фактический динамический коэффициент по прогибу (1,12) значительно меньше нормативного (1,39). Это наглядно демонстрирует консервативность нормативного подхода и целесообразность использования точного динамического моделирования для обоснованного подбора сечений.

На основе динамических результатов выполнена оптимизация сечения одной балки с ограничениями по прочности ($\sigma_{dyn} \le 313{,}6$ МПа) и жёсткости ($f_{dyn} \le 40$ мм). Получено оптимальное сечение:

h = 1,4 м, t_w = 14 мм, b_f = 380 мм, t_f = 28 мм. Характеристики оптимизированной балки: A = 0,04088 м², I = 0,014065 м⁴, W = 0,02009 м³, g = 3,21 кН/м. Проверка динамическим расчётом: σ_{dyn} = 79,5 МПа, f_{dyn} = 6,5 мм – условия выполнены.

Масса одной балки составила 38,5 кН, масса пакета из двух балок – 77,0 кН. Исходная масса пакета из двух балок начального сечения была 113,6 кН. Таким образом, оптимизация на основе динамического МКЭ позволила снизить массу пролётного строения на 32,2 % при обеспечении всех нормативных требований.

Практические рекомендации и выводы. На основании выполненных исследований можно сформулировать следующие рекомендации для практического применения.

Для временных мостов с малыми скоростями движения (до 50 км/ч) и короткими пролётами (до 20 м) на предварительных этапах проектирования допустимо использование статического расчёта с нормативным динамическим коэффициентом. Однако для окончательного подбора сечений, особенно для сооружений с длительным сроком службы (группа 1), рекомендуется выполнять верифицированный динамический МКЭ-расчёт. Для мостов в чрезвычайных ситуациях (группа 2) и военных условиях (группа 3) динамический МКЭ также является предпочтительным для ответственных элементов, но для типовых конструкций могут применяться упрощённые подходы с нормативными коэффициентами.

Оптимизацию всегда следует выполнять на основе динамической модели, что позволяет получить экономию материала до 30–40 %. Важно учитывать, что методика предусматривает возможность одновременного варьирования как геометрических параметров сечения балок, так и их количества, что даёт дополнительный потенциал для снижения материалоёмкости и ускорения монтажа.

Усталостные проверки выполняются только при количестве циклов нагружения более $5 \cdot 10^4$ за весь срок службы, что характерно для сооружений группы 1. Для групп 2 и 3 усталостные проверки не требуются. Особые воздействия учитываются только для военных мостов по нормам [2, 5].

Обобщая результаты работы, можно сделать следующие выводы.

Разработана универсальная методика индивидуального проектирования временных мостов, в которой динамические расчёты на основе МКЭ являются основным инструментом для определения усилий и подбора сечений. Нормативные динамические коэффициенты применяются лишь как вспомогательное средство на предварительных этапах.

Выполненный сравнительный анализ трёх методов (нормативный статический с коэффициентом Φ_2, статический МКЭ, динамический МКЭ) показал, что нормативный динамический коэффициент завышает напряжения на 26 % по сравнению с динамическим МКЭ, а динамический коэффициент по прогибу (1,12) значительно меньше нормативного (1,39). Это подтверждает консервативность нормативного подхода и целесообразность использования точного динамического моделирования.

Оптимизация сечения одной балки на основе динамических расчётов позволила снизить массу пакета из двух балок на 32,2 % при обеспечении всех нормативных требований. Внедрение разработанной методики в практику проектирования временных мостов позволит повысить их надёжность, сократить расход материалов и ускорить процесс возведения.

Список литературы

1 ТКП EN 1991-2-2009 (02250). Еврокод 1. Воздействия на конструкции. Часть 2. Транспортные нагрузки на мосты. – Минск : Минстройархитектуры, 2022. – 159 с.

2 Инструкция по проектированию железнодорожных временных и краткосрочных мостов и труб (ПВКМ-79) : утв. Министром путей сообщения СССР И. Г. Павловским 23 апр. 1979 г. – М. : ВНИИ трансп. стр-ва, 1982. – 215 с.

3 ТКП EN 1993-1-9-2009 (02250). Еврокод 3. Проектирование стальных конструкций. Часть 1-9. Усталостная прочность. – Минск : Минстройархитектуры, 2014. – 53 с.

4 ТКП EN 1991-1-1-2009 (02250). Еврокод 1. Воздействия на конструкции. Часть 1-1. Удельный вес, постоянные и временные нагрузки на здания. – Минск : Минстройархитектуры, 2010. – 38 с.

5 ТКП EN 1991-1-7-2009 (02250). Еврокод 1. Воздействия на конструкции. Часть 1-7. Общие воздействия. Особые воздействия. – Минск : Минстройархитектуры, 2022. – 66 с.

6 СН 2.01.01-2022. Основы проектирования строительных конструкций. – Взамен СН 2.01.01-2019 ; введ. 23.11.2022. – Минск : Минстройархитектуры, 2022. – 45 с.

7 **Бобрицкий, С. М.** Проектирование конструкций временных сооружений и устройств для строительства и восстановления мостов : учеб. пособие / С. М. Бобрицкий. – 2-е изд., доп. – Гомель : БелГУТ, 2023. – 215 с.

8 **Бобрицкий, С. М.** Концепция индивидуального формирования структуры временных технических объектов, находящихся под действием нагрузок разной природы / С. М. Бобрицкий // Механика. Исследования и инновации. – 2023. – № 16. – С. 22–27.

9 **Бобрицкий, С. М.** Подходы к проектированию сборно-разборных временных мостов из местных материалов / С. М. Бобрицкий, О. С. Шимановский // Механика. Исследования и инновации. – 2021. – № 14. – С. 11–16.

УДК 624.21:625.1:656.2.08

УГРОЗЫ, ДЕЙСТВУЮЩИЕ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЕ МОСТЫ. ПРИМЕРЫ, МЕТОДЫ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ УГРОЗ

В. А. БОНДАРИК, М. В. ДОМАШКЕВИЧ
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Железнодорожные мосты являются стратегически важными объектами транспортной инфраструктуры, обеспечивающими передвижение войск, техники и грузов. В связи с этим они подвержены различным угрозам [1].

Угрозы бывают техногенные. Они связаны с деятельностью человека и могут привести к авариям и разрушениям на железнодорожных мостах. Техногенные угрозы можно классифицировать следующим образом:

– аварии на мостах. Аварии на мостах могут быть вызваны механическими или электрическими неисправностями, перегрузкой моста, несоответствием проектным нагрузкам или неисправностью подъемных механизмов [2];

– механические неисправности, которые приводят к разрушению опор, пролетных строений или соединений моста;

– перегрузка моста, которая может привести к превышению допустимых напряжений в конструкциях, что вызывает их разрушение;

– пожары и взрывы, возникающие на мостах в результате неправильного обращения с горючими материалами или опасными веществами, а также неисправностей в системах безопасности.

Диверсии могут осуществляться с целью разрушения инфраструктуры, что приведет к нарушению логистических цепочек и затруднению передвижения войск и техники. Диверсанты могут использовать различные методы, включая установку взрывных устройств, подрыв мостов или повреждение путей.

Итог – обрушение моста, повреждение инфраструктуры и нарушение транспортного сообщения.

Например, в 2009 году под Брянском на железной дороге произошли теракты, повлекшие за собой крушение поезда «Невский экспресс».

В 2022 году на территории Республики Беларусь было зафиксировано порядка 17 случаев повреждения устройств автоматики и телемеханики СЦБ, железнодорожных путей и ее объектов, что было выявлено только в квартальный период.

Мост через реку Рова на автодороге Р-67 Борисов – Березино – Бобруйск рухнул в марте 2021 г. Это произошло после того, как по нему проехал многотонный грузовик.

Методы предотвращения угроз: регулярное техническое обслуживание и осмотр систем снабжения мостов; разработка планов действий в случае сбоев и работы систем жизнеобеспечения; усиление охраны мостов; установка систем видеонаблюдения; обеспечение резервного питания, наличия запасных источников энергии гарантирует работу систем даже при отключении основного питания; разработка плана действий на случай сбоев и наличие инструкций, которые помогут оперативно отреагировать на любые неполадки в системах [3].

Обеспечение безопасности железнодорожных мостов требует комплексного подхода, включающего регулярный мониторинг состояния объектов, разработку планов действий на случай угроз, усиление охраны мостов и контрдиверсионные мероприятия. Подготовка к быстрому и эффективному реагированию на возникающие ситуации является ключевым фактором обеспечения безопасности железнодорожных мостов и успешного выполнения поставленных задач.

Список литературы

1 Учебник сержанта транспортных войск : учеб. : в 3 ч. Ч. 2 / Д. В. Ляпоров, С. М. Бобрицкий, А. Н. Романеня [и др.]. – Гомель : БелГУТ, 2025. – 550 с.

2 Повышение живучести мостовых переходов в условиях активного воздействия противника современными средствами поражения / Д. В. Ляпоров, С. М. Бобрицкий, В. В. Томашов, П. А. Кацубо // Строительство и восстановление искусственных сооружений : материалы IX Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 30–31 мая 2024 г. – Гомель : БелГУТ, 2024. – С. 104–107.

3 Методы повышения живучести в системе восстановления мостовых переходов / С. М. Бобрицкий, В. В. Томашов, П. А. Кацубо, Е. В. Печенев // Строительство и восстановление искусственных сооружений : материалы IX Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 30–31 мая 2024 г. – Гомель : БелГУТ, 2024. – С. 65–68.

УДК 624.21/.8

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ БОЛЬШИХ И СРЕДНИХ МОСТОВ НА ОБХОДЕ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ТЕХНИЧЕСКОГО ПРИКРЫТИЯ ОБЪЕКТОВ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Р. А. БРЕУС
Транспортные войска Республики Беларусь

Обеспечение непрерывности транспортного сообщения имеет важное значение при повреждении, разрушении или временном выводе из эксплуатации объектов транспортной инфраструктуры. Для организации движения в обход таких объектов могут возводиться временные большие и средние мосты. Их строительство позволяет восстановить транспортную связь и обеспечить пропуск транспорта на период проведения восстановительных или защитных мероприятий.

Цель данной работы – рассмотреть основные расчетные показатели, необходимые при строительстве больших и средних мостов на обходных маршрутах в рамках технического прикрытия объектов транспортной инфраструктуры.

При проектировании мостовых переходов необходимо обеспечить безопасный пропуск под мостом расчетного расхода воды. Исходя из этого, мостовой переход может быть запроектирован по одному из двух принципиально различных вариантов:

– без стеснения живого сечения при РУВВ с перекрытием мостом всей ширины разлива;

– со стеснением живого сечения при РУВВ с перекрытием мостом части ширины разлива [1].

Для первого варианта расчет отверстия моста не производится. Отверстие назначается без расчета по аналогии с существующим мостом, расположенным вблизи проектируемого.

Во всех остальных случаях требуется расчет отверстия моста, который заключается в определении необходимой площади поперечного сечения потока под мостом при РУВВ $\omega_{тр}$, ширины отверстия между береговыми опорами L и общей длины моста L_n, обеспечивающей получение $\omega_{тр}$.

Требуемую площадь живого сечения под мостом можно определить графоаналитическим и аналитическим методами, а также методом гидравлических эквивалентов [2].

Графоаналитический метод.

Этот метод заключается в аналитическом определении расчетного расхода и назначении отверстия моста с помощью интегрального графика площади поперечного сечения водотока при РУВВ.

Если найден расчетный расход воды, то требуемая площадь живого сечения под мостом с учетом допускаемого размыва русла реки определяется по формуле, м^2,

$$\omega_{тр} = \frac{Q_{расч}}{p\,\xi\,v},$$

где $Q_{расч}$ – расчетный расход воды, м^3/с; p – коэффициент допускаемого размыва, p = 1,1…1,2; ξ – коэффициент сжатия потока, зависящий от величины сжатия потока опорами моста (таблица 1),

$$\xi = \frac{\omega_с}{\omega_м},$$

$\omega_с$, $\omega_м$ – площади сжатого и живого сечения под мостом;

v – средняя бытовая скорость в главном русле или допускаемая неразмывающая скорость течения для данного грунта, м/с.

Таблица 1 – **Коэффициент сжатия потока**

Характер ледохода	Значения коэффициента ξ при пролетах, м							
	4	6	10	20	30	50	80	100
При совпадении ледохода с РУВВ	0,7	0,8	0,85	0,9	0,95	0,97	0,98	0,99
Без совпадения ледохода с РУВВ	0,8	0,85	0,9	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99

Далее задача решается графическим способом (метод Л. Г. Бегама). Для этого на профиль реки по оси мостового перехода (рисунок 1) наносят РУВВ и строят интегральный график площади поперечного сечения. Затем на вертикальной оси графика откладывают отрезок, равный (в масштабе графика) требуемой площади живого сечения под мостом $\omega_{тр}$. Соединив концы этого отрезка горизонтальными прямыми с нижней и верхней ветвями интегральной кривой и опустив перпендикуляры из точек пересечения на горизонтальную ось графика, получим величину и местоположение отверстия моста на профиле русла и поймы.

Изменяя положение отрезка на вертикальной оси, можно найти наиболее рациональное местоположение отверстия, когда оно перекрывает коренное русло и наиболее глубокую часть поймы.

Аналитический метод.

Отверстие моста равнинных рек можно рассчитать аналитическим методом по найденному расчетному расходу $Q_{\text{расч}}$ в такой последовательности:

1 На профиле живого сечения реки по оси мостового перехода построить эпюру элементарных расходов $q_{\text{эл}}$ в бытовых условиях при РУВВ (рисунок 2).

2 По эпюре $q_{\text{эл}}$ определить расход через конкретное русло в бытовых условиях $Q_{\text{бр}}$ а по профилю – ширину коренного русла реки в бытовых условиях $B_{\text{бр}}$.

3 Определить отверстие моста при условии недопущения размыва, м, (т. е. при коэффициенте общего размыва p = 1):

$$L = B_{\text{бр}} \frac{Q_{\text{расч}}}{Q_{\text{бр}}} \frac{1}{\xi}.$$

4 Определить отверстие моста с учетом допускаемого для военных мостов общего размыва по глубине p_{hp} =1,2 по формуле, м,

$$L = B_{\text{бр}} \frac{Q_{\text{расч}}}{Q_{\text{бр}}} \frac{1}{\xi} \frac{1}{p_{hp}^{1+x}}.$$

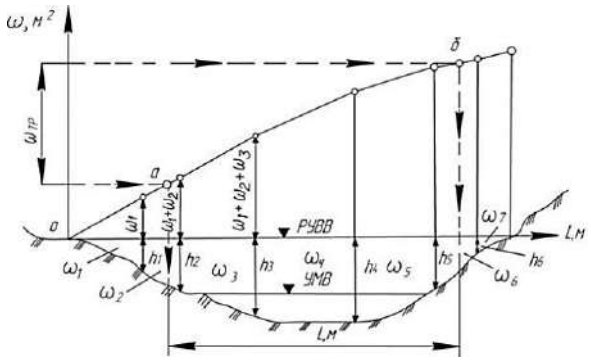


Рисунок 1 – Схема к определению расчетного расхода с помощью интегрального графика

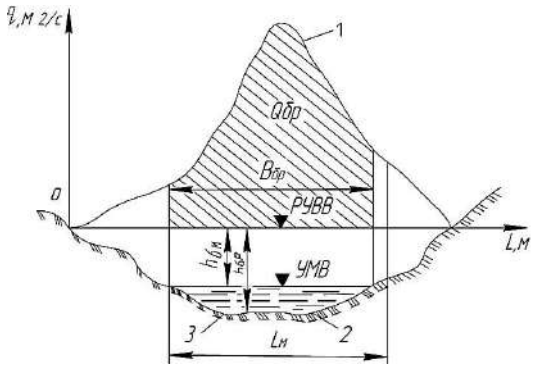


Рисунок 2 – Эпюра элементарных расходов:
1 – эпюра $q_{эл}$; *2* – граница недопущение размыва; *3* – граница допускаемого размыва

Из двух найденных значений отверстия моста принимают то, которое является более экономичным по затратам сил, средств и времени на сооружение моста и подходов к нему. В тех случаях, когда высота насыпи на подходах окажется большой, следует увеличить отверстие моста за счет устройства эстакад на пойменных участках.

Метод гидравлических эквивалентов.

Требуемое отверстие моста можно определить методом гидравлических эквивалентов, предложенным А. А. Каншиным. По этому методу не требуется определять расчетный расход и скорости течения. Необходимы только РУВВ и коэффициент шероховатости главного русла и пойм.

Расчетный расход воды, м^3/с, при РУВВ

$$Q_{\text{расч}} = \omega_{\text{л}} v_{\text{л}} + \omega_{\text{р}} v_{\text{р}} + \omega_{\text{п}} v_{\text{п}},$$

где $\omega_{\text{л}}$, $\omega_{\text{р}}$, $\omega_{\text{п}}$ – площади живого сечения при РУВВ левой и правой пойм и коренного русла, м²; $v_{\text{л}}$, $v_{\text{р}}$, $v_{\text{п}}$ – соответствующие средние скорости течения при РУВВ, м/с.

Тогда требуемая площадь живого сечения под мостом, м^2,

$$\omega_{\text{тр}} = \frac{Q_{\text{расч}}}{\xi p v_p} = \frac{1}{\xi p}\left(\omega_{\text{р}} \frac{v_{\text{р}}}{v_{\text{р}}} + \omega_{\text{л}} \frac{v_{\text{л}}}{v_{\text{р}}} + \omega_{\text{п}} \frac{v_{\text{п}}}{v_{\text{р}}}\right),$$

где отношения $v_{\text{л}}/v_{\text{р}} = K_1$, $v_{\text{п}}/v_{\text{р}} = K_2$ называются гидравлическими эквивалентами левой и правой пойм. Следовательно,

$$\omega_{\text{тр}} = \frac{1}{\xi_{\text{р}}}(\omega_{\text{р}} + \omega_{\text{л}} K_Q + \omega_{\text{п}} K_2).$$

Гидравлические эквиваленты могут быть определены по гидравлическим формулам Шези – Базена:

$$K_1 = \frac{v_{\text{л}}}{v_{\text{р}}} = \frac{\gamma_{\text{р}} + \sqrt{h_{\text{р}}} h_{\text{л}} \sqrt{i_{\text{л}}}}{\gamma_{\text{л}} + \sqrt{h_{\text{л}}} h_{\text{р}} \sqrt{i_{\text{р}}}}; \quad K_2 = \frac{v_{\text{л}}}{v_{\text{п}}} = \frac{\gamma_{\text{р}} + \sqrt{h_{\text{р}}} h_{\text{п}} \sqrt{i_{\text{п}}}}{\gamma_{\text{п}} + \sqrt{h_{\text{п}}} h_{\text{р}} \sqrt{i_{\text{р}}}}.$$

Для равнинной долины и прямого русла можно принять продольные уклоны пойм и русла равными, т. е. $i_{\text{л}} = i_{\text{р}}$; $i_{\text{п}} = i_{\text{р}}$, тогда

$$K_1 = \frac{\gamma_{\text{р}} + \sqrt{h_{\text{р}}} h_{\text{л}} \sqrt{i_{\text{л}}}}{\gamma_{\text{л}} + \sqrt{h_{\text{л}}} h_{\text{р}} \sqrt{i_{\text{р}}}}; \quad K_2 = \frac{\gamma_{\text{р}} + \sqrt{h_{\text{р}}} h_{\text{п}} \sqrt{i_{\text{п}}}}{\gamma_{\text{п}} + \sqrt{h_{\text{п}}} h_{\text{р}} \sqrt{i_{\text{р}}}},$$

где $\gamma_{\text{р}}$, $\gamma_{\text{л}}$, $\gamma_{\text{п}}$ – коэффициенты шероховатости главного русла, левой и правой пойм по Срибному; $h_{\text{р}}$, $h_{\text{л}}$, $h_{\text{п}}$ – средняя глубина русла, левой и правой пойм при РУВВ.

По найденному значению $\omega_{\text{тр}}$ под мостом назначается отверстие по живому сечению в месте мостового перехода. Полученное расчетом отверстие округляется до ближайшего отверстия типовых конструкций.

При строительстве больших и средних мостов на обходных участках в рамках технического прикрытия объектов транспортной инфраструктуры особое внимание необходимо уделять точному определению расчетных показателей. Это обеспечивает надежность и безопасность сооружений, минимизирует риски при эксплуатации и способствует эффективной организации строительного процесса.

Список литературы

1 Восстановление мостов на автомобильных дорогах : учеб.-метод. пособие / А. А. Поддубный, С. М. Бобрицкий, П. А. Кацубо, Е. В. Печенев. – Гомель : БелГУТ, 2023. – 161 с.

2 Мосты и переправы на военно-автомобильных дорогах : учеб. пособие : в 3 ч. Ч. 2 / С. М. Бобрицкий, П. А. Кацубо, Э. П. Кучинский, Я. В. Шутов. – Гомель : БелГУТ, 2021. – 271 с.

УДК 624.05

ПАССИВНЫЕ ЗАЩИТНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ ДЛЯ ОБЪЕКТОВ ПУТЕВОЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

К. А. БЫСТРОВ
Главное управление начальника Железнодорожных войск, Российская Федерация

Железнодорожная инфраструктура является протяжённой системой, в которой надёжность движения зависит от состояния большого числа линейных, станционных и производственных объектов. Отказ отдельных элементов пути, стрелочного хозяйства, земляного полотна, водоотвода или искусственных сооружений способен вызвать ограничение скорости, закрытие перегона, нарушение технологии работы станции и потребность в восстановительных работах.

Проблема состоит в том, что защитные мероприятия часто рассматриваются по отдельным объектам: отдельно для мостов, шкафов автоматики, участков земляного полотна или складов. Такой подход не учитывает функциональные связи. Например, работоспособность мостового перехода определяется не только состоянием пролётных строений и опор, но и состоянием пути на мосту и подходах, подходных насыпей, водоотвода, кабельных трасс и возможностью доступа ремонтных подразделений.

К инфраструктуре железнодорожного транспорта относятся железнодорожный путь, верхнее строение пути, земляное полотно, искусственные сооружения, переезды, пассажирские платформы, а также связанные системы электроснабжения, автоматики, телемеханики и связи [1, 2].

Пассивная инженерная защита должна планироваться не как набор отдельных конструкций, а как элемент содержания, ремонта и обеспечения устойчивости путевой инфраструктуры.

Под пассивной защитой понимаются стационарные конструктивные и планировочные решения, которые ограничивают доступ к опасным зонам, снижают внешние воздействия, защищают оборудование и сохраняют возможность его обслуживания (рисунок 1). В отличие от оперативных мер, такие решения действуют постоянно, однако не должны ухудшать безопасность движения, габарит, видимость сигналов, водоотвод, условия электробезопасности и доступ путевых машин.

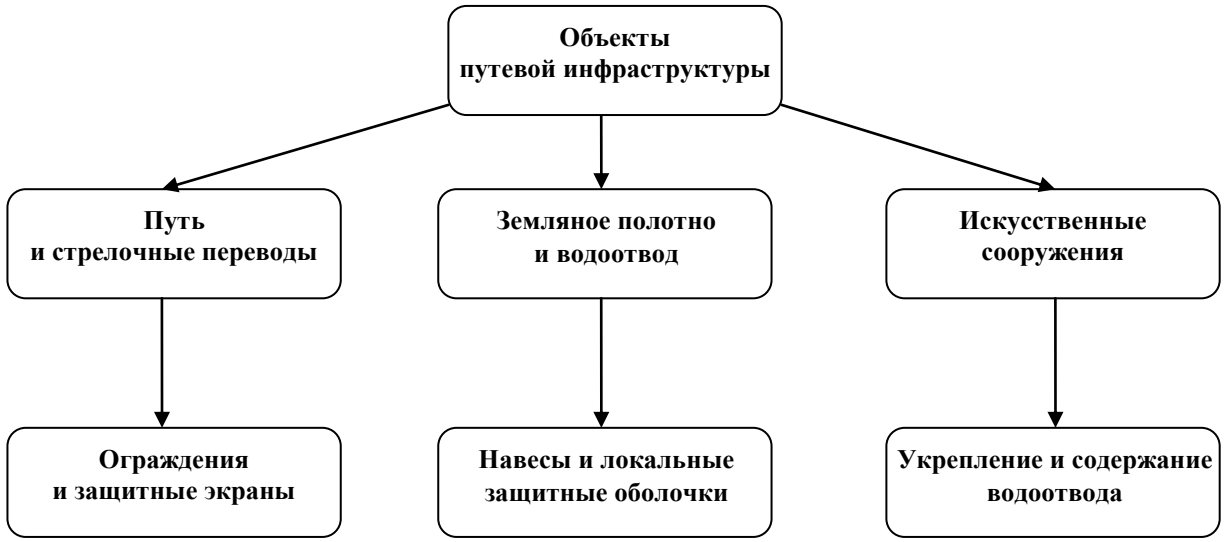


Рисунок 1 – Состав объектов путевой инфраструктуры и направления пассивной защиты

Классификация объектов

Для выбора защитных мероприятий объекты следует классифицировать одновременно по назначению и местоположению.

По назначению выделяются следующие группы:

1) верхнее строение пути: рельсы, скрепления, шпалы, балластная призма, бесстыковой путь;

2) стрелочное хозяйство: стрелочные переводы, остряки, крестовины, контррельсы, приводы и съезды;

3) земляное полотно: насыпи, выемки, откосы, бермы, основная площадка и укрепления;

4) водоотвод: кюветы, канавы, лотки, дренажи, быстротоки, водопропускные трубы и оголовки;

5) искусственные сооружения: мосты, путепроводы, тоннели, эстакады, галереи и подпорные стены;

6) объекты обслуживания: переезды, платформы, пересечения пешеходные переходы;

7) производственные и связанные технические объекты: путевые базы, склады ВСП, аварийный запас, шкафы СЦБ и связи, кабельные трассы.

Для каждого объекта дополнительно фиксируется его положение относительно железнодорожного пути (таблица 1). Это определяет допустимый тип защиты и перечень эксплуатационных ограничений.

Таблица 1 – **Классификация по местоположению**

Зона размещения	Типовые объекты	Приоритетное условие
Непосредственно на пути	Рельсы, скрепления, шпалы, стрелочные переводы, настилы	Сохранение габарита, осмотра, очистки и работы путевых машин
У пути и в междупутье	Приводы, шкафы, кабельные вводы, технологические площадки	Постоянный доступ специалистов и отсутствие помех устройствам автоматики
В полосе отвода	Откосы, кюветы, дренажи, трубы, ограждения	Устойчивость грунта, работоспособность водоотвода и возможность очистки
Над путём и под путём	Мосты, путепроводы, тоннели, пешеходные переходы	Доступ для обследования, безопасность прохода и отвод воды
На станции и производственной территории	Горловины, платформы, путевые базы, склады	Разделение потоков, пожарные проезды и организация технологических работ

Классификация предотвращает применение одинакового решения к объектам с разными условиями эксплуатации. Например, закрытый навес приемлем на базе или складе, но не должен создавать помех в габарите пути либо ограничивать доступ к стрелочному переводу.

К первой группе относятся решения для ограничения доступа и упорядочения перемещений: периметральные и направляющие ограждения, ворота, калитки, ограждение технических площадок, разделение пешеходных и технологических маршрутов. Они применимы на путевых базах, у складов, на подходах к искусственным сооружениям, в опасных зонах переездов и около технических шкафов. Основные требования – коррозионная стойкость, ремонтопригодность, отсутствие препятствий для пожарной техники и регламентный осмотр.

Ко второй группе относятся локальные средства защиты оборудования: обслуживаемые кожухи, антивандальные шкафы, защитные экраны, короба для кабельных трасс, навесы и закрытые технические модули. Они целесообразны для шкафов СЦБ и связи, кабельных вводов, измерительного оборудования, инструмента, аварийного запаса и путевой техники. Важны свободный доступ для диагностики и ремонта, вентиляция, герметизация от влаги, условия заземления и возможность аварийного отключения.

Третья группа – решения для земляного полотна, откосов и водоотвода. К ним относятся противоэрозионные покрытия, геосинтетические материалы, габионные подпорные конструкции, берегоукрепление, укрепление оголовков труб и русел. Их назначение определяется инженерно- геологическими и гидрологическими условиями. Водоотводные устройства должны обеспечивать беспрепятственный отвод воды; защитные элементы не могут создавать условия для засорения или затруднять очистку. Содержание земляного полотна, водоотводных, укрепительных и защитных сооружений регулируется специализированной инструкцией [3].

Четвёртая группа – решения для искусственных сооружений и подходов к ним. Это ограждение доступных служебных зон, локальная защита технических площадок и оборудования, защита опор от случайного наезда транспортных средств, а также организация доступа для обследования и ремонта. Для мостового узла объектом рассмотрения являются не только несущие элементы, но и путь на сооружении, подходные насыпи, водоотвод и технические коммуникации.

Мероприятия следует выбирать по принципу «объект – внешнее воздействие – допустимое решение – эксплуатационное ограничение» (таблица 2).

Таблица 2 – **Матрица выбора мероприятий**

Объект	Применимые решения	Ограничения

Стрелочные переводы, приводы, шкафы	Обслуживаемые кожухи, защищённые вводы, локальное ограждение	Осмотр, очистка, регулировка, работа СЦБ
Кабельные трассы	Короба, защищённая прокладка, антивандальные шкафы	Доступ к соединениям, вентиляция, герметизация, электробезопасность
Мосты, путепроводы, технические площадки	Ограждение доступа, экраны, защита опор от наезда	Обследование, водоотвод, пожарный и аварийный доступ
Насыпи, выемки, откосы	Укрепление грунта, геосинтетика, габионы, берегоукрепление	Изыскания, расчёт устойчивости, дренаж
Кюветы, лотки, трубы	Укрепление оголовков, противоразмывные покрытия, локальные решётки	Пропуск воды и регулярная очистка
Переезды и платформы	Направляющие ограждения, барьеры вне габарита, навесы для оборудования	Видимость, безопасные проходы, эвакуация
Путевые базы и склады	Периметральное ограждение, закрытые навесы, технические модули	Пожарные разрывы, проезды, маршруты техники

Матрица позволяет универсальный подход. Сетка, экран, навес или защитная оболочка имеют различное назначение: сетчатые конструкции ограничивают доступ и локально задерживают крупные посторонние предметы; экраны отделяют уязвимую зону; навесы защищают оборудование и материалы от атмосферных воздействий; укрепительные сооружения обеспечивают устойчивость грунта и защиту от размыва.

Паспортизация и поэтапная реализация

До выбора конкретной конструкции следует создать первичный паспорт объекта пассивной защиты.

Паспорт не заменяет технический паспорт сооружения. Это рабочая аналитическая карточка, позволяющая сопоставить объекты и назначить очередность работ. В неё рекомендуется включать:

– идентификацию объекта: наименование, код, участок, километраж, координаты, балансодержатель, фотофиксацию;

– тип конструкции, техническое состояние, год ввода, результаты осмотров и выявленные дефекты;

– эксплуатационную роль: категорию линии, интенсивность движения, последствия ограничения либо отказа, наличие резервного маршрута;

– внешние воздействия: подтопление, размыв, деформации грунта, доступ посторонних лиц, риск наезда, загрязнение, сезонные факторы;

– существующую защиту: ограждения, экраны, навесы, кожухи, укрепления, водоотвод;

– ограничения: габарит, видимость, контактная сеть, пожарный проезд, доступ путевых машин и ремонтных подразделений;

– рекомендуемое мероприятие, срочность, потребность в обследовании и периодичность контроля.

По результатам паспортизации мероприятия делятся на три очереди. В первую включаются объекты, отказ которых существенно влияет также на безопасность или непрерывность движения, а также объекты с неудовлетворительным водоотводом, выраженными дефектами либо отсутствием базовой защиты доступа. Во вторую очередь входят работы, выполняемые в рамках текущего содержания и планового ремонта: восстановление ограждений, защита шкафов и кабельных вводов, очистка водоотвода, ремонт локальных укреплений. В третью очередь включаются капиталоёмкие решения для мостов, тоннелей, высоких насыпей, глубоких выемок и иных объектов, требующих изысканий, проектирования и специальных согласований.

Паспортизация переводит защитные мероприятия из разрозненных решений в планируемую программу содержания и ремонта. Она позволяет обосновать потребность в финансировании, контролировать выполнение мероприятий и определить объекты, для которых необходимы индивидуальные проектные решения.

Путевая железнодорожная инфраструктура включает взаимосвязанные элементы: верхнее строение пути, стрелочные переводы, земляное полотно, водоотводные и искусственные сооружения, переезды, платформы, производственные базы и связанные технические устройства. Их защита должна рассматриваться как часть эксплуатации, содержания и восстановления инфраструктуры.

Предложено классифицировать объекты по назначению и расположению относительно пути.

Это позволяет выбирать пассивные инженерные решения с учётом реальных эксплуатационных условий. Ограждения, сетчатые барьеры, защитные экраны, навесы, технические модули, укрепительные и водоотводные сооружения имеют различное функциональное назначение; их применение не должно ухудшать габарит, ремонтопригодность, водоотвод, пожарную и электрическую безопасность.

Для формирования программы работ предложена первичная паспортная карточка объекта. Её применение позволяет выделить приоритетные объекты, увязать защиту с текущим содержанием и ремонтом, а для сложных сооружений своевременно назначить обследование и индивидуальное проектирование.

Список литературы

1 ТР ТС 003/2011. О безопасности инфраструктуры железнодорожного транспорта : утв. Решением Комиссии Таможенного союза от 15.07.2011 № 710. – URL: https://unicertgroup.com/tpl/files/tr-ts-003-2011_two.pdf (дата обращения: 02.09.2026).

2 СП 237.1326000.2015. Инфраструктура железнодорожного транспорта. Общие требования : утв. приказом Минтранса России от 06.07.2015 № 208. – URL: https://protect.gost.ru/sp/details/f65536dc-2a82-45e6-957e-50f0d4cc8dib (дата обращения: 02.09.2026).

3 Инструкция по содержанию земляного полотна железнодорожного пути: ЦП-544 : утв. МПС России 30.03.1998. – URL: https://www.tdesant.ru/info/item/82 (дата обращения: 02.09.2026).

4 Железнодорожный путь : учеб. / Е. С. Ашпиз, А. И. Гасанов, Б. Э. Глюзберг, А. М. Никонов. – М. : УМЦ ЖДТ, 2013. – 544 с.

5 **Главатских, В. А.** Искусственные сооружения на железных дорогах: проектирование, строительство, эксплуатация : учеб. пособие / В. А. Главатских, А. Н. Донец. – М. : УМЦ ЖДТ: Транспортная книга, 2009. – 359 с.

УДК 338.27

КАРТА РАССРОЧКИ КАК ИНСТРУМЕНТ ЗАЩИТЫ ЕЕ ДЕРЖАТЕЛЯ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

В. А. ГИРС
Белорусский государственный экономический университет, г. Минск

Карта рассрочки обычно воспринимается как инструмент отложенной оплаты плановой покупки – техники, мебели, поездки. Но у неё есть и другая, менее очевидная функция – возобновляемая кредитная линия. Фактически она даёт держателю мгновенный доступ к деньгам в момент, когда они нужны прямо сейчас, например при внезапной поломке автомобиля, срочном ремонте после аварии на инженерных сетях или иной чрезвычайной ситуации, требующей незапланированных трат. В этом смысле карту рассрочки можно рассматривать не только как удобство для повседневных покупок, но и как своего рода частный резерв ликвидности держателя карточки на случай чрезвычайных ситуаций.

Ключевую роль в вопросе надежности данного инструмента расчетов играет финансовое состояние клиента. По данным Национального банка Республики Беларусь, на 1 января 2026 г. кредитованием было охвачено 68,4 % населения страны, а показатель долговой нагрузки (ПДН), рассчитываемый банками при выдаче новых кредитов, не должен превышать 40 %, для отдельных категорий – 50 % [1, 2]. Если у клиента этот показатель уже близок к предельному значению, а часть лимита по карте рассрочки занята текущими покупками, то в момент реальной чрезвычайной ситуации у него попросту не остаётся свободной «подушки безопасности» – формально доступный лимит на карте есть, но фактически воспользоваться им уже не получится без нарушения собственного финансового равновесия.

Сравнение шести карт рассрочки, представленных на белорусском рынке: «Халва 5.0» (МТБанк), «Черепаха» (Банк ВТБ (Беларусь)), «Карта покупок» (Белгазпромбанк), «Магнит RGB» (Беларусбанк), «Красная карта» (Альфа-Банк) и «Для ежедневных покупок» (Приорбанк) показывает, что как экстренный резерв эти продукты подходят очень по-разному (таблица 1). Наибольший формальный лимит у «Магнита RGB» – до 20 000 BYN, что на первый взгляд выглядит наиболее надёжным резервом на случай серьёзных незапланированных трат [6]. Однако в реальной чрезвычайной ситуации, где нужно расплатиться не в магазине-партнёре, а, например, за срочный ремонт

у случайного подрядчика, льготные условия карты, скорее всего, не сработают: грейс-период у «Магнита RGB» жёстко привязан к сумме покупки у партнёра и не превышает 4 месяцев, а вне грейса действует ставка 17,65 % годовых [6]. Похожая картина и у «Халвы 5.0», и у «Для ежедневных покупок» Приорбанка – обе предлагают ощутимые лимиты (10 000 и 14 100 BYN соответственно) и грейс до 12 месяцев, но исключительно в партнёрской сети, а при оплате вне неё клиент фактически берёт кредит по ставке 17,63–18,65 % годовых [3, 8]. То есть именно тогда, когда деньги нужны быстро и не по заранее оговорённому сценарию, самые привлекательные на бумаге условия карты перестают действовать и она превращается из спасательного круга в источник дополнительной, причём довольно дорогой, долговой нагрузки [9].

Таблица 1 – **Сравнительная характеристика карт рассрочки банков Республики Беларусь**

Карта	Грейс-период	Условия	Ставка в грейс-периоде	Условия вне грейс-периода / у иных продавцов	Кредитный лимит, BYN
Халва 5.0 (МТБанк)	До 12 мес.	Покупки у партнёров (37 000+)	0,000001 %	17,63 % годовых до 2 лет	До 10 000
Черепаха (Банк ВТБ)	До 12 мес.	Покупки у партнёров (15 000+)	0,0001 %	17,3 % годовых до 5 лет	До 5000
Карта покупок (Белгазпромбанк)	От 3 до 8 мес.	Покупки у партнёров (35 000+)	0 %	Стандартная ставка по кредитному договору банка.	До 5000
Магнит RGB (Беларусбанк)	<150 BYN – 1 мес., 150–300 – 2 мес., 300–450 – 3 мес., >450 – 4 мес.	Покупки у партнёров по программам BLUE	5 %	17,65 % годовых	До 20 000
Красная карта (Альфа-Банк)	Клиент сам выбирает срок рассрочки от 2 до 12 мес.	Любые магазины мира от 50 BYN	От 4 % (1 мес.) до 16 % годовых (12 мес.)	17,6 % годовых	До 5000 BYN
Для ежедневных покупок (Приорбанк)	До 12 мес.	Покупки у партнёров банка	0,01 %	18,65 % годовых	До 14 100 BYN

Источник: авторская разработка на основе [3–8].

Отдельно стоит выделить «Красную карту» Альфа-Банка: единственную среди сравниваемых карт, которой можно расплатиться в любом магазине мира при покупке от 50 BYN, без привязки к партнёрской сети [7]. Это делает её более универсальным инструментом на случай ЧС – не требуется, чтобы поставщик срочной услуги входил в чей-то партнёрский список. Льготный период здесь изначально не бесплатен: ставка зависит от выбранного срока и составляет от 4 до 16 % годовых.

Таким образом, карта рассрочки может выполнять функцию резерва на случай чрезвычайной ситуации лишь при выполнении двух условий: у клиента должен оставаться реально свободный, а не формально доступный лимит, и он должен заранее понимать, какая часть его карты защищена грейс-периодом, а какая в экстренной ситуации обернётся кредитом под 17–18 % годовых. Оба условия напрямую связаны с уровнем финансовой грамотности держателя карты рассрочки. Соответственно, вопрос повышения финансовой грамотности населения стоит рассматривать не только как задачу защиты потребителя от избыточной закредитованности в обычной жизни, но и как элемент подготовки к чрезвычайным ситуациям. Так, наряду с формированием денежного резерва, разумно закредитованное и финансово грамотное домохозяйство оказывается устойчивее и в момент, когда происходит что-то внезапное и незапланированное.

Список литературы

1 Нацбанк нарисовал портрет белорусского кредитополучателя // Prime Press. – URL: https://primepress.by/news/finansi/natsbank_narisoval_portret_belorusskogo_kreditopoluchatelya-54105/ (дата обращения: 15.09.2026).

2 Инструменты ограничения долговой нагрузки физических лиц // Национальный банк Республики Беларусь. – URL: https://www.nbrb.by/finsector/financialstability/macroprudentialregulation/instrumenty-ogranicheniya-dolgovoj-nagruzki-naseleniya (дата обращения: 15.09.2026).

3 Новая Халва – оформить карту рассрочки онлайн в МТБанке // МТБанк. – URL: https://www.-

mtbank.by/cards/new_halva/ (дата обращения: 15.09.2026).

4 Черепаха: карта рассрочки // Банк ВТБ (Беларусь). – URL: https://cherepaha.vtb.by/ (дата обращения 15.09.2026).

5 Карта покупок: большой список магазинов-партнёров // Белгазпромбанк. – URL: https://-kartapokupok.by/ru/ (дата обращения: 15.09.2026).

6 Магнит RGB // Беларусбанк. – URL: https://belarusbank.by/ru/fizicheskim_licam/ cards/ inter-national/32493 (дата обращения: 15.09.2026).

7 Красная карта // Альфа-Банк: официальный сайт. – URL: https://www.alfabank.by/about/articles/main/Krasnaya_karta/ (дата обращения 15.09.2026).

8 Для ежедневных покупок: кредитные карты // Приорбанк. – URL: https://www.priorbank.by/ offers/cards (дата обращения: 15.09.2026).

9 **Мамедли М. Ю.** Потребительское кредитование в России: перспективы и риски на основе обследований финансов домашних хозяйств: аналитическая записка / М. Ю. Мамедли, А. А. Синяков. – М. : Банк России, 2017. – 24 с. – URL: https://www.cbr.ru/Content/Document/File/23500/analytic_note_170928.pdf (дата обращения: 15.09.2026).

УДК 629.7

БЕСПИЛОТНЫЕ ЛЕТАТЕЛЬНЫЕ АППАРАТЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ДЛЯ УНИЧТОЖЕНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ, И МЕТОДЫ БОРЬБЫ С НИМИ

Д. В. ГЛАДКИЙ, А. С. МАХАЕВ, Д. О. ПАВЛЮЧЕК, Е. М. ШУГАЕВ
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Современные беспилотные летательные аппараты (БЛА) стали передовым вооружением в современных военных конфликтах. Их основные преимущества – возможность вести непрерывную разведку и осуществлять целеуказание без риска для оператора, наносить точечные удары с высоким соотношением «цена – эффект», быстро развёртываться, а также простота конструкции и пригодность к массовому производству, в том числе в полевых условиях.

Одной из основных целей для противника будет уничтожение транспортной инфраструктуры, что приведёт к нарушению движения, затруднению переброски личного состава и техники, задержке поставок, увеличению нагрузки на сохранившиеся маршруты и значительному материальному ущербу, человеческим жертвам.

Виды БЛА, которые могут применяться для уничтожения искусственных сооружений:

1 FPV-дроны – это оружие точечного удара. При помощи дрона-разведчика оператор находит цель, например мост, по которому техника пересекает водную преграду. Координаты передаются расчету FPV, он запускает дрон. Задача пилота – не просто долететь, а попасть в конкретную слабую точку: опору, балку. Из-за малых размеров и высокой скорости FPV-дрон сложно сбить обычными средствами противовоздушной обороны (ПВО). Сейчас все чаще используют тактику «роя» – запускают сразу несколько дронов на одну цель. Если один собьют, долетят остальные.

2 Дроны-носители (тяжелые БЛА самолетного типа) – носитель взлетает с безопасного аэродрома далеко за линией фронта. Под его крылом или в отсеке висят несколько FPV-дронов. Он спокойно, на большой высоте, пересекает линию фронта, куда мелким дронам просто не дотянуться. Достигнув заданного района, он по команде с земли выпускает свои FPV-дроны. Те уже с полными батареями и свежими силами атакуют цели в глубоком тылу – склады, командные пункты, скопления резервов, транспортную инфраструктуру. Сам носитель после этого разворачивается и возвращается на аэродром, чтобы загрузиться снова.

3 Барражирующие боеприпасы – запускаются по предполагаемому району нахождения цели. Дальше они кружат там, иногда по 30–40 минут, пока оператор с экрана не выберет конкретный объект для атаки. Основное преимущество – мощная боевая часть. Такой боеприпас гарантированно уничтожает укрепленные сооружения, тяжелую технику. Он не так маневрен, как FPV, но его удар сокрушителен [1].

Реактивные беспилотные летательные аппараты, такие как «Герань-5», представляют собой новейший реактивный дрон, способный поражать цели на расстоянии до 1000 км. Его крейсерская скорость составляет от 350 до 600 км/ч, а максимальная – до 1000 км/ч.

От изучения средств поражения следует перейти к средствам противодействия и защиты от них.

Физический метод.

Стационарные укрытия от БЛА. Принцип действия стационарных укрытий основан на создании прочного физического барьера на пути движения БЛА к объекту. Конструкция, установленная на значительном удалении от объекта, выполняет две основные функции: блокирует прямое воздействие, тем самым останавливает дрон при таранной атаке или перехватывает сброшенные боеприпасы на безопасном от объекта расстоянии; минимизирует повреждения поглощая и рассеивая энергию удара БЛА и берет на себя поток осколков (в случае применения противоосколочных матов).

Противодроновые сети. В качестве основного материала для защитных противодроновых сетей применяется высокомолекулярный полиэтилен, известный своей прочностью и минимальным весом, он идеален для стационарных укрытий большой площади. Преимущество сетей – высокая устойчивость к разрывным нагрузкам. Такие сети можно натягивать на легкие каркасные конструкции, создавая капитальные защитные купола над критическими объектами.

Быстровозводимые системы защиты от атак дронов. Укрытия от БЛА обеспечивают защиту военной и специальной техники, включая прикрытие танков, самоходных артиллерийских установок, систем залпового огня и другой бронетехники на огневых позициях. Эти укрытия эффективно защищают мобильные командные пункты и узлы связи, а также прикрывают системы ПВО и РЭБ во время их боевой работы. Ограждающие конструкции позволяют быстро развертывать временные полевые базы и лагеря, обеспечивать защиту полевых госпиталей и медицинских пунктов, а также оборудовать склады горючего и смазочных материалов и боеприпасов в прифронтовой полосе.

Аэростаты заграждения. Предназначены для защиты крупных военных объектов. Они представляют собой аэростаты, соединенные с землей тросами, основная задача которых – создавать опасное, едва заметное препятствие для низколетящей воздушной техники и БЛА.

Область зашиты от БЛА физическим методом не ограничивается только лишь указанными объектами, все вышеперечисленное будет эффективно и при защите объектов на транспортной инфраструктуре.

Антидроновые системы активного перехвата.

Системы перехвата на основе БЛА. Существует практика использования дронов-перехватчиков, которые могут подлетать к угрожающим беспилотникам и физически сбивать их. Эти системы обладают высокой маневренностью и могут быть использованы как для охраны стратегически важных объектов, так и для защиты группировок войск на поле боя. Пользуясь своим мобильным характером, они позволяют быстро изменять зону защиты с помощью координат, предоставляемых системами управления.

Системы лазерного перехвата. Лазерные установки, способные поражать дроны на малых и средних высотах, становятся перспективным направлением для защиты критически важных объектов. Они обеспечивают высокую точность, а также могут работать в любых погодных условиях, не создавая большого количества осколков и последствий для гражданского населения.

Информационные технологии и киберзащита.

Системы радиоэлектронной борьбы (РЭБ). Важную роль в защите транспортных коммуникаций играют системы РЭБ, которые могут блокировать или нарушать сигналы управления и навигации БЛА, выводя их из строя. Эти системы могут быть интегрированы в существующие комплексы безопасности объектов, обеспечивая их более высокий уровень защиты. К тому же, они могут использоваться для создания «зон подавления», где враждебные дроны не могут функционировать [2].

Киберзащита. Современные БЛА также подвержены кибератакам, которые могут использоваться для перехвата управления или получения доступа к аудиовизуальной информации. Разработка защитных цифровых платформ и систем безопасности данных становится одной из основных задач в сфере защиты ключевых объектов от беспилотных летательных аппаратов.

Огневое поражение.

Стрелковое оружие, такое как автоматы, пулеметы и снайперские винтовки, может эффективно использоваться для поражения небольших БЛА на малых высотах, особенно, если использовать их в турелях (приспособлениях для кучности огня из одиночных огневых средств).

ПЗРК – это мобильные системы, специально разработанные для поражения воздушных целей на низких высотах.

Артиллерийские системы, включая зенитные артиллерийские установки и системы с высоким темпом стрельбы, могут использоваться для массового огневого поражения БЛА.

Таким образом, в современных условиях как никогда прежде применение БЛА осуществляется очень широко, особенно по критически важным объектам с целью уничтожения, в том числе и по объектам транспортной инфраструктуры. Исходя из этого и возникает вопрос о противодействии этому новому и широко используемому виду вооружения. Развитие беспилотных систем даст хороший толчок для совершенствования тактики действий подразделений и разработке новых систем по противодействию БЛА.

Список литературы

1 **Михайлов, А. Ф.** Противодействие барражирующим БЛА / А. Ф. Михайлов, В. А. Чабанов, Н. К. Яковлева // Авиационные системы. – 2024. – № 3. – С. 10–26.

2 Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018615589 Российская Федерация. Использование Парето-оптимальных методов для решения практических задач противодействия группировке БЛА : № 2018613027 : заявл. 28.03.2018 : опубл. 11.05.2018 / С. И. Слинин, И. В. Благодарящев, Ю. С. Винокурова, А. И. Леонов ; заявитель Федеральное государственное бюджетное учреждение «Главный научно-исследовательский испытательный центр робототехники» Министерства обороны Российской Федерации.

УДК 656.1:614.8

РАЗВИТИЕ СИСТЕМЫ МЕЖВЕДОМСТВЕННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЭКСТРЕННЫХ СЛУЖБ ПРИ ТРАНСПОРТНЫХ АВАРИЯХ

Д. В. ГЛАДКИЙ, Я. В. ШУТОВ
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Современная транспортная инфраструктура играет ключевую роль в экономическом и социальном развитии общества, обеспечивая мобильность людей и грузов. При этом высокая интенсивность транспортных потоков сопряжена с рисками возникновения инцидентов и чрезвычайных ситуаций. Эффективное реагирование на подобные ситуации невозможно без слаженной и оперативной координации работы различных служб – государственной автомобильной инспекции, медицинской помощи, аварийно-спасательных подразделений и других структур, задействованных в ликвидации последствий инцидентов.

В последние годы наблюдается активное развитие применения интеллектуальных технологий. Эти разработки будут способствовать более качественной работе служб экстренного реагирования, повысив их способность оказывать быструю и эффективную помощь в различных ситуациях. Одним из ключевых преимуществ применения таких технологий для реагирования на чрезвычайные ситуации является возможность сбора и анализа данных в режиме реального времени. Способность быстро и эффективно принимать верные решения имеет первостепенное значение для обеспечения безопасности пострадавших. Кроме того, интеллектуальные технологии позволят улучшить взаимодействие и координацию между экстренными службами.

Координация экстренных служб представляет собой процесс организации взаимодействия между различными подразделениями с целью быстрого и эффективного реагирования на транспортные инциденты. Эффективность такой координации напрямую определяет скорость спасения пострадавших, минимизацию ущерба имуществу и предотвращение новых аварийных ситуаций.

Ключевые задачи координации состоят в следующем:

– формировании единого диспетчерского центра;

– обеспечении свободного и оперативного обмена между задействованными службами;

– четком разграничении зон ответственности и распределении ресурсов;

– организации бесперебойной связи и управлении действиями на месте инцидента;

– планировании совместных учений и тренировок для повышения слаженности работы подразделений.

Несмотря на критическую важность координации, на практике встречается ряд трудностей:

– отсутствие единого информационного пространства;

– несовпадение и отличие алгоритмов действий разных служб;

– отсутствие или недостаточный опыт подготовки персонала к совместным действиям в кризисных ситуациях.

Современные технологии играют важную роль в оптимизации взаимодействия экстренных служб. Для повышения качества их работы необходимо реализовать ряд ключевых мер:

– внедрение централизованных диспетчерских систем с единой платформой для обмена данными;

– использование мобильных приложений;

– использование геоинформационных систем (ГИС) для отображения ситуации в реальном времени и планирования действий;

– автоматизация сбора и анализа информации с использованием систем видеонаблюдения и датчиков.

Для совершенствования механизма взаимодействия существует необходимость создания единого диспетчерского центра, функционирование которого будет основано на применении интеллектуальных технологий и позволит в режиме реального времени обрабатывать большие объемы данных, а также обеспечивать слаженность руководства совместными действиями подразделений.

Для улучшения передачи сведений о происшествиях необходимо иметь несколько способов: стандартный звонок по единому номеру, использование специального мобильного приложения, которое не только позволит более точно определить местоположение чрезвычайной ситуации, но и поможет людям с нарушениями слуха и речи [1].

В современных реалиях необходимо применение беспилотной авиации для решения задач экстренными подразделениями. При получении сигнала о чрезвычайной ситуации оператор единой службы будет принимать решение о необходимости отправки на место происшествия беспилотного летательного аппарата для сбора дополнительных сведений.

В ряде случаев необходимо наличие одного или нескольких беспилотных летательных аппаратов над источником происшествия во время проведения операции по ликвидации последствий для координации работы всех участвующих служб. На текущий момент существует ряд специальных модификаций для дронов, которые значительно расширяют возможности мониторинга инцидента.

Для получения необходимой информации и построения оптимальных маршрутов движения бригад служб экстренного реагирования в распоряжении центра должны быть системы городского видеонаблюдения. Это позволит не только более детально изучить характер происшествия, но и изучить состояние транспортных потоков вблизи происшествия. Данная система наиболее актуальна для крупных населенных пунктов с интенсивным транспортным движением, особенно в часы пик.

После получения достаточного количества информации диспетчерский центр выносит решение о необходимости привлечения конкретных экстренных служб, количества необходимых бригад, их оснащения, а также на основе собранных сведений формирует маршруты движения к эпицентру события. На данном этапе также может потребоваться отзыв летательного аппарата с места происшествия для обследования состояния транспортных потоков и инфраструктуры выбранных маршрутов, а также дальнейшего сопровождения транспортных средств при необходимости оперативного внесения корректировок в маршрут следования.

Мониторинг и регулирование дорожного движения может оказать огромное влияние на качество выполнения работы экстренными службами, т. к. позволяет получать информацию об участках с высокой интенсивностью движения, которые могут значительно увеличить время прибытия на место, управлять светофорным регулированием для создания зеленой зоны по маршруту следования бригад и т. д. [2].

Ключевым условием для обеспечения оперативности и эффективности реагирования на чрезвычайные ситуации является наличие единой информационной базы для обмена данными между службами. Это позволит в режиме реального времени получать сведения о готовности парка подвижного состава, доступных силах и ресурсах [3].

Одним из главных преимуществ работы единого центра будет снижение затрат на оснащение бригад экстренных служб по отдельности, так как все необходимое оборудование может находиться в распоряжении сотрудников центра и может быть использовано по мере необходимости для совместной работы с любой из служб. При этом будут появляться новые возможности для использования узконаправленного оборудования, которое нецелесообразно приобретать для каждой службы индивидуально.

Несмотря на прогнозируемые преимущества применения интеллектуальных технологий в работе экстренных служб на чрезвычайные ситуации, их внедрение сопряжено с определенными труд-

ностями и ограничениями. Одной из ключевых проблем является необходимость надлежащего обучения сотрудников для эффективного использования этих технологий.

Для повышения эффективности координации при транспортных инцидентах необходимо:

– создать единый диспетчерский центр и обеспечить его необходимым оборудованием;

– разработать и внедрить единые протоколы взаимодействия;

– регулярно проводить совместные учения и тренинги, моделирующие различные сценарии аварий;

– создавать координационные комиссии для оперативного принятия решений;

– обеспечить доступ экстренных служб к современным технологическим ресурсам и базам данных.

Таким образом, организация координации экстренных служб при транспортных инцидентах является критически важным элементом транспортной безопасности. Современные вызовы требуют интегрированного подхода, сочетающего развитие технологий, выработку единой методологии и постоянное повышение квалификации персонала. Только при условии эффективного взаимодействия всех участников можно обеспечить своевременное реагирование, минимизировать последствия происшествий и сохранить жизни людей.

Список литературы

1 **Мартемьянов, С. И.** Применение беспилотных летательных аппаратов для поддержки управления противопожарными действиями в условиях чрезвычайных ситуаций / С. И. Мартемьянов, О. С. Маторина, О. В. Стрельцов // Международный научно-исследовательский журнал. – 2024. – № 1 (139). – DOI: 10.23670/IRJ.2024.139.5.

2 **Елькин, Д. М.** На пути к Интернету вещей в управлении транспортными потоками: обзор существующих методов управления дорожным движением / Д. М. Елькин, В. В. Вяткин // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2019. – № 5 (207). – С. 100–113.

3 **Прус, М. Ю.** Облачные сервисы в системе управления службами экстренного реагирования / М. Ю. Прус, Ю. И. Ходаренкова // Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. – 2015. – № 1. – С. 248–251.

УДК 614.84:629.33

МОБИЛЬНЫЙ СКЛАДНОЙ РЕЗЕРВУАР ДЛЯ ОХЛАЖДЕНИЯ ТЯГОВЫХ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ

И. Н. ГОНЧАРОВ, Н. В. ПРАЦУКЕВИЧ
Университет гражданской защиты, г. Минск, Республика Беларусь

В современном мире развитие технологий и активное внедрение экологически более эффективных видов транспорта приводят к увеличению количества электромобилей на дорогах общего пользования [1]. Расширение парка электротранспортных средств сопровождается возникновением новых задач для подразделений МЧС, связанных с обеспечением пожарной безопасности и ликвидацией чрезвычайных ситуаций при авариях и пожарах электромобилей.

Одной из наиболее сложных задач при тушении электромобилей является ликвидация горения и последующее охлаждение тяговой аккумуляторной батареи. В большинстве современных электромобилей применяются литий-ионные аккумуляторные батареи, которые при повреждении, перегреве или воздействии высокой температуры могут переходить в состояние теплового разгона. Данный процесс сопровождается интенсивным выделением тепла и токсичных продуктов, а также может продолжаться после ликвидации открытого горения. В результате существует значительная вероятность повторного воспламенения тяговых аккумуляторных батарей спустя продолжительное время после завершения основных работ по тушению [2].

Дополнительную сложность представляет конструктивное расположение тяговой аккумуляторной батареи в нижней части кузова электромобиля. При использовании традиционных средств пожаротушения подача огнетушащего вещества непосредственно на элементы батареи может быть затруднена, а традиционные методы подачи воды или пены в зону горения не всегда эффективны при тушении электромобилей. Огнетушащие вещества могут не проникнуть внутрь корпуса батареи, чтобы охладить её элементы, а пена может быть неэффективной из-за высокой температуры горения и химических реакций внутри батареи [2].

С целью повышения эффективности охлаждения тяговых аккумуляторных батарей Университетом гражданской защиты совместно с ЧПУП «ВИВАКС ПЛЮС» был разработан мобильный складной резервуар для охлаждения тяговых аккумуляторных батарей электромобилей (далее – резервуар) (рисунок 1).

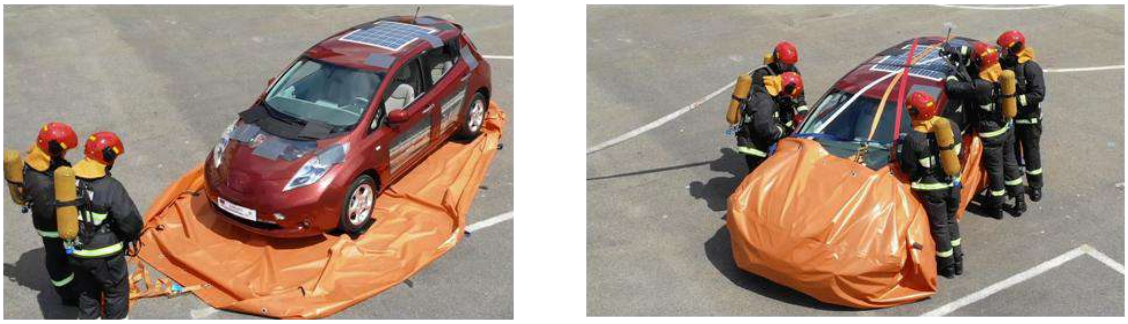


Рисунок 1 – Мобильный складной резервуар

Разработанный резервуар предназначен для размещения в его внутреннем объеме электромобиля после ликвидации открытого горения и обеспечения продолжительного охлаждения его тяговой аккумуляторной батареи. Конструкция резервуара позволяет заполнить внутреннее пространство водой до уровня, превышающего верхний край модуля высоковольтной батареи. Резервуар выполнен из ПВХ-материала, может подгоняться по кузову электромобиля при помощи натяжных ремней, а в сложенном состоянии занимает небольшой объем, что обеспечивает удобство его хранения и транспортирования.

Тактические возможности разработанного резервуара были подтверждены в ходе опытной эксплуатации, организованной на базе пожарной аварийно-спасательной части Минского городского управления МЧС Республики Беларусь. Показательным является случай загорания тяговой аккумуляторной батареи электромобиля «Chevrolet Bolt», произошедшим в г. Минске 15.12.2025 [3].

По прибытии подразделений МЧС на ликвидацию возгорания электромобиля были поданы два подкатных устройства, с помощью которых ликвидировали открытое горение. Последующее охлаждение батареи осуществлялось с контролем температуры тепловизором. После снижения температуры кузовных элементов ниже 70 °С электромобиль был отбуксирован на безопасное расстояние и помещен в резервуар на 24 часа для предотвращения повторного загорания (рисунок 2) [3].



Рисунок 2 – Резервуар в боевой работе

Практическое применение резервуара подтвердило целесообразность его использования в комплексе мероприятий по ликвидации возгораний электромобилей и снижению риска повторного воспламенения тяговых аккумуляторных батарей. При этом опытная эксплуатация позволила выявить ряд конструктивных недостатков, требующих доработки в рамках дальнейшей постановки изделия на производство.

После завершения доработки и постановки на производство планируется внедрение резервуара в подразделения МЧС Республики Беларусь. Это позволит создать новые способы и технологии ликвидации пожаров с участием электротранспорта.

Список литературы

1 Зарядное обустройство. Рассказываем, как будет развиваться инфраструктура для электротранспорта // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: https://pravo.by/novosti/obshchestvenno-politicheskie-i-v-oblasti-prava/2026/august/94449/ (дата обращения: 17.08.2026).

2 Чем тушить литиевые аккумуляторы – что делать, если загорелась литий. – URL: https://opozhare.ru/tushenie/chem-tushit-litij-ionnyj-akkumulyator (дата обращения: 11.08.2026).

3 Работники МЧС ликвидировали загорание электромобиля в Минске // Новости Минского городского управления МЧС. – URL: https://minsk.mchs.gov.by/novosti/-507004/ (дата обращения: 14.08.2026).

УДК 624.058.2

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ НА ВОЕННЫХ МОСТАХ И ДОРОГАХ

А. Ю. ГОРОХОВ
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Техническая разведка военных мостов и дорог включает в себя сбор данных об их состоянии, проходимости, безопасности и наличии инженерных заграждений, используя наблюдение, осмотр, фотографирование, а также штатные технические средства и силы разведки для обеспечения скрытности и оперативности действий войск. Эта информация необходима для определения маршрутов движения, планирования инженерного обеспечения и принятия решений о безопасном использовании объектов [1].

Устойчивость к нагрузкам: мосты и дороги должны быть спроектированы с учетом максимальных нагрузок, которые могут возникнуть от военной техники. Использование прочных материалов, таких как армированный бетон и сталь, повышает их долговечность.

Адаптация к угрозам: проектирование объектов с учетом возможных атак (взрывы, обстрелы) включает создание защитных конструкций, таких как бункеры или укрытия для техники.

Ремонт и обслуживание: регулярные проверки состояния мостов и дорог для выявления повреждений или износа включают в себя как визуальные осмотры, так и использование технологий, таких как ультразвуковая диагностика, использование приборов неразрушаемого контроля качества.

Техническая разведка: проведение предварительной разведки для оценки состояния инфраструктуры и выявления потенциальных угроз. Эти мероприятия включают использование спутниковых снимков и беспилотников для получения актуальной информации о местности, установку систем видеонаблюдения, датчиков движения и других технологий для мониторинга активности в районе мостов и дорог. Это позволяет оперативно реагировать на любые подозрительные действия [2].

Мероприятия по защите охране и обороне: размещение патрулей и охранных отрядов вдоль ключевых маршрутов и на мостах для предотвращения возможных атак противника; использование заграждений для ограничения доступа к объектам. На военных мостах и дорогах для защиты и маскировки от противника, а также для создания оборонительных позиций могут использоваться различные защитные сооружения: от простейших (окопы, траншеи) до более сложных (габионы, укрытия, временные сооружения). Их задача – обеспечить укрытие для личного состава, защитить технику от осколочных и взрывных повреждений, а также создать условия для ведения боевых действий, при этом скрывая мост или дорогу от наблюдения.

Планирование альтернативных маршрутов: разработка запасных маршрутов для перемещения войск и техники в случае угрозы – это позволяет избежать потенциально опасных участков и обеспечивает гибкость в маневрах; учет времени суток, погодных условий и других факторов при планировании передвижений. Например, ночные действия могут быть менее заметными, но требуют дополнительной подготовки.

Обучение, тренировки по безопасности: регулярные учения для военнослужащих по действиям в случае атак на мосты и дороги. Это включает в себя сценарии эвакуации, оказания первой помощи и защиты объектов; подготовку личного состава к быстрой оценке ситуации и принятию решений в условиях стресса. Это важно для минимизации потерь и эффективного выполнения задач.

Также необходимо взаимодействие с местными органами власти, милиции, МЧС, дорожно-строительными управлениями для обеспечения безопасности на участках дорог, которые могут использоваться военными; создание системы обмена данными о возможных угрозах или инцидентах между военными и гражданскими службами для повышения общей безопасности.

Использование БЛА: применение беспилотных летательных аппаратов для разведки и мониторинга может значительно повысить эффективность сбора информации о состоянии объектов и активности противника.

Мобильные системы ПВО: размещение мобильных систем противовоздушной обороны для защиты мостов и дорог от воздушных атак. Это может включать зенитные ракетные комплексы или другие средства защиты [3].

Обеспечение безопасности на военных мостах и дорогах требует комплексного подхода, который сочетает инженерные решения, технологии мониторинга, обучение персонала и взаимодействие с другими службами. Эти меры помогают минимизировать риски и обеспечивают надежное выполнение военных операций в различных условиях.

Список литературы

1 Повышение живучести мостовых переходов в условиях активного воздействия противника современными средствами поражения / Д. В. Ляпоров, С. М. Бобрицкий, В. В. Томашов, П. А. Кацубо // Строительство и восстановление искусственных сооружений : материалы IX Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 30–31 мая 2024 г. – Гомель : БелГУТ, 2024. – С. 104–107.

2 Методы повышения живучести в системе восстановления мостовых переходов / С. М. Бобрицкий, В. В. Томашов, П. А. Кацубо, Е. В. Печенев // Строительство и восстановление искусственных сооружений : материалы IX Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 30–31 мая 2024 г. – Гомель : БелГУТ, 2024. – С. 65–68.

3 Восстановление мостов на автомобильных дорогах : учеб.-метод. пособие / А. А. Поддубный, С. М. Бобрицкий, П. А. Кацубо, Е. В. Печенев. – Гомель : БелГУТ, 2023. – 161 с.

УДК 614.05

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРА ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРОТИВНИКА ПО ОБЪЕКТАМ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ПРИ ПОДГОТОВКЕ И СОДЕРЖАНИИ ПУТЕЙ ДВИЖЕНИЯ И МАНЕВРА ВОЙСК

С. А. ГРИГОРЬЕВ, А. С. КОПЫЛОВ, И. А. САХАРОВ
Военная академия материально-технического обеспечения им. генерала армии А. В. Хрулева, Санкт-Петербург, Российская Федерация

Вероятность возникновения техногенных ЧС незначительна и носит единичный характер (авария на АЭС, сход с рельсов состава с опасными веществами и т. п.). В военное время может возникнуть широкий спектр ЧС сразу на всех или большинстве потенциально опасных объектах. Это возможно потому, что объекты энергетики, склады госрезерва являются объектами целевых ударов (таблица 1).

Таблица 1 – **Приоритеты поражения объектов, согласно взглядам командования армии США**

Уровни приоритетов	Подуровни приоритетов	Поражаемые объекты
I	1	Пункты управления.
	2	Узлы связи, радиовещательные станции и телецентры.
	3	Узлы железных дорог.
	4	Железнодорожные мосты основных железнодорожных направлений.
	5	Автодорожные мосты федеральных дорог.
	6	Морские и речные порты, аэропорты, базы.
	7	Насосные станции трубопроводов.
	8	Склады госрезервов
II	1	Атомные электростанции.
	2	Гидроэлектростанции.
	3	Тепловые электростанции.
	4	Подстанции ЛЭП.
	5	Склады ГСМ, нефтебазы
III	1	Нефтеперерабатывающие и химические производства.
	2	Предприятия оборонного комплекса.
	3	Предприятия цветной и черной металлургии.
	4	Предприятия машиностроения

Для определения характера воздействия противника по объектам транспортной инфраструктуры при подготовке и содержании путей движения и маневра войск воспользуемся моделью воздействия противника по транспортным коммуникациям (рисунок 1).

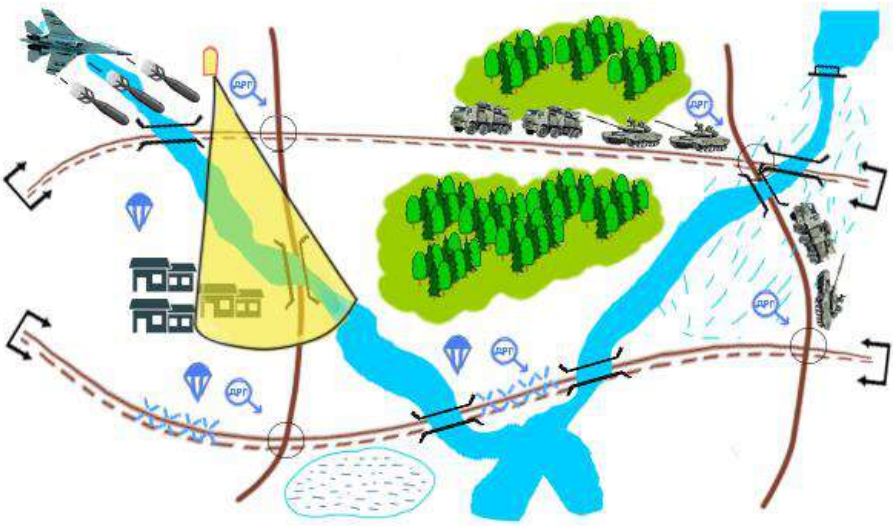


Рисунок 1 – Модель воздействия противника по транспортным коммуникациям

Вероятность возникновения заражений, затоплений, массовых пожаров на объектах транспортной инфраструктуры СМТО будет весьма высока, в десятки раз превышая вероятности ЧС в мирное время. Это создаст сложные условия для перевозки войск, грузов и личного состава по коммуникациям в условиях обширных заражений и затоплений. Последние приведут к нарушению целостности транспортной системы.

Значительное количество транспортных объектов будет разрушено целевыми воздушными ударами противника. Такая вероятность может быть достаточно высокой, т. к. транспортные объекты являются первоочередными целями авиации и беспилотных средств противника. Это подтверждается данными таблицы 1.

Из таблицы 1 видно, что все транспортные объекты относятся к первому приоритету поражения.

Показатели воздействия и глубина поражения объектов транспортной системы в военное время представлены в таблицах 2, 3.

Таблица 2 – **Количественные показатели применения США и их союзниками авиационных средств поражения в послевоенных вооруженных конфликтах**

Общее количество использованных средств, в т. ч.	«Буря в пустыне» (Ирак, 1991 г.)	«Решительная сила» (Югославия, 1999 г.)	«Несокрушимая свобода» (Афганистан, 2001 г.)	«Шок и трепет» (Ирак, 2003 г.)
Бомб и ракет	25 600	23 000	22 000	29 000
Высокоточных боеприпасов	Около 20 000	8000	12 500	20 000
Доля высокоточного оружия, %	8	35	57	68

Таблица 3 – **Возможности противника по поражению объектов на различную глубину нашей территории**

Стратегические направления	Возможный боевой состав группировок войск	Максимальное количество средств поражения с дальностью действия, км			
		25	40	до 200	более 200
Северо-Западное	4–5 дивизий (до 20 бригад, >700 боевых самолетов, до 600 танков, до 50 боевых кораблей)	Более 300 орудий ствольной артиллерии	18 пусковых установок в реактивном дивизионе	–	Авиация
Западное	До 20 АК (65 дивизий, 83 бригады), около 20 тыс. танков, 5,5 тыс. самолетов, около 340 кораблей в Атлантике	8700 орудий ствольной артиллерии	1440 реактивных пусковых установок	До 120 ПУ дивизионов «ЛАНС» и «АТАМАКС» (до 240 при двух дивизионах)	Авиация
Юго-Западное	5–6 дивизий, до 10 бригад, более 2 тыс. танков и 1000 боевых самолетов (эквивалент 4–5 АК)	Около 350 орудий ствольной артиллерии	Около 70 ПУ	До 25 ПУ дивизионов «ЛАНС»	Авиация
Всего в стратегическом районе	Около 160 дивизий; 206 отдельных бригад; более 36 тысяч танков; около 1500 кораблей	Более 10 тыс. орудий	Более 1500 ПУ реактивной артиллерии	От 150 до 300 ПУ дивизионов «ЛАНС» и «АТАМАКС»	7–8 тыс. самолетов

Из таблиц 2, 3 видно, что противник может воздействовать по транспортным коммуникациям средствами ракетно-артиллерийского вооружения на глубину до 200 км, а средствами авиации – более 1000 км.

Сегодня нет точных данных о количестве боеприпасов, которые могут быть применены противником против группировки войск (сил), действующей на стратегическом направлении. Вместе с тем для достижения цели настоящего исследования можно воспользоваться данными таблицы 4.

Таблица 4 – **Устойчивость объектов на транспортных коммуникациях**

Критерии оценки степени поражения	Классификация степеней поражения			
	слабая	средняя	сильная	полная
1 Сохранившиеся производственные мощности (100 % от первоначальных) транспортно-логистических объектов (ТЛО)	70–100	30–70	Менее 30	–
2 Стоимость мероприятий по восстановлению объекта (% от фактической стоимости ТЛО)	5–15	15–45	45–75	Более 75
3 Продолжительность восстановительных работ, сут	30–60	60–120	Более 120	–
4 Состав сил и средств, необходимых для производства восстановительных работ	В соответствии с возможными способами производства восстановительных работ на предприятии			

В таблице 4 приведены классификация и критерии оценки степеней поражения объектов. Естественно, что степень поражения объекта зависит от способа воздействия на него поражающих факторов, вида применяемого оружия. Наиболее полно эта задача проработана для варианта ядерной войны.

При обычных средствах поражения вероятность сохранения объекта, подвергнутого боевому воздействию, предлагается рассчитывать по зависимости

$$P_c = 1 - P_n, \tag{1}$$

где $P_{\text{п}}$ – вероятность поражения объекта.

Вероятность поражения объекта

$$P_{\text{п}} = P_{\text{по}}\, P_{\text{р}}\, P_{\text{пр.р}}\, P_{\text{д}}\, P_{\text{м.п}}\, P_{\text{ф.п}}, \tag{2}$$

где $P_{\text{по}}$ – вероятность события, что к моменту нанесения удара объект обнаружен противником; $P_{\text{р}}$ – вероятность события, что обнаруженный объект правильно классифицирован (идентифицирован); $P_{\text{пр.р}}$ – вероятность принятия решения поражения обнаруженного и распознанного объекта; $P_{\text{д}}$ – вероятность доставки боеприпаса в район цели; $P_{\text{м.п}}$ – вероятность события, что объект не покинул район своего размещения за интервал времени от момента его обнаружения до момента поражения; $P_{\text{ф.п}}$ – вероятность поражения цели.

Мероприятиями маскировки, главным образом, можно повлиять на вероятность обнаружения объекта ($P_{\text{о}}$) и распознания его средствами разведки ($P_{\text{р}}$). Принято считать, что если объект обнаружен, правильно классифицирован (распознан) и важен с позиций маскировки, то вероятность совершения остальных событий ($P_{\text{пр.р}}$, $P_{\text{д}}$, $P_{\text{м.п}}$, $P_{\text{ф.п}}$) близка к единице, так как техническая надежность современных средств поражения достаточно велика. С учетом указанного допущения зависимость (2) для рассматриваемого случая примет вид

$$P_{\text{п}} = P_{\text{ор}} = P_{\text{о}}\, P_{\text{р}}. \tag{3}$$

В настоящее время для определения $P_{\text{ор}}$ объектов на ВАД используется следующая зависимость:

$$P_{\text{ор}} = 1 - \left(1 - \frac{P_{\text{ц}} K_{\text{СХ}}^{\text{д-эт}}}{1 + \sum_{i=1}^{n} K_{\text{СХ}i}^{\text{л-эт}}}\right)^{\frac{t}{\tau}}, \tag{4}$$

где $P_{\text{ц}}$ – вероятность обнаружения и распознавания объекта в течение одного цикла разведки; t – продолжительность функционирования объекта, ч; τ – продолжительность цикла разведки противника, ч; n – количество ложных объектов; $K^{\text{д-эт}}$ – коэффициент меры сходства маскируемого объекта с эталоном; $K_{\text{сх}i}^{\text{л-эт}}$ – коэффициент меры сходства ложного объекта с эталоном.

Прогнозируем количество объектов, разрушаемых на транспортных коммуникациях, которые влияют на устойчивость работы транспортной системы в условиях активного воздействия противника.

Как отмечалось ранее, снижение $P_{\text{п}}$ может быть обеспечено мерами маскировки и противовоздушной (противоракетной) обороны. Эти меры выходят за компетенцию транспортного обеспечения современных операций. Они осуществляются по планам боевого обеспечения действий войск.

Формирование системы показателей вероятного ущерба от поражения транспортных коммуникаций осуществляется в виде прогнозирования обстановки при взрывах, которое заключается в определении размеров зон возможных поражений и разрушения объектов. Для этого обычно используют один из двух методов прогнозирования последствий взрывов: детерминированный (упрощенный) и вероятностный.

При детерминированном способе прогнозирования поражающий эффект ударной волны определяется избыточным давлением во фронте ударной волны $\Delta P_{\text{ф}}$, кПа, и степенью разрушения зданий (таблица 5).

Таблица 5 – **Избыточное давление во фронте ударной волны $\Delta P_{\text{ф}}$, кПа, при котором происходит разрушение объектов**

Объект	Разрушение			
	полное	сильное	среднее	слабое
Промышленные объекты:				
– ТЭС	25–40	20–25	15–220	10–15
– котельные	35–45	25–35	15–25	10–15
– трубопроводы наземные	20	50	130	–
– трубопроводы на эстакаде	20–30	30–40	40–50	–
– трансформаторные подстанции	100	40–60	20–40	10–20
– ЛЭП	120–200	80–120	50–70	20–40
– водонапорные башни	70	60–70	40–60	20–40
Резервуары, трубопроводы:				
– стальные наземные	90	80	55	35
– емкости ГСМ и химических веществ	40	35	25	20
– частично заглубленные для нефтепродуктов	100	75	40	20
– подземные	200	150	75	40
– перекачивающие и компрессорные станции	45–50	35–45	25–35	15–25
Транспорт:				
– металлические и ж.-б. мосты	250–300	200–250	150–200	100–150
– ж.-д. пути	400	250	175	125
– тепловозы с массой до 50 т	90	70	50	40
– цистерны	80	70	50	30
– вагоны цельнометаллические	150	90	60	30
– вагоны товарные деревянные	40	35	30	15
– автомашины грузовые	70	50	35	10

При вероятном способе прогнозирования поражающее действие ударной волны определяется как избыточным давлением на фронте ударной волны $\Delta P_{\text{ф}}$, кПа, так и импульсом фазы сжатия ударной волны I_{+}, кПа·с.

Степень поражения (разрушения) $P_{\text{пор}}$, %, определяется в зависимости от пробит-функции P_r, являющейся функцией $\Delta P_{\text{ф}}$, кПа, и I_{+}, кПа·с, (таблица 6).

Таблица 6 – **Выражения пробит-функций для разных степеней поражения (разрушения)**

Степень поражения (разрушения)	Пробит-функция
1 Слабые разрушения	$P_r = -0{,}26\ln[(4{,}6 / \Delta P_{\text{ф}})^{3{,}9} + (0{,}11 / I_{+})^{5{,}0}]$
2 Средние разрушения	$P_r = -0{,}26\ln[(17{,}5 / \Delta P_{\text{ф}})^{8{,}4} + (0{,}29 / I_{+})^{9{,}3}]$
3 Сильные разрушения	$P_r = -0{,}22\ln[(40 / \Delta P_{\text{ф}})^{7{,}4} + (0{,}26 / I_{+})^{11{,}3}]$

Избыточное давление $P_{\text{ф}}$, кПа, во фронте ударной волны при взрыве заряда ВВ на поверхности земли определяется по формуле

$$\Delta P_{\text{ф}} = 95\frac{\sqrt[3]{m}}{R} + 390\frac{\sqrt[3]{m^2}}{R^2} + 1300\frac{m}{R^3}, \qquad (5)$$

где m – масса тротилового заряда, кг; R – расстояние от центра взрыва до объекта, м.

Для оперативных расчетов радиусов зон полных, сильных, средних, слабых разрушений (с учетом влияния подстилающей поверхности) можно использовать зависимости:

– радиус зоны полных разрушений –

$$R_{\text{п.р}} = 3{,}1\sqrt[3]{Q_{\text{эф}}}\,; \tag{6}$$

– радиус зоны сильных разрушений R_c –

$$R_{\text{п.р}} = 4{,}2\sqrt[3]{Q_{\text{эф}}}\,; \tag{7}$$

– радиус зоны средних разрушений R –

$$R_{\text{п.р}} = 5{,}4\sqrt[3]{Q_{\text{эф}}}\,; \tag{8}$$

– радиус зоны слабых разрушений $R_{сп}$ –

$$R_{\text{п.р}} = 8{,}3\sqrt[3]{Q_{\text{эф}}}\,, \tag{9}$$

при этом эффективная мощность взврывчатого вещества

$$Q_{\text{эф}} = K_{\text{эф}}K_{\text{пв}}m, \tag{10}$$

где $K_{\text{эф}}$ – коэффициент эффективности ВВ, принимаемый по таблице 7; $K_{\text{пв}}$ – коэффициент, учитывающий свойства поверхности, на которой происходит взрыв, принимаем по таблице 8; m – масса ВВ, кг.

Таблица 7 – **Взрывчатые свойства и характеристики некоторых ВВ**

ВВ	$K_{\text{эф}}$	Теплота взрыва, кДж/кг	Скорость детонации, км/с	Плотность, г/см^3
Тротил	1,0	4190	7,0	1,6
Гексоген	1,35	5447	8,6	1,75
Аммонал	1,3	5413	6,56	1,4

Таблица 8 – **Коэффициент поверхности преграды**

Виды поверхностей	$K_{\text{пв}}$
Грунты средней плотности	0,6–0,65
Плотные глины и суглинки	0,7–0,75
Асфальт	0,8–0,85
Бетон	0,85–0,9
Стальные плиты	0,95–1,0

Восстановление объекта транспортной коммуникации целесообразно, если слабые и средние разрушения сооружений не превышают 40 %.

Список литературы

1 **Болгаров, Н. И.** Методологические аспекты военно-экономического обоснования комплексного использования транспорта в логистической системе материально-технического обеспечения группировки войск (сил) / Н. И. Болгаров. – СПб., 2017. – 374 с.

2 **Шаптала, В. Г.** Основы моделирования чрезвычайных ситуаций : учеб. пособие / В. Г. Шаптала, В. Ю. Радоуцкий, В. В. Шаптала. – Белгород : БГТУ, 2010. – 165 с.

3 **Пушнин, Л. П.** Техногенные аварии со взрывами и разрушениями плотин / Л. П. Пушнин, Г. Г. Капленко, Ф. И. Фоменко. – Днепропетровск : ПГАСА, 2008. – 64 с.

УДК 629.33-83:629.3.067

ОСОБЕННОСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПАССИВНОЙ И АКТИВНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЭЛЕКТРОМОБИЛЯ В УСЛОВИЯХ ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНЫХ ПРОИСШЕСТВИЙ И ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

И. С. ДЕМИДОВИЧ, Я. Н. АКИНШЕВ, М. В. БОГДАНОВИЧ, Е. П. ТЕРЕЩЕНКО
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Одним из современных направлений развития автомобильного транспорта является использование транспортных средств на электрической тяге – электромобилей. Электромобиль имеет ряд видимых преимуществ по сравнению с моделями, оснащенными двигателем внутреннего сгорания, – отсутствие выбросов отработавших газов в процессе работы двигателя и шумового загрязнения окружающей среды. При этом имеются и существенные недостатки эксплуатации таких автомобилей, связанные как с экологическими аспектами, так и с экономическими. Сравнительная характеристика электромобилей и автомобилей с традиционными двигателями возможна при анализе жизненного цикла данных транспортных средств. Жизненный цикл автомобиля включает следующие стадии: производство; изготовление узлов, деталей, сборка автомобиля, строительство инженерных сооружений; использование (эксплуатация); выполнение транспортной работы в период нормативного срока службы; восстановление работоспособности; проведение технического обслуживания (содержания) и ремонта автомобиля с восстановлением деталей, узлов, агрегатов, выработавших ресурс и их замена; утилизация отслужившего срок автомобиля; разборка (ликвидация), переработка непригодных к восстановлению деталей и узлов, повторное использование конструкционных, строительных и эксплуатационных материалов на предыдущих этапах жизненного цикла автомобиля или в других сферах деятельности, а также захоронение отходов [1].

Системы помощи водителю (ADAS) меняют наши способы вождения, особенно в электромобилях. По мере того как электромобили становятся всё более распространёнными, возникает вопрос, какую роль ADAS играет в обеспечении комфорта и безопасности вождения. Это просто дополнительная функция или нечто важное? ADAS в электромобилях – это система, состоящая из камер, датчиков и программного обеспечения, которая помогает водителю водить безопаснее. Она предупреждает об опасностях, помогает управлять автомобилем и тормозить, а в некоторых ситуациях даже берет управление на себя. Поскольку электромобили используют больше программного обеспечения, чем обычные автомобили, функции ADAS проще интегрировать. Именно поэтому многие электромобили по умолчанию оснащены более продвинутыми системами. ADAS делится на шесть уровней, от 0 до 5. Большинство электромобилей на рынке сегодня имеют уровень безопасности от 1 до 3. Они включают в себя основные предупреждения, адаптивный круиз-контроль и некоторые функции автоматического управления. Уровень контроля и автоматизации повышается по мере повышения уровня. На уровне 0 вы получаете только оповещения. На уровне 1 система может помогать либо с рулевым управлением, либо с регулированием скорости. Уровень 2 управляет обеими функциями, хотя ваше постоянное внимание по-прежнему требуется. На уровне 3 автомобиль может двигаться самостоятельно в определённых условиях, но при необходимости будет ожидать от вас оперативного управления. Уровни 4 и 5 обещают полную автономность, хотя пока недоступны потребителям. Электромобили часто оснащены более продвинутыми системами ADAS, чем автомобили с бензиновым двигателем. Эти системы помогают избегать столкновений, предупреждая водителя заранее или предпринимая необходимые меры. Электромобили также отличаются более удобным расположением датчиков и более быстрым обновлением данных, что делает их идеальными для использования функций ADAS. В электромобилях тормозные системы реагируют быстрее, а обновления программного обеспечения позволяют устранить неполадки или улучшить производительность без посещения сервисного центра. В обычных автомобилях некоторые системы ADAS могут быть доступны, но часто в качестве дополнительных пакетов. В электромобилях они, скорее всего, входят в комплектацию или даже входят в стандартную комплектацию. Большинство совре-

менных электромобилей оснащены такими функциями, как адаптивный круиз-контроль, ассистент удержания полосы движения, автоматическое экстренное торможение и предупреждения о слепых зонах. Некоторые даже предлагают системы парковки без помощи рук и мониторинга водителя. Эти функции не только обеспечивают комфорт, они также снижают вероятность ошибок водителя. Вы почувствуете преимущества в плотном потоке машин, на автомагистралях и во время длительных поездок. Система удержания полосы движения помогает сохранять равновесие. Адаптивный круиз-контроль автоматически корректирует скорость. Экстренное торможение срабатывает быстрее, чем вы успеваете среагировать. Всё это делает каждую поездку более плавной и безопасной.

BMS, как правило, устанавливается на приборной панели электромобиля и обеспечивает физическое сопряжение транспортного средства с аккумуляторным блоком. По своим функциям она аналогична электронному блоку управления (ЭБУ) двигателем внутреннего сгорания. Общая система управления батареей включает несколько функциональных компонентов: полевые транзисторы, индикатор уровня заряда, модуль мониторинга и балансировки ячеек, блок термического контроля и часы реального времени. Необходимые функции BMS охватывают мониторинг состояния безопасности, оценку степени использования, оптимизацию производительности и контроль ресурса – с целью минимизации риска теплового разгона при перезаряде и предотвращения потери ёмкости при повторном глубоком разряде ячеек. Функциональные компоненты BMS:

1 Полевые транзисторы. Данный компонент управляет подключением и отключением аккумуляторного блока в режимах работы и зарядки на основе непрерывного измерения напряжения, тока и состояния электрических цепей в реальном времени.

2 Индикатор уровня заряда.

3 Мониторинг и балансировка ячеек. Для исправной работы батарейного блока необходимо отслеживать напряжение каждой ячейки и поддерживать его в пределах, регламентированных химическим составом. Выход за указанные пределы приводит к необратимой деградации химической структуры электродов и существенному сокращению ресурса ячейки.

4 Контроль температуры. Каждая ячейка контролируется индивидуальным термистором с аналого-цифровым преобразованием сигнала для снижения погрешности измерения.

В случае обнаружения аномалий – перенапряжения, перегрева или аномального тока – BMS формирует аварийное уведомление для водителя и автоматически выполняет защитное действие по заданному алгоритму (отключение нагрузки, снижение тока зарядки, активация охлаждения) [2].

Электромобили всё чаще появляются на дорогах, и это меняет не только сам транспорт, но и то, как нужно обеспечивать безопасность. У них есть важные плюсы – нет выхлопных газов, меньше шума. Но есть и серьёзные особенности, которые создают новые риски. Главное отличие электромобиля – большая батарея под высоким напряжением. Даже после аварии она может оставаться заряженной. Если батарея повреждена, она может загореться или даже взорваться, причём не сразу, а через несколько часов. При горении выделяются опасные вещества. Кроме того, электромобиль едет почти бесшумно, и спасатели могут не сразу понять, что машина всё ещё «живая» и опасна. Из-за этого обычные правила спасения и тушения пожаров здесь плохо работают. Нужно учить спасателей определять электромобили, правильно отключать высоковольтные провода, использовать тепловизоры для проверки температуры батареи. Тушить такие машины сложнее – иногда их приходится полностью погружать в воду или ставить в специальные контейнеры. Поэтому нужны новые нормы безопасности и специальная подготовка спасательных служб. Без этого преимущества электромобилей могут обернуться новой опасностью для людей.

Список литературы

1 **Кеян, Е. Г.** Формирование параметра эффективности использования электромобилей / Е. Г. Кеян, А. Н. Мельников, О. А. Тамошина // Вестник СибАДИ. – 2025. – № 1 (101). – С. 78–89.

2 **Аминов, О. Ш.** Особенности Системы Управления Аккумуляторами и её роль в обеспечении безопасности и надёжности работы электромобилей / О. Ш. Аминов, Х. Х. Раззоков // Integration of Environmental Safety, Occupational Health and Safety, and Emergency Management: An Integrated Approach to Protecting Humans and Nature. – 2026. – Т. 1, № 01. – С. 145–153.

УДК 681.7.069.24:531.781.2

РАЗРАБОТКА ПРОТОТИПА ЛАЗЕРНОГО ПРОГИБОМЕРА

И. С. ДЕМИДОВИЧ, П. А. КАЦУБО, Е. В. ПЕЧЕНЕВ
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Мостостроение относится к числу наиболее сложных и ответственных направлений строительной отрасли. Мостовые сооружения испытывают постоянные статические и динамические нагрузки, подвергаются воздействию климатических факторов, температурных деформаций и транспортных потоков. Обеспечение безопасности и долговечности мостов невозможно без систематического контроля их напряжённо-деформированного состояния, ключевым параметром которого является прогиб пролётных строений.

В современной практике строительства и эксплуатации мостов все большее значение приобретают автоматизированные системы мониторинга, цифровые приборы и датчики, позволяющие получать объективные данные в режиме реального времени. Особое место среди средств измерений занимают прогибомеры – приборы, предназначенные для определения линейных перемещений и прогибов конструкций под нагрузкой.

Современное мостостроение развивается в направлении повышения долговечности, снижения материалоёмкости и внедрения интеллектуальных систем управления состоянием сооружений. Одной из ключевых тенденций является переход от периодических визуальных обследований к непрерывному автоматизированному мониторингу, что позволяет выявлять опасные деформации на ранних стадиях.

Традиционные методы оценки состояния мостов, основанные на визуальном осмотре, постепенно уступают место системам Structural Health Monitoring (SHM), которые включают в себя комплект датчиков, установленных на конструктивных элементах, и передачу данных на сервер для обработки и анализа. Такой подход обеспечивает возможность прогнозирования остаточного ресурса конструкций и своевременного принятия решений о необходимости ремонта или усиления [1].

Среди современных приборов контроля прогибов выделяются цифровые прогибомеры, лазерные доплеровские виброметры, системы на основе позиционно-чувствительных детекторов (PSD) и оптико-видео-детекторы перемещений. Эти устройства позволяют измерять прогибы с точностью до микрометров и работать как в статическом, так и в динамическом режимах, что особенно важно при испытаниях мостов под нагрузкой.

Прогибомеры являются одним из основных средств измерения при проведении статических и динамических испытаний мостовых сооружений. Они предназначены для измерения линейных перемещений или прогиба отдельных точек строительных конструкций: ферм, балок, плит, пролётных строений, а также для измерения осадки опор и фундаментов.

В первую очередь при создании прототипа прогибомера необходимо определить предъявляемые к нему требования. К ним относятся метрологические, эксплуатационные и конструктивно-технологические.

К метрологическим требованиям относятся точность измерений, диапазон измерений, быстродействие, частота дискретизации, виброустойчивость, помехозащищённость.

Для динамических испытаний мостовых сооружений критически важна способность прогибомера регистрировать быстропротекающие процессы. Системы на основе Laser-PSD обеспечивают быстрый отклик и возможность проведения динамических измерений прогиба с идентификацией таких динамических параметров, как фундаментальные периоды колебаний моста. Лазерные доплеровские виброметры (LDV) позволяют измерять вибрацию и перемещения при проезде транспортных средств с высоким временным разрешением.

К конструктивно-технологическим требованиям относятся бесконтактность измерений, простота монтажа и позиционирования, автономность и возможность дистанционной передачи данных, масштабируемость и многоточечность.

Таким образом, современные лазерные прогибомеры, применяемые в мостостроении, должны

удовлетворять комплексу взаимосвязанных требований: высоким метрологическим характеристикам (точность до микрометров, широкий диапазон, высокое быстродействие), устойчивости к внешним воздействиям (освещённость, вибрации, температура), технологичности монтажа и интеграции в автоматизированные системы мониторинга. Соблюдение этих требований обеспечивает достоверную оценку напряжённо-деформированного состояния мостовых сооружений и, как следствие, их безопасную эксплуатацию.

Исходя из всего вышеизложенного, рассмотрим предложенный вариант прототипа лазерного прогибометра, созданного с целью возможности производить измерения линейных деформаций при динамических процессах и колебаниях.

Принцип работы лазерного прогибомера основывается на детектировании неподвижного горизонтального лазерного луча массивом точечных датчиков (фоторезисторов). Каждый фоторезистор является плечом делителя напряжения. Выходной сигнал отделителя представляет собой изменяющиеся напряжения постоянного тока от 0 до 5 В.

Для измерения выходного сигнала применяется встроенный в микроконтроллер ATMega328P аналого-цифровой преобразователь (АЦП). Для увеличения числа каналов до 16 и соответственно опроса 16 датчиков применяется цифровой 16-канальный мультиплексор CD74HC4067. Фоторезисторы расположены на передней панели устройства с шагом по высоте 2 мм.

Таким образом, диапазон работы прототипа составляет 30 мм. Микроконтроллер путем управления мультиплексором последовательно опрашивает все 16 датчиков формируя массив данных. Тот из датчиков, на который попал лазерный луч, выдает повышенное значение напряжения, а соответственно в массиве появляется одно значение, значительно превышающее все остальные [2].

Далее микроконтроллер производит математический анализ массива и определяет номер датчика (микрорезистора).

Тактико-технические характеристики прототипа прогибомера представлены в таблице 1.

Ключевым преимуществом прибора является высокая частота обновления показаний, что позволяет измерять не только статические прогибы конструкций, но и деформации в ходе динамических процессов и колебаний. Это позволяет расширить возможности применения измерительных приборов данного типа для решения ранее недоступных задач.

Таблица 1 – **Тактико-технические характеристики прототипа лазерного прогибомера**

Характеристика	Параметр	Примечание
Диапазон измерения	0–30 мм	–
Разрешение	2 мм	–
Частота обновления показаний	Более 100 Гц	Позволяет измерять прогибы в динамике
Вывод полученных данных	Через монитор порта	–

Таким образом, созданный прототип лазерного прогибомера выполняет свою функцию в соответствии с заданными тактико-техническими характеристиками и может в дальнейшем быть использован для проведения сравнительных испытаний с существующими измерительными приборами данного типа и программными комплексами.

Список литературы

1 **Печенев, Е. В.** Применение современных средств инженерно-строительных изысканий при проведении технической разведки / Е. В. Печенев, П. А. Кацубо, Я. В. Шутов // Инновационная железная дорога. Новейшие и перспективные системы обеспечения движения поездов. Проблемы и решения : сб. ст. V Междунар. науч.-практ. конф., Санкт-Петербург, Петергоф, 17 мая 2022 г. – СПб., Петергоф : Военная академия материально-технического обеспечения им. генерала армии А. В. Хрулева, 2022. – С. 384–389.

2 **Бобрицкий, С. М.** Анализ характера повреждений, состояния и положения основных элементов конструкций мостовых сооружений, вызванных при чрезвычайных ситуациях / С. М. Бобрицкий, П. А. Кацубо, Е. В. Печенев // Инновационная железная дорога. Новейшие и перспективные системы обеспечения движения поездов. Проблемы и решения : сб. ст. V Междунар. науч.-практ. конф., Санкт-Петербург, Петергоф, 17 мая 2022 г. – СПб., Петергоф : Военная академия материально-технического обеспечения им. генерала армии А. В. Хрулева, 2022. – С. 167–172.

УДК 351.81

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТРАНСПОРТНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

А. В. ДОЛМАТОВ
Главное управление начальника Железнодорожных войск, г. Москва, Российская Федерация

Вопросы обеспечения транспортной безопасности в последнее время остро обсуждаются в различных странах мира. В настоящий момент трудно переоценить важность мер по укреплению транспортной безопасности с учетом современных угроз. Таким образом, надежность транспортного комплекса в процессе обеспечения национальных интересов играет важную роль, что обусловлено, во-первых, политическими и социально-экономическими процессами, происходящими внутри страны и за рубежом; во-вторых, особенностями территории; в-третьих, уникальностью положения на евразийском континенте.

Эти и другие факторы определяют важность постоянного и системного укрепления сферы транспортной безопасности в целях дальнейшего укрепления обороноспособности и формирования государственной политики в этой области. Этому должны предшествовать углубленный анализ состояния транспортной системы государства, выявление узких мест, проблемных вопросов по каждому виду транспорта, обоснование требований к транспортной системе. Только на этой основе можно определить приоритетные направления развития транспортной системы и организовать работу по созданию единой системы транспортной безопасности.

Главной и первоочерёдной задачей является достижение соответствующего понимания институтами государственной власти и общественностью роли и места транспортной безопасности в обеспечении национальных интересов.

По диапазону и уровню возможных угроз транспортная инфраструктура относится к числу наиболее критических из объектов, что обусловлено:

– увеличением объемов транспортных перевозок опасных грузов (ядерного оружия, нефти, химически опасных веществ, радиационных материалов, отходов атомной промышленности к месту захоронения);

– необходимостью реконструкции целого ряда объектов транспортного комплекса;

– увеличением интенсивности движения транспорта по мере развития экономики, налаживания работы международных транспортных коридоров, логистических цепочек и изменением центров экономического тяготения;

– ростом дорожно-транспортной аварийности, являющейся одной из серьезнейших социально-экономических проблем, ущерб от которой, по экспертным оценкам, в среднем составляет от 4–5 % валового национального продукта, а число погибших и раненных достигает нескольких тысяч человек ежегодно;

– фактом совершенствования методов и способов противоправной деятельности преступных формирований, в первую очередь террористических организаций, по отношению к транспортному комплексу, усилением опасной тенденции к объединению и координации их деятельности на общефедеральном и на межгосударственном уровнях;

– высокой уязвимостью самих объектов транспорта, являющихся первостепенными целями для противника.

Необходимой составляющей комплекса мер по обеспечению безопасности является развитие разведывательных и контрразведывательных возможностей служб, в целях своевременного выявления и нейтрализации угроз, а также выявления их источников [1, 2]. Субъекты международного терроризма активно используют транспорт по его прямому назначению. Он является наиболее удобным средством для скрытного транзитного перемещения (по легализованным или поддельным документам) на значительное расстояние. Не исключается также перевозка оперативной документации, пропагандистских материалов, оружия, боеприпасов, взрывчатых, радиоактивных и отравляющих веществ.

Транспорт объективно является сферой интересов фигурантов криминальной деятельности, за-

действованных на таких направлениях, как нелегальная миграция; незаконный оборот наркотических веществ; незаконный денежный трансферт; контрабанда оружия, боеприпасов, культурных ценностей и произведений искусства и т. д. Невозможно игнорировать тот факт, что существенная часть операций и перемещений субъектов организованной преступности регулярными рейсами пассажирских транспортов осуществляется под прикрытием обычных пассажирских и грузовых потоков. Кроме террористических актов, осуществляемых на транспорте международными террористическими организациями и преследующих в основном политические цели, возможны также аналогичные акты, планируемые и проводимые конкурентами против транспортных компаний и указанных выше объектов с чисто экономическими целями, направленными на устранение конкурентов с рынка соответствующих услуг.

Вышеизложенное свидетельствует – задача организации эффективного противодействия транспортному терроризму уже вышла за рамки региональных и даже национальных проблем и стала объектом острейшей насущной потребности всего цивилизованного мира, на который требуется большое выделение средств для его предотвращения.

Активные участники рынка коммерческих перевозок, лицензированные субъекты транспортной деятельности практически не участвуют в укреплении транспортной безопасности, не проявляют серьезной озабоченности состоянием транспортной безопасности. Между тем, все виды транспорта, в том числе и железнодорожный, играют важную роль в экономике страны, являясь материальной основой для осуществления связей между производителем и потребителем продукции [3].

Кроме того, забота об укреплении транспортной безопасности должна быть в центре внимания не только государства. Необходимо, чтобы общественные организации были обеспокоены этой проблемой и активно участвовали в ее решении. Частные компании и фирмы под эгидой соответствующих государственных фондов могут систематически выделять огромные средства в рамках своих годовых бюджетов на исследования и разработки проблем транспортной безопасности.

Вышесказанное свидетельствует в пользу того факта, что забота о кардинальном и срочном повышении уровня транспортной безопасности не может быть исключительной обязанностью государства, и государство не должно в одиночку изыскивать финансовые, организационные и людские ресурсы, необходимые для решения этой задачи. Кроме того, даже самая хорошо отлаженная система транспортной безопасности не может эффективно функционировать без помощи, понимания и поддержки всех структур гражданского общества. Очевидна настоятельная необходимость широкого позиционирования проблемы транспортной безопасности в государстве и обществе. Без достижения адекватного представления органами государственной власти и общественностью изменившейся роли и места транспортной безопасности в обеспечении национальных интересов невозможно достичь ее качественно нового состояния.

Задачами формирования индивидуального и общественного сознания, активной жизненной позиции и повышения грамотности населения в области обеспечения транспортной безопасности являются:

– разработка и реализация комплекса мероприятий по информированию населения в вопросах обеспечения транспортной безопасности;

– формирование и реализация мероприятий, направленных на повышение уровня грамотности населения в области обеспечения транспортной безопасности;

реализация комплекса мероприятий, направленных на повышение эффективности и качества информационного влияния на население.

Решение этой проблемы требует, помимо прочего, обширной разъяснительной работы в отечественных и зарубежных средствах массовой информации (далее – СМИ), в том числе в глобальной сети. К этой задаче должны быть привлечены научное сообщество, представители всех ветвей власти, руководители транспортных компаний и все активные участники рынка коммерческих перевозок, органы военного управления.

Особую роль в решении вышеизложенной проблемы, её финансовой поддержке должны сыграть общественные организации, коммерческие структуры из числа видных участников рынка транспортных услуг, страховые компании и другие коммерческие предприятия – потребители транспортных услуг, в том числе иностранные, имеющие тесные экспортно-импортные связи с государством. Поиск и накопление внебюджетных денег для нужд транспортной безопасности является одним из необходимых условий успешного решения данной проблемы.

Необходимо на законодательном уровне определить роль транспорта в совокупности объектов, представляющих повышенную опасность и нуждающихся в специальной системе антитеррористической защиты, а также решить вопрос правового и нормативного регулирования обеспечения безопасности подземных сооружений.

Следует улучшить взаимодействие всех органов исполнительной власти, ответственных за транспортную безопасность. В соответствии с задачами и функциональными обязанностями правоохранительных органов, специальных служб и надзорных служб, их роль, место и ответственность как участников процесса обеспечения транспортной безопасности должны быть более четко определены на законодательном уровне.

Строгое соблюдение норм права каждым юридическим и физическим лицом в сфере транспортных отношений направлено на благоприятный процесс формирования транспортного комплекса, установление тесной связи его элементов, создание безопасной и надежной работы транспортной системы [4].

Для достижения целей обеспечения транспортной безопасности объектов транспортной инфраструктуры и транспортных средств необходимо регламентировать процесс их оснащения или дооснащения современными инженерно-техническими средствами обеспечения транспортной безопасности (охраны), в том числе в рамках технического регулирования и требований по обеспечению живучести. Достижение главных целевых ориентиров в обеспечении транспортной безопасности предусматривает проведение научных исследований и разработок в области живучести и надежности объектов транспортной инфраструктуры и транспортных средств от актов незаконного вмешательства и воздействия вероятного противника.

В конечном счете необходимо создать новую единую нормативную базу для эффективной безопасности на транспортных объектах с учетом изменений в экономике, а также подходов к управлению. Важно, чтобы в этой работе участвовали не только ученые и эксперты, но и представители общественности.

Устойчивое развитие транспорта является гарантией единства экономического пространства страны, обеспечения целостности страны, национальной безопасности, свободного перемещения товаров и услуг, конкуренции и свободы экономической деятельности, улучшения условий и уровня жизни населения. И неслучайно повышение комплексной безопасности и устойчивости транспортной системы является одной из основных целей. Решение этой сложной задачи требует не только дополнительных затрат и оснащения современными техническими средствами, но и адекватных, упреждающих изменений в подходах к технологии и организации деятельности по обеспечению транспортной безопасности.

Условия транспортной безопасности затрагивает основополагающие интересы общества и государства, интересы всех физических и юридических лиц, участвующих в деятельности транспортного комплекса. Поэтому рассматриваемые вопросы не могут не вызывать интерес только органов государственной власти и специализированных служб, а должны волновать всех и каждого. Только единая сила может обеспечить стабильную и надежную безопасность. Опыт многих стран доказывает, что лучший способ вовлечения общественности в проблемы – показать всем, что и государство, и общество заинтересованы в решении идентичных проблем, и только вместе эти проблемы могут быть решены.

Список литературы

1 О Порядке информирования субъектами транспортной инфраструктуры и перевозчиками об угрозах совершения и о совершении актов незаконного вмешательства на объектах транспортной инфраструктуры и транспортных средствах : приказ Минтранса России от 16.02.2011 г. № 56 // КонсультантПлюс. Россия : справ. правовая система (дата обращения: 10.09.2026).

2 Об уровнях безопасности объектов транспортной инфраструктуры и транспортных средств и о порядке их объявления (установления) : постановление Правительства Российской Федерации от 29.12.2020 г. № 2344 // КонсультантПлюс. Россия : справ. правовая система (дата обращения: 10.09.2026).

3 Об утверждении требований по обеспечению транспортной безопасности, в том числе требований к антитеррористической защищенности объектов (территорий), учитывающих уровни безопасности для различных категорий объектов транспортной инфраструктуры железнодорожного транспорта : постановление Правительства Российской Федерации от 8.10.2020 г. № 1633 // КонсультантПлюс. Россия : справ. правовая система (дата обращения: 10.09.2026).

4 **Шумов, С. Н.** К вопросу о транспортной безопасности на объектах железнодорожного транспорта / С. Н. Шумов, А. В. Лобачев, С. В. Муштренко // Специальная техника и технологии транспорта : сб. науч. ст. – Санкт-Петербург, Пе-

тергоф : Военный институт (Железнодорожных войск и военных сообщений) ФГКВОУ ВО «Военная академия материально-технического обеспечения им. генерала армии А. В. Хрулева», 2021. – С. 91–96.

УДК 624.21/.8

ПРИМЕНЕНИЕ ФУНДАМЕНТОВ НА ВИНТОВЫХ СВАЯХ ПРИ ВОЗНИКНОВЕНИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

Р. Ю. ДОЛОМАНЮК
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Каждому искусственному сооружению, созданному руками человека, рано или поздно понадобится обслуживание при реконструкции или ремонте. Как строительство этих сооружений, так и их содержание требуют временных сооружений, которым отводятся вспомогательные функции. Их главным критерием являются затраты на строительство, которые должны быть сведены к минимуму.

Главным достоинством таких сооружений является то, что они возводятся в кратчайшие сроки и также легко разбираются после того, как отпадает нужда в их использовании. Поэтому для их возведения обычно применяются инвентарные (мобильные) фундаменты, которые собираются на месте и демонтируются в любой удобный момент.

Долгие годы инвентарные фундаменты создавались из сборных металлических, деревянных либо железобетонных элементов, которые поставлялись на место строительства вместе с модулями будущих сооружений. Однако последние несколько десятилетий при закладке инвентарных фундаментов с успехом используются винтовые сваи.

История фундамента на винтовых сваях насчитывает почти 200 лет. Все начиналось в Англии, в 1838 году, когда английский инженер Александр Митчелл предложил использовать в качестве свай винтовые конструкции, которые можно было ввинчивать в грунт. Первоначально они изготавливались из чугуна и кованого железа, также достаточно часто с целью экономии применялись винтовые сваи из дерева, оббитого листами кованого железа. А. Митчелл использовал свое изобретение с целью строительства маяков, мостов, причалов и прочих надводных сооружений. Спустя время в другой части света, в США, в заливе Делавэр был установлен маяк, на основе предложенной новой конструкции: фундамент был изготовлен в виде металлических труб, с приваренными винтовыми колпаками. В дальнейшем винтовые сваи не раз модернизировались как в Англии и США, так и в других странах. Советские специалисты высоко оценили преимущества винтовых свай, и они стали широко использоваться сначала в военных целях (для возведения различных инженерных сооружений на сложных грунтах), а затем и в области гражданского строительства. Наши инженеры впервые в мире внесли в конструкцию винтовых свай специальные лопасти, которые изготавливались из особо прочной стали, в результате чего приобретали высочайшую надежность и долговечность.

Автором многочисленных разработок и конструкций винтовых свай является Виктор Николаевич Железков – полковник в отставке, крупный инженер-строитель. Он предложил конструкцию винтовых свай для обычных и вечномерзлых грунтов, им разработана методика для определения несущей способности свай по величине крутящего момента как на сжимающие, так и на выдёргивающие нагрузки.

Виктор Николаевич занимался и разработкой специальных установок для завинчивания свай на базе автомобилей и тракторов УЗС и УЗА. Железковым разработана рамно-винтовая опора, предназначенная для скоростного возведения свайных фундаментов опор высоководных разборных мостов в различных грунтово-геологических условиях. Это решает проблему скоростного восстановления и строительства мостов и переправ [1].

В. Н. Железков на практике доказал, что винтовые сваи по своим характеристикам не только не уступают традиционным фундаментам, но и во многом превосходят их. В некоторых случаях винтовые сваи являются единственным возможным и в то же время экономичным решением сложных задач [2].

Фундаменты на винтовых сваях обладают рядом существенных преимуществ по сравнению с традиционными свайными технологиями:

– увеличенная несущая способность, а в следствии уменьшение количества свай;

– меньшая глубина погружения по сравнению с обычной сваей с сохранением необходимой не-

сущей способности, а в следствии сокращение вспомогательных работ и сроков строительства;

– минимизация числа операций при погружении свай и сокращение количества применяемой техники, уменьшение числа обслуживающего персонала;

– исключение «мокрых процессов» при строительстве фундаментов;

– повышенная устойчивость сваи при воздействии сил морозного пучения грунта;

– возможность проведения работ в непосредственной близости к подземным коммуникациям, а также в условиях плотной городской застройки;

– готовность фундамента из винтовых свай к установке опоры, не требует дополнительного времени для обеспечения несущей способности;

– возможность демонтажа фундаментов (вывинчивания) и повторного использования.

Важным свойством винтовых свай является легкий вес, не утяжеляющий конструкцию, что особенно важно для плывущих почв. Сами сваи выпускаются с литым наконечником и плоскими лопастями диаметром от 300 до 850 мм. Это позволяет, подобно буравчику, вгрызаться в грунт. Для винтовых свай подходят любые грунты, за исключением скальных. Они легко погружаются в рыхлые и ползучие грунты, надежно фиксируясь в них, ведь завинчивание производится ниже уровня промерзания. Вентилируемость свай позволяет минимизировать воздействие на фундамент сооружения грунтовых вод и предотвратить его деформацию.

Винтовые сваи бывают:

– широколопастные (рисунок 1, *а*);

– узколопастные (рисунок 1, *б*).

а) *б*)

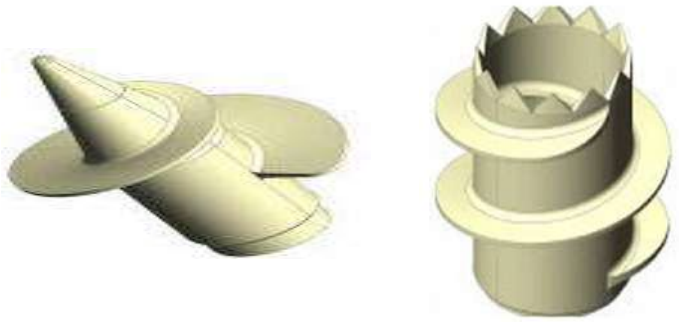


Рисунок 1 – Винтолвые сваи:
а – широколопастные; *б* – узколопастные

Широколопастные предназначены для завинчивания в талые грунты. Имеют лопасть непостоянной ширины, которая начинается на конической части винтового наконечника и плавно переходит на цилиндрическую при постепенном увеличении ширины. Данная конструкция обеспечивает резание грунта с наименьшим сопротивлением, а в следствии возможность применения меньшего крутящего момента. Угол и шаг винтовой лопасти позволяют завинчивать сваю без рыхления грунта с минимальным осевым пригружением, при этом сохраняется естественная структура грунта, что обеспечивает максимальную несущую способность.

Узколопастные предназначены для завинчивания в вечномерзлые грунты с предварительным бурением лидерной скважины диаметром, равным диаметру ствола сваи. Наличие во внутренней полости винтовой части дополнительного элемента, необходимого для транспортировки осыпавшегося грунта во внутреннюю часть сваи, позволяет погружать сваю до дна пробуренной скважины, при этом отпадает необходимость бурения лидерной скважины на глубину больше проектной, что позволяет сократить сроки строительства.

Мосты, эстакады, строящиеся при помощи свайно-винтовых технологий, отличаются быстротой возведения и высокими несущими характеристиками, ведь винтовые сваи отлично выдерживают сжимающие и выдергивающие нагрузки. Технология исключает копку котлованов, так что ландшафт не повреждается, а отсутствие «мокрых» процессов особенно актуализирует метод для северных широт. Мерзлые грунты требуют предварительного бурения, однако не являются препятствием для установки винтовых свай, как и разновысотные берега – если длины сваи будет не хватать, то ее наращивают, а места сварки затем обрабатывают специальными составами, борющимися с коррозией металла. Популярны при возведении мостов рамно-винтовые опоры, являющиеся универ-

сальными конструкциями высокой устойчивости. По окончании процесса установки фундамента можно моментально приступать к возведению полотна моста, не дожидаясь усадки опоры, так как в этом нет необходимости.

Имеющиеся на сегодня данные по испытаниям винтовых свай в Беларуси немногочисленны. Поэтому одной из наиболее актуальных задач для практики проектирования фундаментов из винтовых свай является исследования закономерностей их работы (несущей способности) при воздействии комбинированных нагрузок в различных грунтовых условиях.

Сотрудниками научно-исследовательской лаборатории РУП «Институт БелНИИС» были проведены испытания конструкции с применением винтовых свай на шести опытных площадках с различными грунтовыми условиями. Сваи завинчивались в грунт на глубину от 3 до 12 м при помощи гидрокабестана, навешенного на стрелу буровой установки марки УБМ 85 на базе машины КАМАЗ.

Анализ результатов испытаний показывает, что они обладают высокой несущей способностью как на сжимающие, так и выдергивающие нагрузки (рисунок 2) и могут с успехом применяться для фундаментов сооружений в большем диапазоне нагрузок. При откопке свай установлено, что при их завинчивании грунт в пределах ствола и пяты (между витками) не разрыхляется, а наоборот – активно уплотняется лопастью, что препятствует образованию пустот, полостей и обеспечивает, по сравнению с забивными и набивными конструкциями, более высокую надежность работы свай и контроль качества их изготовления.

Эти качества выдвигают винтовые сваи в ряд технически прогрессивных и наиболее экономичных конструкций, что делает их перспективной и конкурентно способной конструкцией не только для специфических, но и для обычных грунтовых условий Беларуси.

Для Транспортных войск такие конструкции идеально могут быть использованы при выполнении задач по восстановлению и временному строительству мостов в условиях военного времени.

Так, в среднем автодорожном мосту (САРМ) инвентарный фундамент состоит из четырех винтовых свай с диаметром ствола 203 мм, лопастью 850 мм и ригелей. На нижнем ригеле устанавливаются рамные надстройки, а на верхнем – опорные части (рисунок 3). Для автодорожных разборных мостов больших пролетов (БАРМ) также разработаны инвентарные фундаменты с винтовыми сваями указанных параметров (рисунок 4). Для краткосрочного восстановления в железнодорожных войсках Российской Федерации в разборной эстакаде РЭМ-500 используются винтовые сваи со стволами 273 мм и лопастью 1000 мм. Такие опоры обеспечивали в слабых грунтах надежную работу без неравномерных осадок. Винтовые сваи также нашли применение и в переходных опорах наплавных железнодорожных мостов.

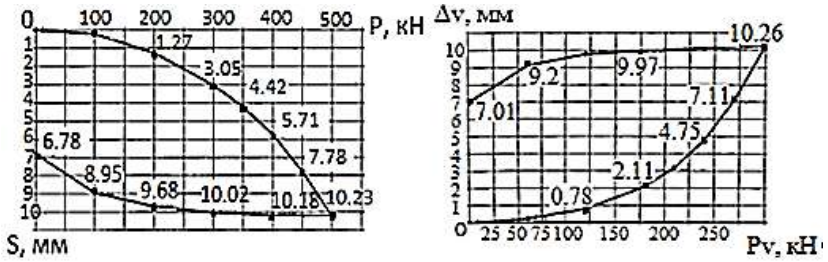
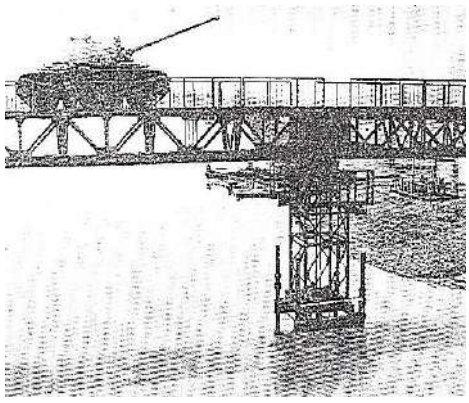


Рисунок 2 – График зависимости осадки *S* от вдавливающей нагрузки *P* и выхода сваи из грунта Δ*v* от нагрузки *Pv*



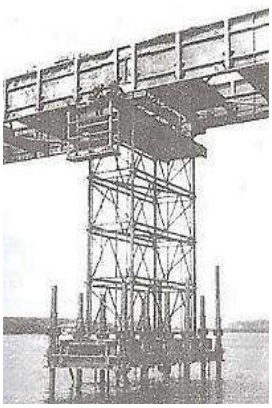


Рисунок 3 – Общий вид моста САРМ Рисунок 4 – Общий вид инвентарного фундамента

Основываясь на изложенных фактах, можно с уверенностью сказать, что фундаменты на винтовых сваях – одно из приоритетных направлений в научно-исследовательской области и развития материальной базы транспортных войск.

Список литературы

1 **Железков, В. Н.** Экспериментальные исследования несущей способности винтовых свай и применение их в военном строительстве / В. Н. Железков. – Харьков : Р-2 ХИСИ, 1965.

2 Установки для погружения винтовых свай и анкеров малого диаметра / В. Н. Железков, А. Д. Ларионов, Г.Ф. Чижаев, Б. А. Трофимов // Энергетическое строительство. – 1990. – № 2. – С. 21–23.

УДК 656.13:614.8

ТРАНСПОРТНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ В УСЛОВИЯХ УГРОЗ И ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ: ИНТЕГРИРОВАННЫЕ ПОДХОДЫ К ПРЕДУПРЕЖДЕНИЮ, ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ И ВОССТАНОВЛЕНИЮ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Р. Ю. ДОЛОМАНЮК, Д. А. ГАЕВ, Я. В. КОБА
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Транспортная система является одним из ключевых элементов функционирования современного общества и экономики. От ее устойчивости зависят мобильность населения, снабжение территорий, работа промышленных предприятий, функционирование объектов социальной инфраструктуры и обеспечение жизненно важных государственных функций. При этом транспортная инфраструктура характеризуется высокой степенью взаимосвязанности: нарушение работы одного объекта или участка транспортной сети способно вызвать цепную реакцию и привести к существенным последствиям для других элементов системы.

Эффективная транспортная безопасность начинается с выявления и оценки потенциальных рисков. Для этого необходимы регулярное обследование инфраструктуры, контроль технического состояния транспортных объектов, анализ аварийности и моделирование возможных сценариев развития чрезвычайных ситуаций.

Особое значение приобретает использование современных систем мониторинга. Датчики состояния сооружений, автоматизированные системы контроля движения, средства видеонаблюдения, геоинформационные технологии и аналитические платформы позволяют получать оперативную информацию о состоянии объектов и выявлять признаки потенциально опасных процессов. Объединение данных из различных источников в единую информационную систему повышает скорость принятия решений и позволяет переходить от реагирования на уже возникшее происшествие к его раннему предупреждению [1].

При возникновении чрезвычайной ситуации ключевое значение имеют скорость получения информации, достоверность оценки обстановки и согласованность действий всех задействованных структур. Поэтому система реагирования должна строиться на заранее определенных алгоритмах обмена информацией и распределения ответственности.

Интегрированный подход предполагает наличие единого информационного пространства, в котором объединяются данные о состоянии транспортных объектов, дорожной и метеорологической обстановке, доступности маршрутов, наличии ресурсов и ходе аварийно-восстановительных работ. Это позволяет формировать более полную картину происходящего и своевременно корректировать принимаемые решения.

Ликвидация непосредственных последствий чрезвычайной ситуации является только первым этапом возвращения транспортной системы к нормальному функционированию. Не менее важной задачей становится восстановление поврежденной инфраструктуры.

Приоритеты восстановительных работ должны определяться с учетом социально-экономической значимости объектов, их роли в обеспечении жизнедеятельности населения и возможности возникновения вторичных последствий. В первую очередь необходимо восстанавливать элементы, нарушение которых ограничивает доступ экстренных служб, препятствует снабжению населения или приводит к изоляции отдельных территорий [2].

Современная концепция восстановления предполагает не просто возвращение объекта к состоянию, существовавшему до чрезвычайной ситуации, а повышение его устойчивости. Это означает учет выявленных в ходе происшествия недостатков, совершенствование конструктивных решений, модернизацию систем мониторинга, создание дополнительных резервов и повышение надежности инженерного обеспечения.

Таким образом, обеспечение транспортной безопасности в условиях современных угроз и чрезвычайных ситуаций требует системного подхода, объединяющего профилактику, мониторинг, готовность, оперативное реагирование и восстановление инфраструктуры. Основой такого подхода должны стать риск-ориентированное управление, цифровой мониторинг, резервирование транспортных возможностей, регулярная подготовка персонала и устойчивое межведомственное взаимодействие.

Переход к интегрированной модели транспортной безопасности позволяет рассматривать чрезвычайную ситуацию не только как угрозу функционированию транспортной системы, но и как источник информации для ее дальнейшего совершенствования. Именно сочетание превентивных мер, современных технологий мониторинга, эффективного реагирования и принципов устойчивого восстановления создает основу для повышения надежности транспортной инфраструктуры и обеспечения непрерывности транспортного сообщения.

Список литературы

1 Швецов, А. В. Транспортная безопасность : учеб. пособие / А. В. Швецов. – Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2021. – 74 с.

2 Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом до 2035 года : распоряжение Правительства Российской Федерации от 27.11.2021 № 3363-р // КонсультантПлюс. Беларусь : справ.-правовая система (дата обращения: 08.09.2026).

УДК 629.067

МОДЕЛЬ ЕДИНОГО ЦЕНТРА УПРАВЛЕНИЯ ПРИ ИНЦИДЕНТАХ С ОПАСНЫМИ ГРУЗАМИ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ УЗЛЕ

К. В. ДРОБЫШЕВСКИЙ, Е. В. ВОЙТОВ
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Перевозка опасных грузов по железным дорогам является не только критически важным, но и в то же время потенциально опасным процессом. Железнодорожные узлы как сложные логистические и инфраструктурные центры представляют собой места повышенной опасности, где любой инцидент с перевозкой опасных грузов может иметь различные последствия – от экологического ущерба до угрозы жизни и здоровью населения. Эффективное реагирование на такие чрезвычайные ситуации напрямую зависит от слаженности и оперативности взаимодействия многочисленных структур, задействованных в процессе [1].

В данной статье рассмотрены основные принципы организационной модели, алгоритмов действий, информационно-технологических и правовых механизмов в ходе ликвидации тех или иных инцидентов на железнодорожном узле, связанных с перевозкой опасных грузов.

Например, если мы рассмотрим такой вариант развития событий, как крушение или сход вагонов, перевозивших токсическое химическое вещество, в пределах железнодорожного узла, вблизи жилой застройки и автодороги, то возможными его последствиями станут утечка, пожар, заражение воздуха/воды, эвакуация близлежащего проживающего населения, нарушение движения как поездов, так и автомобильного транспорта. В данном случае целью взаимодействия становятся быстрая локализация и минимизация вреда для людей и окружающей среды; координация действий силами подразделений по чрезвычайным ситуациям (далее – МЧС), транспортных операторов, службы дви-

жения для восстановления движения железнодорожного и автомобильного транспорта; работа медицинских служб по приёму и оказанию медицинской и психологической помощи пострадавшим, организация мобильных пунктов помощи. Немаловажную часть во всем этом будут играть информационное обеспечение населения о состоянии экологической безопасности в районе аварии и ходе ликвидации последствий, а также работа территориальных органов внутренних дел (далее – ТОВД) по оцеплению района аварии и сохранению доказательной базы с соблюдением правовых норм.

Как мы видим из смоделированной ситуации, ключевыми участниками, работающими над ликвидацией произошедшего события, становятся силовые территориальные ведомства и службы с четко обозначенными для каждого из них задачами. Для их слаженного функционирования и взаимодействия, повышения эффективности работы, от которого зависит качество выполнения поставленных перед ними задач, а самое главное – быстрое и оперативное спасение человеческих жизней и ликвидация угрозы последствий аварий, катастроф и т. д., необходимо создание некоторого единого центра управления взаимодействием или, например, центра управления ликвидацией последствий катастроф (далее – ЦУЛПК). Вариант организационной модели взаимодействия в данном случае будет выглядеть следующим образом:

– информация об аварии поступает в ЦУЛПК и МЧС через предусмотренные каналы (аварийные телефоны, автоматические тревоги, аварийные сигнализации и т. д.). Далее происходит создание территориального ситуационного штаба (далее – ТСШ) под руководством регионального ЦУЛПК с подбором представителей оперативной группы в ТСШ от каждого ведомства;

– формируется единая картина ситуации на основе оперативных сводок, геолокации, датчиков качества воздуха и видеонаблюдения, докладов из зоны аварии;

– разделяются зоны ответственности на «горячую», «контрольную» и «буферную», в «горячей» зоне работают средства и силы МЧС, в «контрольной» зоне осуществляется проверка и мониторинг ситуации, в «буферной» зоне проводятся эвакуация населения, оказание медицинской и психологической помощи, ограничение доступа лиц не задействованных в ликвидации последствий аварии.

Основным эффективным способом в данном варианте организации взаимодействия являются учения. Как известно, наиболее эффективное взаимодействие – то, которое отработано заранее. Регулярные комплексные учения на базе крупных железнодорожных узлов, имитирующие различные сценарии ЧС (авария, пожар, взрыв, утечка и т. д.), являются обязательным условием. Проведение таких учений позволяет:

– выявить узкие места в протоколах связи и принятия решений;

– оценить готовность персонала разных ведомств к работе в условиях, регламентированных для оперативных групп;

– проверить адекватность планов эвакуации как персонала узла, так и прилегающих территорий.

В заключение статьи стоит отметить, что инцидент с перевозкой опасных грузов на железнодорожном узле – это комплексная чрезвычайная ситуация, требующая не просто комплексного подхода и суммирования усилий, а их усиливающего эффекта взаимодействия, т. е. синергии. Успешная ликвидация возможна только при условии четкого подчинения единому руководству, в данной статье – ЦУЛПК, владения унифицированными протоколами и постоянного, доверительного информационного обмена между железнодорожной администрацией, МЧС, правоохранительными и надзорными органами. Инвестиции в превентивные меры и совместные учения является залогом минимизации ущерба в случае неизбежного возникновения нештатных ситуаций [2].

Список литературы

1 Россия – нормативы, ведомства и операторы. МЧС России – новости и методики по реагированию на ЧС. – URL: https://www.mchs.gov.ru (дата обращения: 17.09.2025).

2 **Дробышевский, К. В.** Совеместные технологии в сфере транспортной безопасности. Прогнозирование и предотвращение чрезвычайных ситуаций / К. В. Дробышевский, А. Н. Пожарицкий, С. Н. Матвеев // Проблемы безопасности на транспорте : материалы XIII Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. Году качества : в 2 ч. Ч. 2 ; под ред. Ю. И. Кулаженко. – Гомель : БелГУТ, 2024. – С. 279–280.

УДК 656.25:159.9

РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОПЕРАТОРОВ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ЧС

В. В. ДУБОВИК, К. Ю. ПРЕЦКАЙЛО, Е. П. ФРОЛОВ
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Современная мировая транспортная система находится в точке наивысшего технологического напряжения. Рост скоростей движения, колоссальное увеличение плотности грузопотоков и внедрение концепций «умного города» (Smart City) и «цифровой магистрали» парадоксальным образом обострили самую уязвимую проблему – проблему надежности человека-оператора. Водитель автомобиля, машинист тяжеловесного локомотива, пилот гражданской авиации – каждый из них ежедневно сталкивается с экстремальными когнитивными и психоэмоциональными нагрузками. Статистические данные Международного союза автомобильного транспорта (IRU) констатируют: до 88 % катастроф и тяжелых аварий происходят по вине «человеческого фактора». При этом реальность часто оказывается гораздо драматичнее сухих цифр статистики.

Вспомним резонансные случаи из отечественной практики последних лет. В 2021 году под Воложином водитель большегруза уснул за рулем: неуправляемая многотонная фура на полной скорости пробила дорожное ограждение и вылетела в кювет. В 2023 году в Минске водитель рейсового автобуса из-за внезапного резкого ухудшения самочувствия потерял сознание прямо во время движения, что привело к столкновению с осветительной мачтой и травмированию десятка пассажиров. Похожие скрытые угрозы актуальны и для Белорусской железной дороги, где монотонный стук колес и многочасовое ночное ведение грузового состава весом в тысячи тонн создают идеальные условия для коварного феномена – «микросна», когда человек отключается на 3–5 секунд с открытыми глазами, даже не осознавая этого.

В основе этих происшествий лежат объективные сбои в работе организма: синдром прогрессирующего утомления, острые соматические нарушения (инсульты, инфаркты) и когнитивный перегруз (Tunnel vision), сужающий поле зрения оператора в условиях стресса. Традиционный предрейсовый медицинский осмотр, принятый на наших предприятиях, фиксирует состояние человека только до начала смены. Он замеряет пульс и давление в кабинете врача, но абсолютно бессилен перед динамическими изменениями, которые произойдут в организме машиниста или водителя на четвертом или шестом часу тяжелого рейса. Проще говоря, на медосмотре наш водитель бодр, весел и готов покорять просторы М-1, а уже через пару часов монотонной дороги его организм начинает тихонько петь колыбельную. Безопасность транспортных коридоров требует непрерывного, автоматизированного и интеллектуального мониторинга психофизиологического статуса оператора непосредственно в процессе управления.

Разрабатываемая интеллектуальная экосистема мониторинга базируется на концепции эшелонированного неинвазивного контроля. Главное инженерное требование к системе – она не должна стеснять движений оператора, раздражать его или отвлекать внимание от оперативной обстановки. Для этого применяется мультимодальный комплекс сбора биометрических данных, разделенный на три независимых уровня.

1 Телеметрический уровень. В элементы управления (текстурированное покрытие обода руля, рукоять контроллера машиниста) интегрируются эластичные сухие микроэлектроды и фотоплетизмографические (PPG) датчики. Дополнительно применяется носимый элемент – интеллектуальный браслет-ложемент. Считывается вариабельность сердечного ритма (ВСР) для оценки вегетативного баланса и кожно-гальваническая реакция (КГР) – динамика электрического сопротивления кожи, являющаяся самым чутким маркером засыпания.

2 Оптико-интеллектуальный уровень. В кабине транспортного средства устанавливается сдвоенная инфракрасная камера, сохраняющая работоспособность в полной темноте и при сильной вибрации. Нейросетевые алгоритмы компьютерного зрения в реальном времени строят динамическую 3D-маску лица оператора и вычисляют индекс PERCLOS (Percentage of Eye Closure – процент вре-

мени, в течение которого веко закрыто более чем на 80 %), направление вектора взгляда (Eye-tracking) для контроля фиксации внимания, а также паттерны зевания.

3 Поведенческий (кинематический) уровень. Система непрерывно агрегирует телематику самого транспортного средства по CAN-шине. Анализируется микроамплитудное подруливание, частота необоснованных сходов с траектории и лаг реакции на появление запрещающих показаний светофоров или дорожных знаков [1].

Сырой поток данных передается на бортовой вычислительный модуль. На этапе калибровки (первые 15–20 минут рейса) искусственный интеллект строит базовый цифровой профиль оператора, адаптируясь под индивидуальную норму пульса и манеру управления. На этапе динамической классификации рекуррентная нейронная сеть (LSTM) сопоставляет текущие векторы данных с базовым профилем. В мировой практике инженеры часто сталкиваются с забавными техническими курьезами при отладке таких систем: например, на ранних этапах тестирования алгоритмы упорно пытались выдать статус «Критическое утомление» абсолютно бодрому водителю, который просто очень эмоционально подпевал песням по радио и слишком широко открывал рот, что искусственный интеллект путал с затяжным зевком. Обучение нейросетей разделению реальной усталости от банальной любви к дорожной эстраде стало важным технологическим шагом. При реальном же обнаружении аномалий активируется четырехуровневый протокол предотвращения ЧС:

Уровень 1. Внимание (Желтый код): при росте PERCLOS до 7–10 % активируется мягкая стимуляция (направленный обдув лица прохладным воздухом, локальная вибрация кресла).

Уровень 2. Предупреждение (Оранжевый код): при снижении пульса и появлении лага реакции более 1,5 секунды включается громкий тональный звуковой сигнал и отправляется телеметрия диспетчеру.

Уровень 3. Предаварийный (Красный код): при фиксации «микросна» более 2 секунд запускается голосовой вызов через систему громкой связи и активируются автоматические системы удержания полосы или автоведения.

Уровень 4. Критический (ЧС): при полной потере сознания и падении оператора на пульт инициируется протокол безопасного останова (экстренное торможение, включение аварийной световой сигнализации, передача координат SOS экстренным службам) [2].

Масштабный переход на автоматизированные системы формирует новый каркас безопасности. Гуманитарный эффект выражается в снижении уровня смертности и травматизма из-за человеческого фактора на 70–75 %. Прямой экономический эффект заключается в минимизации рисков уничтожения дорогостоящего подвижного состава и инфраструктуры. Накопленные массивы больших данных (*Big Data*) позволяют перейти к предиктивной медицине, заблаговременно выявляя сотрудников с риском развития профессиональных заболеваний.

Создание автоматизированных систем мониторинга психофизиологического состояния – это глубоко междисциплинарный проект, находящийся на стыке микроэлектроники, искусственного интеллекта, фундаментальной медицины и теории управления транспортом. Научно-производственный потенциал Белорусского государственного университета транспорта позволяет исследовать эти компетенции для внедрения суверенных, отказоустойчивых систем. Внедрение таких комплексов превращает транспортную среду из зоны повышенного риска в управляемое, безопасное и предсказуемое цифровое пространство. В конце концов, главная цель подобных технологий – сделать так, чтобы фраза «проснулся – гипс» больше никогда не имела отношения к дорожному движению, а операторы возвращались домой к семьям здоровыми и невредимыми.

Список литературы

1 **Малышко, И. А.** Человеческий фактор и безопасность движения на железнодорожном транспорте / И. А. Малышко // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2021. – № 2 (43). – С. 45–49.

2 Искусственный интеллект в системах управления и обеспечения безопасности движения поездов / под ред. В. А. Попова. – Минск : Выш. шк., 2023. – 284 с.

УДК 656.073.235

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УСЛОВИЙ СЛУЖБЫ КАРАУЛОВ ПО СОПРОВОЖДЕНИЮ ВОИНСКИХ ГРУЗОВ ПРИ ПЕРЕВОЗКЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ ТРАНСПОРТОМ

С. В. КИРИК
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Решение поставленных перед Вооруженными Силами задач зависит в том числе и от готовности железнодорожного транспорта выполнить заданные объемы перевозок в установленные командованием сроки. Отличительной особенностью массовых воинских перевозок является резкое возрастание объемов перевозки материальных средств в составе воинских транспортов, что требует в сжатые сроки подготовить и подать под погрузку значительное количество подвижного состава различных типов, а наличие в составе воинских транспортов большого количества перевозимого вооружения, военной техники, боеприпасов требует сопровождения данных грузов [1] воинскими караулами.

Существующие требования к оборудованию крытых вагонов, оборудованных для перевозки личного состава караула, были разработаны еще в 80-х годах прошлого века. Исходя из этого, весьма актуальным вопросом является улучшение условий службы, организации внутреннего порядка и тылового обеспечения караулов по сопровождению воинских грузов.

Для решения данной проблемы предлагается вместо караульного вагона использовать съемный кузов-контейнер, оборудованный для перевозки личного состава караула по сопровождению воинских грузов.

Для этих целей предлагается использовать контейнер на базе 20-футового контейнера.

В контейнере, оборудованном для перевозки личного состава караула, вдоль стен предлагается установить двухъярусные спальные места для отдыха личного состава караула, а также откидные стулья для бодрствующей смены караула, стол деревянный, а в качестве мест для сидения предлагается использовать имеющиеся ламели деревянные (далее – ламель), которые укладываются на нижние настенные доски вагона. Также предлагается контейнеры дооборудовать умывальником, вешалкой для обмундирования. Как и в вагоне, для перевозки личного состава караула предлагается устанавливать печь, которая будет использоваться как для обогрева помещения, так и для приготовления пищи.

В крытых вагонах, оборудованных для перевозки личного состава караула, отсутствует электричество, а для освещения помещения используются свечи. Для решения данной проблемы предлагается на крыше контейнера устанавливать солнечные батареи, а внутри контейнера разместить аккумулятор для накопления энергии и установить розетку. Это позволит использовать фонари для освещения караульного помещения, а также заряжать радиостанции и мобильные телефоны.

Контейнер, оборудованный для перевозки личного состава караула, можно использовать не только при перевозке железнодорожным транспортом, но и в повседневной жизнедеятельности войск, особенно на учениях или в полевых лагерях в качестве караульного помещения.

Удобство использования контейнеров также заключается в возможности их перевозки на станцию погрузки и после выгрузки на автомобильном транспорте, перегружать на вагоны по «прямому» варианту.

Список литературы

1 **Кирик, С. В.** Улучшение условий службы караулов по сопровождению воинских грузов при перевозке железнодорожным транспортом / С. В. Кирик // 8-я Междунар. науч. конф. по военно-техническим проблемам, проблемам обороны и безопасности, использованию технологий двойного применения (Минск, 16–17 мая 2019 г.) : сб. науч. ст. В 5 ч. Ч. 3 / Государственный военно-промышленный комитет Республики Беларусь. – Минск : Лаборатория интеллекта, 2019. – С. 27–28.

УДК 624.195

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ЛЮДЕЙ ПРИ ПОЖАРАХ В АВТОДОРОЖНЫХ ТОННЕЛЯХ

А. П. КИРКИЖ, Ю. В. КУЛАГО
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Автодорожные тоннели – это сложные инженерные сооружения, которые сооружаются в подземных условиях и обладают ограниченными возможностями для эвакуации и спасения людей при чрезвычайных ситуациях.

Расположение любых объектов под землей предопределяет ряд специфических особенностей, которые необходимо учитывать при решении вопросов безопасности людей и материальных ценностей, сооружений тоннеля и находящихся в нем транспортных средств от пожаров [1].

Пожар в тоннеле отличается от пожара в открытом сооружении. Это условия труднодоступности для пожарных служб, замкнутый объем объекта, ограниченные пути эвакуации. Данные условия при пожаре могут стать катастрофическими.

Основные опасные факторы пожара в тоннелях:

1 Задымление и потеря видимости. При столкновении легковых автомобилей образование дыма может достигать 20–30 м³/с, предельно допустимое расстояние при потере видимости до 20 метров.

2 Повышенная температура.

3 Токсичные продукты горения: термоизоляционная пена, пластик и другие материалы, перевозимые в грузовиках, выделяют едкий токсичный дым, который становится основной причиной гибели людей ещё до того, как огонь достигнет их машин.

4 Понижение содержания кислорода.

Опыт эксплуатации тоннелей различного назначения свидетельствует, что пожары в них носят достаточно регулярный характер, а при нарушении правил эксплуатации и отсутствии необходимого уровня противопожарной защиты могут иметь катастрофические последствия, сопровождаться массовой гибелью людей и большими материальными потерями [1].

Требования к пожарной безопасности тоннелей формулируются в рамках общих строительных норм проектирования, требований к системам противопожарной защиты и общих требований к проектированию тоннелей. Для проектирования различных тоннельных сооружений в Беларуси разрабатываются специальные технические условия, где указываются необходимые конструктивные и планировочные решения.

Организация эвакуационных путей – ключевой элемент обеспечения безопасности людей при пожаре в тоннеле. В тоннелях должны быть предусмотрены камеры для размещения необходимого оборудования, в том числе пожарных постов, для хранения ремонтных материалов и укрытия людей. Автодорожные тоннели протяжённостью более 1500 м должны иметь дополнительные эвакуационные выходы. В автодорожных тоннелях длиной более 1000 м следует предусматривать через 750 м площадки кратковременной остановки транспортных средств длиной не менее 50 м и шириной не менее 2,75 м, при двухстороннем движении площадки должны быть с каждой стороны тоннеля. Перед порталами автодорожных тоннелей предусматривается площадка для разворота транспортных средств [2].

Система оповещения и управления эвакуацией – обязательный элемент противопожарной защиты тоннеля. Согласно СН 2.02.03-2019, в составе автоматических установок пожаротушения и систем пожарной сигнализации защищаемых объектов следует предусматривать оборудование систем передачи извещений ПИ, обеспечивающее передачу сигналов о пожаре и неисправности пожарной автоматики на пункт диспетчеризации пожарной автоматики МЧС Республики Беларусь. ПИ следует выбирать в зависимости от вида пожарной нагрузки, назначения помещения, доминирующего фактора пожара в начальной стадии, высоты помещения, условий окружающей среды и возможных источников ложных срабатываний в контролируемой зоне [3].

Система вентиляции. При пожаре в тоннеле система вентиляции решает главную задачу – обеспечение безопасной эвакуации людей. В отличие от нормального режима, где цель вентиляции – разбавление выхлопных газов, в аварийном режиме необходимо удалять продукты горения, создавать подпор в эвакуационных путях и управлять воздушным потоком так, чтобы нижняя часть тон-

неля оставалась незадымлённой.

Основной целью исследований в области пожарной безопасности в тоннелях является определение инструментов и механизмов, с помощью которых можно надёжно проводить оценку эффективности систем пожарной безопасности.

Список литературы

1 **Чижиков В. П.** Обеспечение безопасной эвакуации людей при пожарах в транспортных тоннелях : дис. … канд. техн. наук : 05.26.03 / В. П. Чижиков. – Санкт-Петербург, 2002. – 139 с.

2 СТО НОСТРОЙ 2.27.127-2013. Освоение подземного пространства. Подводные тоннели. Правила и контроль выполнения, требования к результатам работ. – Введ. 13.12.2013. – М. : Национальное объединение строителей, 2015. – 79 с.

3 СН 2.02.03-2019. Пожарная автоматика зданий и сооружений. – Введ. 29.11.2019. – Минск : М-во архит. и стр-ва Респ. Беларусь. 2019. – 84 с.

УДК 629.33-83:629.3.067

ВНЕДРЕНИЕ СИСТЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В АВТОМОБИЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНЫХ ПРОИСШЕСТВИЙ

М. В. КЛИМЕНОК, Н. А. ХАРЬКО, Н. Д. ШЕПЕЛЕВИЧ
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Обеспечение безопасности дорожного движения является одним из ключевых вызовов для современного общества. Согласно данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), за 2025 год в результате ДТП погибло более 1,16 миллиона человек, а десятки миллионов получили травмы различной степени тяжести. Главным фактором риска остаётся человеческий фактор: по статистике NHTSA, до 94 % аварий происходят из-за ошибок водителей – невнимательности, усталости, превышения скорости или вождения в нетрезвом виде.

Интеграция систем искусственного интеллекта (ИИ) в транспортную отрасль кардинально меняет подход к безопасности. Переход от пассивной защиты к предиктивной (предотвращающей) позволяет ИИ анализировать обстановку в режиме реального времени, прогнозировать опасные ситуации и минимизировать риски ещё до возникновения угрозы.

Применение технологий ИИ для повышения безопасности на дорогах [1]:

1 Системы ADAS (Advanced Driver Assistance Systems) используют нейросети для распознавания объектов и принятия быстрых решений.

2 Автоматическое экстренное торможение (AEB – Automatic Emergency Braking) отслеживает дистанцию до объектов по курсу движения и самостоятельно задействует тормоза при угрозе неизбежного столкновения.

Как работает ИИ: нейросеть агрегирует данные от фронтальной камеры и радара/лидара (метод Sensor Fusion). Компьютерное зрение классифицирует объекты (автомобиль, пешеход, велосипедист, животное), а алгоритмы за доли секунды рассчитывают показатели TTC (Time-to-Collision – время до столкновения) и CPA (Closest Point of Approach – точка наибольшего сближения).

Предупреждение: подаётся звуковой сигнал и выводятся индикаторы на приборную панель.

Подготовка: создаётся предварительное давление в тормозной магистрали.

Удержание в полосе (LKA – Lane Keeping Assist) и Центрирование (LCA) предотвращает непреднамеренный съезд с полосы движения и удерживает автомобиль по центру траектории.

Как работает ИИ: сверточные нейросети (CNN) анализируют видеопоток с камеры под лобовым стеклом, выделяя дорожную разметку (сплошная, прерывистая, временная жёлтая), края асфальта или поребрики даже при частичном износе покрытия.

Сценарий работы: при пересечении разметки без включённого указателя поворота ИИ подаёт импульс на электроусилитель руля (EPS) или выборочно притормаживает колёса одной стороны, плавно возвращая машину в полосу.

Адаптивный круиз-контроль (ACC – Adaptive Cruise Control) поддерживает заданную скорость, автоматически регулируя дистанцию до переднего транспортного средства вплоть до полной оста-

новки и возобновления движения (Stop & Go).

Как работает ИИ: радар миллиметрового диапазона (mmWave) измеряет расстояние и относительную скорость объекта, а видеокамера подтверждает, что этот объект находится именно в вашей полосе (а не на соседней или на обочине). ИИ-регулятор прогнозирует маневры соседних машин (например, подрезание или резкое торможение) и сглаживает динамику разгона/торможения.

Мониторинг слепых зон (BSM – Blind Spot Monitoring) предупреждает о наличии транспортных средств в зонах, не просматриваемых через боковые зеркала.

Как работает ИИ: радары короткого радиуса действия, встроенные в задний бампер, сканируют соседние полосы. ИИ отфильтровывает стационарные объекты (дорожные ограждения, припаркованные машины) и реагирует только на приближающиеся движущиеся объекты, подсвечивая индикатор на боковом зеркале или блокируя открытие дверей (*Safe Exit Assist*).

Предупреждение о перекрестном трафике (RCTA / FCTA) помогает при выезде задним ходом с парковки или при выезде с примыкающей территории с ограниченным обзором.

Как работает ИИ: угловые радары фиксируют объекты, приближающиеся сбоку перпендикулярно траектории (пешеходы, самокаты, другие авто). Если скорость сближения критична, ИИ блокирует движение.

2 Системы внутреннего контроля кабины (DMS / OMS).

Система мониторинга состояния водителя (DMS – Driver Monitoring System) отслеживает уровень внимания, усталость и физическое состояние человека за рулём.

Как работает ИИ: камера с инфракрасной подсветкой (работает даже в полной темноте и через солнцезащитные очки) направлена на лицо водителя. Модель глубокого обучения определяет:

– PERCLOS (Percentage of Eye Closure): процент времени, когда глаза закрыты больше чем на 80 % (главный метрический маркер микросна);

– Gaze Tracking: вектор взгляда (фиксирует отвлечение на смартфон, мультимедиа или боковые окна дольше 2 секунд);

– Head Pose: наклон и положение головы;

– Yawn Detection: частоту и длительность зевания.

Сценарий работы: при обнаружении признаков утомления ИИ включает аудиосигнал, вибрирует руль или кресло, а также выдает рекомендацию сделать остановку.

Мониторинг пассажиров и салона (OMS – Occupant Monitoring System).

Как работает ИИ: широкоугольная камера в потолке сканирует весь салон. ИИ распознаёт наличие людей, их комплекцию и положение телосложения.

Применение для безопасности:

– забытые дети/животные (CPD – Child Presence Detection): если двигатель выключен, а в салоне оставлен ребёнок, ИИ подаёт сигнал на смартфон и включает климат-контроль;

– адаптация подушек безопасности: ИИ рассчитывает силу раскрытия Airbag в зависимости от роста, веса и расположения пассажира.

Несмотря на очевидные преимущества, массовое внедрение ИИ сталкивается с рядом сложных вопросов.

1 Технические ограничения и аномалии:

– сбои в распознавании объектов в сложных метеоусловиях (сильный снегопад, туман, проливной дождь);

– проблема «фантомного торможения» (Phantom Braking) при ошибочной квалификации теней или бликов как препятствий.

2 Законодательные и этические аспекты:

– проблема ответственности: кто виновен в случае ДТП – автопроизводитель, разработчик ПО или владелец машины;

– проблема морального выбора: алгоритмическое решение стандартной «проблемы вагонетки» при неизбежном столкновении.

3 Уязвимость бортовых систем перед взломом и подменой данных датчиков (Spoofing-атаки).

Искусственный интеллект – важнейший инструмент для снижения смертности и травматизма на дорогах. Переход от вспомогательных систем (ADAS) к автономным комплексам постепенно приближает транспортную отрасль к концепции нулевой смертности (Vision Zero).

Список литературы

1 **Жанказиев, С. В.** Интеллектуальные транспортные системы / С. В. Жанказиев. – 2016.
УДК 621.3.06:621.3.083.7

ОСОБЕННОСТИ УПРАВЛЕНИЯ, РАСПРЕДЕЛЕНИЯ И ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ АВТОМОБИЛЯ И ИХ ДИАГНОСТИКА

С. Г. КЛИМОВИЧ, Д. П. КОЗЫРЕВ, Д. А. НАХАЙЧУК
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

С появлением в составе автомобиля источников и потребителей электрической энергии закономерно возникла необходимость в защите, распределении и управлении электрическими цепями. Для защиты электрооборудования от коротких замыканий и перегрузок применяются предохранители. По конструктивному исполнению их разделяют на плавкие, термобиметаллические и позисторы. Наибольшее распространение получили плавкие предохранители пальчикового, ленточного, картриджного и ножевого типов в исполнении standard, mini и micro. Термобиметаллические предохранители защищают несколько силовых цепей или цепи мощных потребителей: при превышении тока пластина нагревается, деформируется и размыкает контакты. Позистор – полупроводниковый резистор, сопротивление которого при нагреве резко возрастает. Плавкий предохранитель разрывает цепь перегоранием плавкого элемента. Основная характеристика прибора защиты – ампер-секундная: номинал выбирают по максимальной мощности потребителя и напряжению бортовой сети, а после этого подбирают проводник.

Выбор проводника определяется сопротивлением, длиной, материалом и допустимой тепловой нагрузкой. Больший по сечению медный провод имеет меньшее сопротивление и способен длительно проводить больший ток. Для цепей низкого напряжения значительной длины обязателен расчет падения напряжения: оно не должно превышать 5–10 % от номинального, иначе сечение провода увеличивают. От правильно подобранных предохранителей и проводников зависят надежность, безопасность и работоспособность электрических систем автомобиля. Связь потребителей с бортовой сетью выполняют приборы коммутации прямого и дистанционного действия. К первым относятся выключатели и переключатели – ползунковые, клавишные, кнопочные, рычажные, поворотные и комбинированные; ко вторым – электромагнитные и электронные реле [1].

Центральным коммутационным элементом остается включатель зажигания: он коммутирует цепи и ограничивает несанкционированный доступ к управлению автомобилем. В первом десятилетии 2000-х гг. на легковых автомобилях серийно стали устанавливать системы бесключевого доступа. Механическая часть с ключом заменяется транспондером, который через антенну обменивается с блоком управления зашифрованным электромагнитным сигналом; после подтверждения кода водитель кнопкой «Старт/Стоп» коммутирует цепи и запускает двигатель. На ранних автомобилях применялись силовые выключатели, коммутировавшие большие токи; на современных – преимущественно слаботочные переключатели, управляющие электромагнитными реле. Такая схема уменьшает массу и сечение жгутов, разводит силовые и информационные цепи и повышает безопасность.

Электромагнитное реле позволяет управляющим сигналом малого тока коммутировать цепи значительной силы тока, упрощает прохождение проводов через монтажные блоки, снижает расход меди и обеспечивает централизацию управления. В эксплуатации выявились его недостатки: износ и подгорание контактов, радиопомехи, ограниченный ресурс и недостаточное по современным меркам быстродействие. Поэтому расширяется применение электронных реле с интегральными микросхемами и интеллектуальных силовых ключей. Одновременно часть функций выключателей переносится на сенсорные экраны, однако из соображений безопасности производители возвращают физические кнопки для критичных цепей. Перспективным направлением становится голосовое управление с элементами искусственного интеллекта: оно повышает комфорт и позволяет водителю меньше отвлекаться от дороги.

Совершенствование электрооборудования связано с ростом числа электрических потребителей и направлено на повышение надежности, быстродействия, эргономики и безопасности. Важные решения – мультиплексная электропроводка с общим питающим и сигнальным проводом, аппаратная самодиагностика коммутирующих элементов, замена электромеханических реле силовыми транзисторными ключами без подвижных контактов, применение повышенного или двухуровнево-

го напряжения бортовой сети, а также программное ограничение одновременного включения мощных потребителей для снижения пиковых токов. В дальнейших исследованиях предлагается опытная коммутация отдельных цепей электрифицированного стенда «Электрооборудование автомобиля» силовыми транзисторами с контролем выходных параметров и оценкой эффективности [1].

Диагностирование электрических цепей современного автомобиля – многоступенчатый процесс, требующий понимания физики процессов, умения читать схемы и работать с измерительным оборудованием. Неисправности проявляются от полного отказа узла до плавающей ошибки. Базовые приборы – мультиметр, объединяющий вольтметр, амперметр и омметр, а также контрольная лампа для быстрой проверки наличия напряжения и целостности цепи под нагрузкой. Осциллограф необходим там, где важна форма сигнала: при анализе цифровых шин CAN и LIN, сигналов ДПКВ и ДПРВ, кратковременных провалов питания, дребезга контактов и искажений цифрового сигнала. В любой электрической цепи выделяют три базовых отказа: обрыв, короткое замыкание и утечку тока.

На примере моделей «Москвич» прослеживается общая закономерность: по мере усложнения электрооборудования возрастало число предохранителей, монтажных блоков и электромагнитных реле. Это было связано с подключением осветительных приборов, электроприводов, отопителя, вентилятора и других мощных потребителей. Компоновка жгутов при этом усложнялась, поэтому возникла потребность в централизованном распределении питания, маркировке цепей и контроле состояния соединений. Современный этап развития отличается переходом от отдельных силовых цепей к распределенной архитектуре, где исполнительные элементы управляются электронными блоками и сообщают о собственном состоянии.

Управление нагрузками все чаще выполняется не через привычные реле и предохранители, а через интеллектуальные силовые ключи. Характерный пример – микросхема MC33888, объединяющая четыре верхних и восемь нижних MOSFET-каналов с единым 16-битным SPI-интерфейсом. Управление, конфигурирование и диагностика ведутся через SPI, поэтому микроконтроллер контролирует состояние всех двенадцати выходных каналов. Встроенная диагностика обнаруживает обрыв, короткое замыкание, перегрузку, перегрев и ошибки цепей управления. Вместо длительной проверки каждой линии инженер за секунды считывает SPI-статус, проверяет цепи прямого управления без разборки блока и контролирует ток нагрузки без разрыва цепи. Такой подход требует знания протокола SPI и адресации регистров, но существенно сокращает время локализации дефекта. Общий принцип неизменен: классические измерения остаются основой, а встроенная цифровая диагностика – самым быстрым путем к решению неисправности при правильном инструменте и корректной интерпретации данных. Традиционный поиск неисправности включал визуальный осмотр и сбор сведений, проверку обесточенных цепей, проверку цепей под напряжением и поиск утечки тока. Такой алгоритм трудоемок и не всегда приводит к результату, поэтому в современных автомобилях все больше функций передается электронным блокам, которые фиксируют отказы и сохраняют диагностические коды. Кроме того, диагностические регистры различают неисправность нагрузки, обрыв управляющей цепи и отклонение параметров питания; это позволяет отделить дефект проводки от неисправности самого исполнительного элемента. Практическая ценность такого решения особенно велика в жгутах с большим числом нагрузок, где последовательная проверка реле и разъемов занимает значительное время.

Список литературы

1 **Моисеев, Е. А.** Комплексный подход к диагностированию электрических цепей автомобиля / Е. А. Моисеев // Современные технологии в транспортной отрасли : электрон. сб. ст. II Междунар. науч.-техн. конф., Новополоцк, 23–24 апр. 2026 г. / Полоц. гос. ун-т им. Евфросинии Полоцкой. – Новополоцк : Полоц. гос. ун-т им. Евфросинии Полоцкой, 2026. – С. 102–104.

УДК 629.331

БЕЗОПАСНОСТЬ АВТОМОБИЛЯ ПРИ СТОЛКНОВЕНИИ: КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ И СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

А. С. КОВАЛЬ, В. Л. ПАДНЮК, И. И. САРНАЦКИЙ
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Безопасность автомобиля при столкновении – это комплекс инженерных и технологических

решений, направленных на предотвращение аварийных ситуаций и минимизацию тяжести последствий для водителя и пассажиров. В условиях стремительного роста автомобилизации современных городов пешеходы становятся наиболее уязвимой категорией участников движения. Увеличение плотности транспортных и людских потоков приводит к тревожной статистике: число наездов на пешеходов неуклонно растет, а тяжесть последствий зачастую усугубляется недостаточной эффективностью штатных средств пассивной безопасности автомобиля. В сложившейся ситуации актуальной задачей является внедрение специализированных активных систем автомобиля, способных снизить травматизм пешехода в момент аварии. В современном автомобилестроении вся система защиты традиционно разделяется на два ключевых направления: пассивную безопасность (защита во время и после удара) и активную безопасность (предо-твращение столкновения).

1 Пассивная безопасность.

Пассивная безопасность автомобиля начинает работать тогда, когда вмешательство водителя уже не может изменить тяжесть последствий столкновения. Основой защиты человека при физическом столкновении является сам кузов автомобиля. Его современная архитектура подчинена правилу: жёсткие элементы должны защищать людей, а мягкие – поглощать энергию. Зонами программируемой деформации являются передняя и задняя части автомобиля, которые проектируются таким образом, чтобы при ударе они складывались, «смягчая» силу столкновения. Важным элементом является архитектура подкапотного пространства: при сильном фронтальном ударе двигатель и тяжелые агрегаты по специальным направляющим уводятся под днище машины, а не вжимаются в салон. В отличие от сминаемых зон, каркас салона (стойки, пороги, крыша) изготавливается из сверхвысокопрочной стали. Это жесткая «клетка», защищающая людей от деформации и сдавливания. Современные рулевые колонки конструируются складными, что исключает смещение руля в грудную клетку водителя при сжатии кузова.

2 Внутренние удерживающие системы пассивной безопасности.

После того, как кузов поглотил основную энергию удара, в силу вступают удерживающие системы, защищающие пассажиров от перемещения по салону. Рулевая колонка и педальный узел при столкновении складываются (или смещаются в сторону от водителя), что предотвращает тяжелые травмы грудной клетки и переломы ног. Ремни безопасности с преднатяжителями фиксируют человека в кресле. Пиротехнические преднатяжители срабатывают за миллисекунды до основного удара, выбирая слабину ленты и плотно прижимая тело к спинке сиденья. Современный автомобиль среднего класса оснащается 6–9 подушками – фронтальными, боковыми, коленными и «шторками» для защиты головы. Фронтальные подушки защищают от удара о руль и торпедо, боковые (вмонтированные в кресла) предохраняют ребра при боковых ударах, а надувные «шторки» на окнах защищают голову от осколков стекол и жестких стоек кузова. Коленные подушки оберегают ноги водителя от контакта с жестким пластиком панели.

3 Активная безопасность и системы ADAS (предотвращение столкновений).

Современный этап развития автопрома характеризуется интеграцией технологий искус-ственного интеллекта и машинного зрения. Задача активной безопасности – сделать так, чтобы кузову автомобиля вообще не пришлось проверять свою прочность. Очень высокий процент аварий происходит из-за того, что автомобиль не смог своевременно затормозить. Чтобы качество торможения не зависело от опыта водителя, профессионалы научили механизмы правильной остановке при помощи ABS. Торможение и растормаживание колеса происходит периодически, и водитель ощущает работу ABS частыми резкими толчками на педали тормоза. Адаптивный круиз-контроль (ACC) и автоматическое торможение (AEB) поддерживает дистанцию до впереди идущего автомобиля. Электронная система Brake Assist управляет давлением в гидравлической системе тормозов, которая в случае необходимости экстренного торможения и недостаточного усилия на педали тормоза самостоятельно повышает давление в тормозной магистрали. Система делает это во много раз быстрее, чем на то способен человек. Электроника гидравлического Brake Assist распознает, произошел ли процесс аварийного торможения по скорости движения педали и давлению на педаль. В таком случае давление в системе тормозного привода значительно увеличивается, соответственно, время на срабатывание тормоза уменьшается. Системы удержания в полосе (LKA) распознают дорожную разметку и корректируют траекторию движения, предотвращая лобовые столкновения из-за невнимательности. Датчики в заднем бампере предупреждают о машинах в «слепых» зонах при перестроении. В европейских краш-тестах авто с этими системами получают дополнительные баллы

безопасности [1].

Система курсовой устойчивости (ESP) автоматически подтормаживает отдельные колеса, предо-твращая занос. ESP срабатывает в опасных ситуациях, когда возможна или уже произошла потеря управляемости автомобилем. Впервые о ней стало известно в 1995 году. Путем притормаживания отдельных колес система стабилизирует курсовую устойчивость. Время реакции ESP – 20 миллисекунд. Работает система на любых скоростях и в любых режимах движения. По данным Bosch, ESP снижает риск смертельных ДТП на 25 %.

Ночные поездки в условиях плохой видимости – серьезный вызов для безопасности водителя и пешеходов. Когда обычные фары не справляются, на помощь приходят автомобильные системы ночного видения. Сегодня в автопроме используются два принципиально разных технологических подхода.

1 Пассивные системы (тепловизионные).

Эти устройства улавливают естественное инфракрасное (тепловое) излучение. Согласно законам физики, его излучает любой объект, чья температура выше абсолютного нуля (–273 °C). Система улавливает тепловые лучи и преобразует их в визуальный образ. Впервые система ночного видения была установлена в автомобиль в 1998 году.

2 Активные системы (технология Near Infrared).

Эту технологию, использующую ближний инфракрасный спектр, разработала компания Bosch. Технология Near Infrared применяет ближнюю область инфракрасного спектра. Полупроводниковые датчики обеспечивают высокую детальность изображения и широкий обзор. Автомобиль сам подсвечивает дорогу невидимыми для человеческого глаза ИК-лучами, а специальная камера с полупроводниковыми датчиками фиксирует их отражение. Активная система по сравнению с пассивной детальнее «читает» пространство, а также способна более качественно распознавать «холодные» предметы – указательные столбы, дорожные знаки, потерянный груз, стоящие автомобили и даже дорожную разметку. Система позволяет четко видеть других участников движения и препятствия на расстоянии до 150 м, что почти в четыре раза больше, чем при свете обычных фар ближнего света. При этом система не ослепляет водителей встречных автомобилей.

Безопасность автомобиля при столкновении эволюционировала от пассивного сдерживания удара к превентивному его предотвращению. Современные автомобили представляют собой синергию прочной металлургии и продвинутого программного обеспечения. Международные рейтинги безопасности (такие как Euro NCAP) постоянно усложняют свои тесты, требуя от производителей внедрения систем распознавания велосипедистов, ночного видения и обмена данными между автомобилями (V2X). В конечном счете развитие этих технологий ведет индустрию к созданию полностью безаварийного беспилотного транспорта.

Список литературы

1 **Зотов, И. А.** Безопасность кузовов и системы безопасности автомобилей / И. А. Зотов, Ю. С. Хоперскова, О. А. Оганесов // Вестник науки. – 2025. – Т. 1, № 6 (87). – С. 2206–2212.

УДК 617.241

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТРАНСПОРТНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ УГРОЗЕ И ВОЗНИКНОВЕНИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

В. К. КУЗНЕЦОВ, А. С. ЛЯХ
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Транспорт является важной частью современной жизни. Ежедневно миллионы людей пользуются автомобилями, автобусами, поездами, самолётами и водным транспортом. Благодаря транспорту люди могут быстро перемещаться между населёнными пунктами, а предприятия получают возможность перевозить различные грузы. Однако транспортная система связана с определёнными рисками. При авариях, пожарах, стихийных бедствиях и других чрезвычайных ситуациях возникает угроза жизни и здоровью людей.

Транспортная безопасность представляет собой комплекс мер, направленных на защиту пассажиров, работников транспорта, транспортных средств и объектов транспортной инфраструктуры. Особое значение она приобретает при возникновении чрезвычайной ситуации, когда от правильных и быстрых действий людей может зависеть сохранение жизни [1].

Основные угрозы транспортной безопасности

Чрезвычайные ситуации на транспорте могут возникать по различным причинам. Одной из наиболее распространённых являются дорожно-транспортные происшествия. Они могут происходить из-за нарушения правил дорожного движения, превышения скорости, невнимательности водителей, неисправности автомобилей или сложных погодных условий.

На железнодорожном транспорте опасность могут представлять столкновения поездов, сход вагонов с рельсов, пожары и повреждение железнодорожной инфраструктуры. В авиации чрезвычайные ситуации могут быть связаны с техническими неисправностями, пожарами и авариями во время взлёта или посадки. На водном транспорте опасность представляют столкновения судов, пожары, сильные штормы и затопления.

Кроме аварий, угрозу могут создавать природные явления: наводнения, сильные снегопады, гололёд, ураганы и другие стихийные бедствия. Они способны нарушить движение транспорта и создать опасность для пассажиров.

Отдельное внимание уделяется предотвращению незаконного вмешательства в деятельность транспорта. Для этого на вокзалах, в аэропортах, метро и других транспортных объектах применяются системы контроля, видеонаблюдение и досмотр пассажиров и багажа.

Правила поведения при угрозе чрезвычайной ситуации

Для обеспечения собственной безопасности пассажир должен внимательно относиться к требованиям сотрудников транспорта. Перед поездкой желательно ознакомиться с правилами поведения и расположением аварийных выходов.

При обнаружении подозрительного предмета нельзя его трогать, переносить или пытаться самостоятельно выяснить его содержимое. Необходимо отойти на безопасное расстояние и сообщить о находке сотрудникам транспортного объекта или экстренным службам. Если объявлена эвакуация, необходимо сохранять спокойствие и выполнять указания сотрудников. Нельзя создавать панику, толкаться, кричать или возвращаться за забытыми вещами. Во время эвакуации следует двигаться организованно к ближайшему безопасному выходу.

При пожаре необходимо как можно быстрее сообщить о произошедшем. Если в помещении или салоне транспорта появился дым, следует стараться находиться ниже уровня сильного задымления и двигаться к выходу. При возможности можно использовать специальные средства пожаротушения, но только если это безопасно.

Если чрезвычайная ситуация произошла непосредственно во время поездки, прежде всего необходимо сохранять спокойствие. Паника может привести к давке, травмам и другим опасным последствиям.

В общественном транспорте пассажиры должны выполнять указания водителя или других сотрудников. Покидать транспортное средство следует только через предусмотренные выходы и в безопасном месте. Если произошла авария, необходимо по возможности отойти от транспортного средства на безопасное расстояние.

При дорожно-транспортном происшествии необходимо вызвать экстренные службы и сообщить точное место аварии. Если человеку не угрожает опасность, можно оказать первую помощь пострадавшим до прибытия специалистов. При этом нельзя перемещать тяжело пострадавшего без необходимости, поскольку это может привести к дополнительным травмам.

В поезде при возникновении пожара или другой опасной ситуации необходимо следовать указаниям проводников и сотрудников железной дороги. После остановки поезда эвакуация должна проходить организованно.

Нельзя приближаться к железнодорожным путям без необходимости и особенно к оборванным электрическим проводам.

В самолёте пассажиры должны внимательно слушать инструкции экипажа. Перед полётом необходимо ознакомиться с расположением аварийных выходов и спасательных средств. В случае аварии следует сохранять спокойствие и выполнять команды экипажа.

Роль человека в обеспечении транспортной безопасности

Большое значение в обеспечении безопасности имеет поведение каждого пассажира. Даже простое соблюдение правил может помочь предотвратить чрезвычайную ситуацию или уменьшить её последствия.

Нельзя находиться на проезжей части без необходимости, нарушать правила дорожного движения, заходить за ограничительные линии на железнодорожных платформах или пытаться самостоятельно вмешиваться в работу транспортных систем. Также важно соблюдать требования при перевозке багажа и запрещённых предметов.

Каждый человек должен знать основные номера экстренных служб и уметь правильно сообщить информацию о происшествии: место события, вид транспорта, количество пострадавших и характер опасности. Чем точнее будет передана информация, тем быстрее специалисты смогут оказать необходимую помощь.

Таким образом, транспортная безопасность имеет большое значение для сохранения жизни и здоровья людей. Чрезвычайные ситуации на транспорте могут возникнуть внезапно, поэтому каждый человек должен знать основные правила поведения и уметь правильно действовать в опасной ситуации.

Главными правилами являются сохранение спокойствия, выполнение требований сотрудников транспорта и экстренных служб, соблюдение порядка во время эвакуации и осторожность при обнаружении подозрительных предметов или возникновении пожара.

Безопасность на транспорте зависит не только от работы специальных служб и технического состояния транспортных средств, но и от ответственности самих пассажиров. Внимательность, дисциплина и знание правил поведения позволяют снизить риск травм и других последствий чрезвычайных ситуаций.

Список литературы

1 **Буралев, Ю. В.** Учебник по безопасности жизнедеятельности на транспорте. Безопасность жизнедеятельности на транспорте : учеб. для студ. учреждений высш. проф. образования / Ю. В. Буралев. – 5-е изд., перераб. – М. : Академия, 2012. – 288 с.

УДК 623.4.01:007.52

РАЗРАБОТКА НАЗЕМНОГО РОБОТОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА «ЖУК»

Д. В. ЛЯПОРОВ, И. С. ДЕМИДОВИЧ, Е. В. ПЕЧЕНЕВ, Е. В. СЛАВНИКОВ
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

В современном мире наблюдается интенсивное развитие как воздушных, так и наземных беспилотных систем. При этом наземные робототехнические комплексы находят широкое применение в военной и гражданской сферах для решения различных задач, среди которых наиболее приоритетной является транспортировка грузов [1]. Наглядным примером масштабного внедрения таких систем выступает их применение в ходе специальной военной операции, проводимой Российской Федерацией. В условиях боевых действий применяются как серийные образцы промышленного производства, так и многочисленные платформы кустарного изготовления, создаваемые волонтерскими организациями и непосредственно личным составом.

Авторским коллективом на военно-транспортном факультете в учреждении образования «Белорусский государственный университет транспорта» инициативно осуществляется разработка варианта наземного робототехнического комплекса под рабочим наименованием «Жук» (рисунок 1). Комплекс выполнен в виде четырехколесной бортоповоротной платформы с раздельным приводом колес каждого борта.

Несущая рама представляет собой сварную конструкцию из профильных труб квадратного сечения 20×20 мм с толщиной стенки 2 мм. Платформа оснащена колесами с сельскохозяйственным профилем протектора и диаметром обода 8 дюймов. Ступичный узел каждого колеса выполнен на основе двух шарикоподшипников 6004 (размерами 20×42×12 мм), запрессованных в оправку из стальной круглой трубы с проточенными посадочными местами.



Рисунок 1 – Общий вид наземного робототехнического комплекса «Жук»

В качестве силовой установки использованы два мотор-колеса и плата контроллера серийного гироскутера. Мотор-колесо гироскутера представляет собой трехфазный бесколлекторный двигатель постоянного тока на постоянных магнитах (BLDC-мотор) с компоновкой OutRunner, то есть ротор двигателя находится снаружи статора. Такому мотору для работы необходим ESC-контроллер, который коммутирует фазные провода в определенной последовательности, обеспечивая вращение магнитного поля статора. Отличительной особенностью данных мотор-колес являются низкая частота вращения и высокий крутящий момент. Однако для обеспечения требуемых динамических и тяговых характеристик платформы при наружном диаметре колес 400 мм, потребовалось введение в трансмиссию редуктора собственной разработки. Особенностью данного узла является его изготовление из полимерных материалов с применением аддитивных технологий, а именно 3D-печати на FDM-принтере (рисунок 2). Конструктивно редуктор представляет собой косозубую цилиндрическую одноступенчатую передачу с передаточным отношением 3,17 : 1. С целью проверки работоспособности узлов и подбора оптимальных пар трения редукторы левого и правого бортов различаются геометрическими параметрами и материалами зубчатых колес. Первый редуктор изготовлен полностью из ABS-пластика и имеет больший модуль зацепления. Второй редуктор характеризуется меньшим модулем и, как следствие, меньшими габаритами за счет применения конструкционных полимеров, таких как нейлоны (полиамиды). В нем ведущая шестерня выполнена из чистого полиамида PA6, а ведомое зубчатое колесо – из стеклонаполненного полиамида PA6-GF. По результатам натурных испытаний оба редуктора выдержали расчетные нагрузки без разрушения, однако второй вариант демонстрирует более высокую износостойкость.



Рисунок 2 – Печать ведомого зубчатого колеса редуктора
из стеклонаполненного полиамида PA6-GF

Ведомый вал редуктора и валы колес соединены посредством цепного привода с передаточным отношением 1,5 : 1. Таким образом, общее передаточное число трансмиссии является фиксированным и составляет 4,75 : 1.

Система управления построена на базе микроконтроллеров ATMega328P и приемо-передающих радиомодулей NRF24L01, установленных в пульте управления и приемнике. В качестве драйверов двигателей применяется штатный контроллер гироскутера с измененным программным обеспечением, которое позволяет принимать управляющие сигналы в PWM-режиме, а также обеспечивает векторное (FOC) управление моторами. В качестве источника питания применяется литий-ионная аккумуляторная батарея с номинальным напряжением 36 В.

Разработанная платформа обладает модульной архитектурой, что обеспечивает высокую ремонтопригодность и взаимозаменяемость ее элементов. Таким образом, любой из функциональных узлов может быть заменен на узел с другими характеристиками. Рама и ходовая часть платформы обладает значительным запасом прочности, а значит грузоподъемность аппарата при необходимости может быть увеличена путем установки более мощных двигателей и контроллеров.

Промежуточные испытания прототипа продемонстрировали обоснованность выбранных компоновочных решений. Платформа способна осуществлять транспортировку грузов массой до 100 кг по пересеченной местности при суммарной мощности двух двигателей всего 400 Вт. При этом аппарат развивает скорость до 10 км/ч и способен разворачиваться на месте под нагрузкой.

Разрабатываемый робототехнический комплекс может быть использован для транспортировки грузов, а также в качестве универсального базового шасси для интеграции различного целевого оборудования: средств оптико-электронной, радиоэлектронной разведки, РЭБ, поисково-спасательного оборудования и прочего.

Список литературы

1 **Зинченко, Е. С.** Многофункциональный наземный беспилотный аппарат / Е. С. Зинченко, Е. С. Васин // Фундаментальные и прикладные вопросы транспорта. – 2024. – № 3 (14). – С. 25–34.

УДК 343.346

ТРАНСПОРТНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПРИ ТЕРРОРИСТИЧЕСКИХ АКТАХ И ДИВЕРСИОННЫХ ДЕЙСТВИЯХ

Д. В. ЛЯПОРОВ, Г. С. ТИТОВЕЦ
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Транспортный комплекс является «кровеносной системой» экономики любого государства, обеспечивая мобильность населения и логистику грузов. В то же время транспортная инфраструктура (аэропорты, вокзалы, метрополитен, мосты, тоннели) представляет собой одну из наиболее уязвимых целей для террористических и диверсионных атак из-за высокой концентрации людей и стратегической значимости объектов [1, 2].

Угрозы в сфере транспорта можно разделить на две категории: террористические акты – направлены на устрашение населения, создание паники и причинение массовых жертв (взрывы в метро, захват воздушных судов, атаки на вокзалы); диверсионные действия – направлены на выведение из строя критически важной инфраструктуры (подрывы железнодорожных путей, повреждение систем управления движением, кибератаки на логистические узлы) с целью дестабилизации экономики и логистики.

Для противодействия этим угрозам в РБ и многих других странах выстроена многоуровневая система защиты, включающая: техническое оснащение – системы видеонаблюдения с функцией распознавания лиц, интроскопы (рентгеновские установки) и металлодетекторы, газоанализаторы для обнаружения взрывчатых веществ, системы контроля доступа (СКУД) на закрытые территории; организационные меры – категорирование объектов транспортной инфраструктуры (ОТИ) по степени опасности, проведение регулярных учений и тренировок персонала, создание подразделений транспортной безопасности (ПТБ), имеющих право на досмотр и задержание; информационная безопасность – защита автоматизированных систем управления движением (АСУД) от хакерских атак, которые могут привести к столкновениям или остановке транспортных потоков [3–5].

Эффективность безопасности зависит не только от предотвращения, но и от алгоритма действий при совершении акта:

1 Минимизация последствий: наличие планов эвакуации, систем пожаротушения и оповещения.

2 Взаимодействие спецслужб: оперативный обмен информацией между МВД, ФСБ, МЧС и службами безопасности транспортных узлов.

3 Психологическая устойчивость: обучение персонала правилам поведения в критических ситуациях для предотвращения паники, которая часто приводит к большему числу жертв, чем сам теракт.

Сегодня транспортная безопасность сталкивается с новыми вызовами: использование БПЛА – дроны становятся инструментом для диверсий на объектах транспортной инфраструктуры; кибертерроризм – попытки взлома систем управления железнодорожным или авиационным движением; «спящие ячейки» – сложность выявления лиц, готовящих диверсии, среди обычных пассажиров.

Транспортная безопасность – это динамический процесс, требующий постоянного совершенствования. Основной акцент в будущем должен быть сделан на превентивные меры: внедрение искусственного интеллекта для анализа подозрительного поведения, усиление киберзащиты и повышение бдительности гражданского общества. Безопасность на транспорте – это общая ответственность государства, операторов перевозок и каждого пассажира [6, 7].

Список литературы

1 Об основах транспортной деятельности : Закон Респ. Беларусь от 05.05.1998 № 140-З // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: https://pravo.by/document/?guid=11031&p0=H19800140 (дата обращения: 10.09.2026).

2 О железнодорожном транспорте : Закон Респ. Беларусь от 06.01.1999 № 237-З // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: https://pravo.by/novosti/novosti-pravo-by/2024/october/79158/ (дата обращения: 10.09.2026).

3 О противодействии экстремизму (с последующими изменениями) : Закон Респ. Беларусь от 10.06.2014 № 128-З // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: https://pravo.by/document/?guid=11031&p0=-h10700203 (дата обращения: 10.09.2026).

4 **Землин, А. И.** Безопасность жизнедеятельности для транспортных специальностей: противодействие терроризму на транспорте : учебник для СПО / А. И. Землин, В. В. Козлов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Юрайт, 2025. – 155 с.

5 **Аземша, В. Н.** Обеспечение безопасности дорожного движения и перевозок : учеб. пособие / В. Н. Аземша. – Гомель : БелГУТ, 2011. – 259 с.

6 Транспортная безопасность : метод. пособие (сборник нормативно-правовых актов по транспортной безопасности) / В. Н. Бутченко Г. Я. , Бровацкий, В. В. Бокарев [и др.] – Н. Новгород : ВГУВТ, 2017. – 544 с.

7 **Моторный, И. Д.** Защита гражданских объектов от терроризма : науч.-практ. пособие / И. Д. Моторный. – М. : Изд. дом Шумиловой И. И., 2005. – 161 с.

УДК 614.8:629.73

ПРЕВЕНТИВНЫЕ МЕРЫ ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ БЕСПИЛОТНЫМ ЛЕТАТЕЛЬНЫМ АППАРАТАМ

Э. А. ПАРХОМЧИК, Я. А. РОМАНЕНКО
Университет гражданской защиты, г. Минск, Республика Беларусь

Беспилотные летательные аппараты (далее – БЛА) включают в себя большое разнообразие устройств, которые различаются по массогабаритным, скоростным характеристикам, конструктивному исполнению, назначению и другим признакам, но при этом имеют схожие составные части (корпус (фюзеляж), источник энергии, двигательная установка, навигационная система, система управления, система связи, съемочная аппаратура и ряд других приборов, подбираемых под конкретный БЛА и его задачи) [1, 2]. Популярность БЛА в различных областях деятельности человека способствует их развитию и доступности. Это в свою очередь делает их удобными для применения в незаконных целях. Также обострение геополитической обстановки ведет к тому, что БЛА, разработанные и применяемые в военных целях, используются в отношении гражданских объектов и населения. В результате незаконное применение БЛА угрожает жизни и здоровью людей, приводит к разрушению зданий и сооружений, транспортной и другой инфраструктуры, в том числе может привести к возникновению чрезвычайных ситуаций.

При активном развитии какой-либо незаконной деятельности меры по противодействию ей тоже не стоят на месте. Меры борьбы с БЛА определяются исходя из их параметров и угроз, которые

они несут. Можно выделить следующие стадии (этапы) противодействия БЛА: превентивные меры, обнаружение, подавление и (или) ликвидация.

Первостепенно к превентивным мерам противодействия БЛА следует отнести совершенствование законодательной базы в области реализации, применения БЛА, учитывающей постоянный рост рынка БЛА, геополитическую обстановку. Правовое поле должно обеспечивать безопасность и в то же время развитие данной отрасли для национальных интересов.

В ряде стран применение БЛА в законодательстве не рассмотрено. Есть государства, в которых применение БЛА запрещено. В основном же во многих государствах применение БЛА разрешено, но при соблюдении определенных условий, среди которых можно выделить следующие [3]:

– регистрация БЛА;

– идентификация БЛА;

– требования к оператору, в том числе может быть обязательным наличие лицензии, сертификата на осуществление коммерческих полетов;

– страхование;

– требования к пилотированию (например, высота и скорость полета, БЛА должен быть в прямой видимости оператора);

– особенности применения в отношении жилых, природоохранных зон, аэропортов, тюрем, больниц, военных, правительственных и различных уязвимых (ценных) объектов;

– ограничения по применению фото- и видеосъемки с борта БЛА;

– согласованность с законодательством по защите персональных данных [3].

Формирование баз данных лиц, имеющих опыт (прежде всего боевой) применения БЛА, также является мерой противодействия БЛА.

Модификация БЛА для обхода ограничений – отдельный вид преступлений. Обеспечение маркировки БЛА (совместно с производителями) с целью последующей их идентификации в случае применения в незаконных целях – одно из направлений по регулированию применения БЛА, которое имеет сейчас общемировую тенденцию.

Имеются случаи, когда государство вводит запрет на распространение и применение определенных производителей, подозревая их в шпионаже. Как следствие подобных решений может быть государственная поддержка в развитии и укреплении отечественной индустрии производства БЛА.

В Республике Беларусь, в частности, порядок применения гражданских БЛА определяется Указом Президента Республики Беларусь от 25 сентября 2023 г. № 297 «О государственном учете и эксплуатации гражданских беспилотных летательных аппаратов», Авиационными правилами организации и выполнения полетов государственных беспилотных летательных аппаратов Республики Беларусь, Воздушным кодексом Республики Беларусь, Авиационными правилами по организации государственной регистрации гражданских воздушных судов. Законом Республики Беларусь от 20 октября 2025 г. № 101-З «Об изменении законов по вопросам уголовной и административной ответственности» определены меры ответственности за незаконные действия в отношении гражданских БЛА, нарушение правил использования воздушного пространства с использованием гражданского БЛА.

Следующим видом превентивных мер борьбы с БЛА являются градостроительные и другие архитектурные решения (архитектурно-строительные и ландшафтно-средовые методы), которые реализуются при проектировании или в процессе реконструкции объектов. В ходе выполнения данных мер осуществляются предварительный анализ мест возможной атаки, оценка риска в отношении конкретных объектов и определение мероприятий по их защите. Например, плотная городская застройка повышает вероятность нанесения удара и способствует большему разрушению, но в то же время она может подавлять сигнал, посредством которого осуществляется управление БЛА. Также подавлению сигнала способствует озеленение. Озеленение прилегающей к объектам территории способно защитить от наблюдения с помощью БЛА. В целом активный ландшафт препятствует работе БЛА [4].

При проектировании объектов рекомендуется предусматривать взрывобезопасные зоны внутри зданий, которые могут размещаться в помещениях без проемов в наружных стенах, на первых этажах, в подвалах. Конструктивные системы зданий должны обеспечивать устойчивость к взрывным нагрузкам. Взрывоустойчивым может быть каркас или оболочковая система (независимая от внутренних несущих элементов) [5].

Для защиты от БЛА (в том числе и от наблюдения) могут применяться защитные ограждающие конструкции в виде защитных сеток (препятствуют контакту БЛА или переносимого им снаряда с защищаемым объектом, улавливают «остатки» БЛА), ограждения из стальных тросов (препятствуют пролету БЛА), опоры и пространственные опорные конструкции и растяжки (вспомогательные устройства для обеспечения функционирования защитных сеток, тросов), а также многослойные фасады и фальшфасады, остекление из многослойного стекла, заглубленные окна, окна маленького размера с частым делением на импосты [6].

Архитектурными решениями может быть предусмотрена защита наиболее уязвленных частей зданий, в том числе от химического и биологического заражения.

Немаловажным мероприятием в противодействии угрозам от БЛА является образование населения в этой области. С целью обучения населения разрабатываются инструкции, памятки с правилами действий в случае обнаружения, атак БЛА, осуществляется обучение и отработка действий в рамках учений. Имеются рекомендации для гражданского населения в случае нахождения его в момент обнаружения (атаки) на улице, в помещении, транспорте. Также разрабатываются инструкции с порядком действий для персонала предприятий, охранных служб.

Список литературы

1 Устройство БПЛА: конструкция и принцип работы. – URL: https://www.rub-in.ru/news/ustroystvo-bpla (дата обращения: 07.05.2026).

2 БПЛА: классификация, типы, сферы применения. – URL: https://3mx.ru/articles/bpla-konstruktsiya-tipy-sfery-primeneniya (дата обращения: 07.05.2026).

3 **Курченко, Н. Ю.** Нормативно-правовая база использования беспилотных авиационных систем / Н. Ю. Курченко, Е. В. Труфляк. – Краснодар : КубГАУ, 2021. – 56 с.

4 **Полянцева, Е. Р.** Архитектурная защита зданий от атаки БПЛА / Е. Р. Полянцева // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2025. – Т. 27, № 1. – С. 99–109. – DOI: 10.31675/1607-1859-2025-27-1-99-109.

5 **Федорова, М. А.** Возможность применения взрывоустойчивого каркаса промышленного здания из металлических панелей / М. А. Федорова // Молодой ученый. – 2022. – № 20 (415). – С. 103–107. – URL: https://moluch.ru/-archive/415/91670/ (дата обращения: 07.05.2026).

6 СП 542.1325800.2024. Защитные ограждающие конструкции от беспилотных летательных аппаратов. Правила проектирования. – Введ. 26.01.2025. – М. : Минстрой России, 2024. – 30 с.

УДК 625.7/.8

АНАЛИЗ РАБОТОСПОСОБНОСТИ КОМПОЗИЦИИ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ЯМОЧНОГО РЕМОНТА АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ПОКРЫТИЯ В ДВОРОВЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

В. В. ПЕТРУСЕВИЧ, В. В. ТОМАШОВ, Р. Ю. ДОЛОМАНЮК,
Я. М. ГРИЩЕНКОВ, А. О. МИХАЛЬКОВ
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

В Республике Беларусь уделяется большое внимание качеству дорожной сети, но вместе с этим состояние асфальтобетонного покрытия в дворовых территориях требует усиленного контроля ввиду значительно возросших транспортных нагрузок и не всегда соблюденной технологии по их устройству. Асфальтобетонное покрытие в наших дворах – это очень значительные по объему объекты транспортной инфраструктуры, которые не всегда вовремя ремонтируются дорожными эксплуатационными организациями. Проведение ремонтов и устройство различных подземных сетей в придомовой территории также данную проблему усугубляют, когда проводят работы со вскрытием дорожного покрытия. Просадки и разрушения асфальтобетонного покрытия возникают также в результате невыполнения строительных норм при уплотнении технологических слоев дороги.

По данной тематике в нашей стране и за рубежом имеется значительное количество научно-исследовательских работ и технологических решений по устранению дефектов асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог [1–5].

Авторами статьи предлагается к рассмотрению один из возможных вариантов решения задачи по сохранению целостности асфальтобетонного покрытия автомобильной дороги и возможности осуществления пропуска автомобилей в Республике Беларусь. Выполняется ямочный ремонт покрытия согласно с разработанной РУП «Белдорцентр» технологической картой ТК 190638734-250-2019 «Ямочный ремонт асфальтобетонных дорог локальными картами» [6].

Примерная потребность материалов и их стоимость на 1 м^2 для выполнения ямочного ремонта согласно [6] асфальтобетонного покрытия автомобильной дороги представлена в таблице 1.

Таблица 1 – **Примерная стоимость материалов для ямочного ремонта на 1 м^2**

Материал	Стоимость материала за тонну, руб.	Потребность материала на 1 м^2 при глубине карты 0,1 м, т	Итоговая стоимость материалов на ремонт, руб.
Смесь органоминеральная складируемая ремонтная СОМС-10 (СТБ 2175-2011)	525,0	0,24	126,0
Битумная эмульсия ЭБКД-М-65; ЭБКД-М-60 (СТБ 1245-2015)	620,00	0,005	3,1
Итого	–	0,245	129,1

Анализируя таблицу 1, можно отметить, что для выполнения данного вида ремонта требуются значительные затраты для восстановления 1 м^2 асфальтобетонного покрытия.

Для снижения затрат при выполнении ямочного ремонта авторами предложены композиции, состоящие преимущественно из вторичных материалов [7].

Используемые в статье композиции состоят:

– из связующего – вторичные продукты нефтепереработки с ОАО «Мозырский НПЗ», состав которых исследован в работе [8];

– битума – БНД 70/100;

– песка природного для строительных работ по ГОСТ-8736, класс песка высший, содержание пылевидных и глинистых частиц, определенное методом мокрого посева, по массе составляет 0,5 %, модуль крупности 2,45;

– отсева щебня по ГОСТ 31424-2010 с величиной фракции 0,14–2,5 мм и наличием глиняных частиц и органических веществ не более 0,6 %;

– минерального наполнителя – дефеката (отход сахарного производства ОАО «Слуцкий сахаро-рафинадный завод», который образуется в процессе очистки сока сахарной свеклы известью и имеет состав, мас. %: $CaCO_3$ – 65,5–77,8; $MgCO_3$ – 3,4–8,6; Al_2O_3 – 0,2–3,8; P_2O_5 – 0,9–1,3; Fe_2O_3 – 0,2–1,0; органические вещества 12,0–15,0. Используемый дефекат представлял собой мелкодисперсный порошок светло-коричневого цвета с удельной поверхностью 400–600 м^2/г).

Для проведения исследований были выбраны следующие варианты ремонтных композиций (таблица 2).

Таблица 2 – **Варианты ремонтных композиций**

Компонент	Номер варианта композиции								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Связующее, мас. %	6	10	14	–	–	–	3	5	7
Битум, мас. %	–	–	–	6	10	14	3	5	7
Отсев щебня, мас. %	74	70	66	74	70	66	74	70	66
Песок, мас. %	10	12	14	10	12	14	10	12	14
Минеральный наполнитель, мас. %	10	8	6	10	8	6	10	8	6

Подготовка и проведение испытаний проводилась в следующей последовательности (рисунок 1):

– очистка дефекта от пыли и грязи;

– нарезка швов по периметру выбоины;

– проверка каждого варианта композиции осуществлялась с подгрунтовкой и без нее (подгрунтовка осуществлялась составом гидрофобным профилактическим [9], показавшим положительное влияние на физико-механические характеристики асфальтобетона, что рассмотрено в работах [10, 11], состоящим из вторичных продуктов нефтепереработки с ОАО «Мозырский НПЗ», минерального наполнителя, при этом растворителем является керосин ГОСТ 18499-73, одновременно с этим состав дополнительно содержит гидрофобизатор ТУ 2229-008-42942526-00);

– разогрев композиции до +110 ºС и перемешивание в лабораторном лопастном смесителе в течение 10 минут;

– заполнение дефекта композицией;

– уплотнение карты ручным инструментом;

– проливка составом гидрофобным профилактическим швов карты.

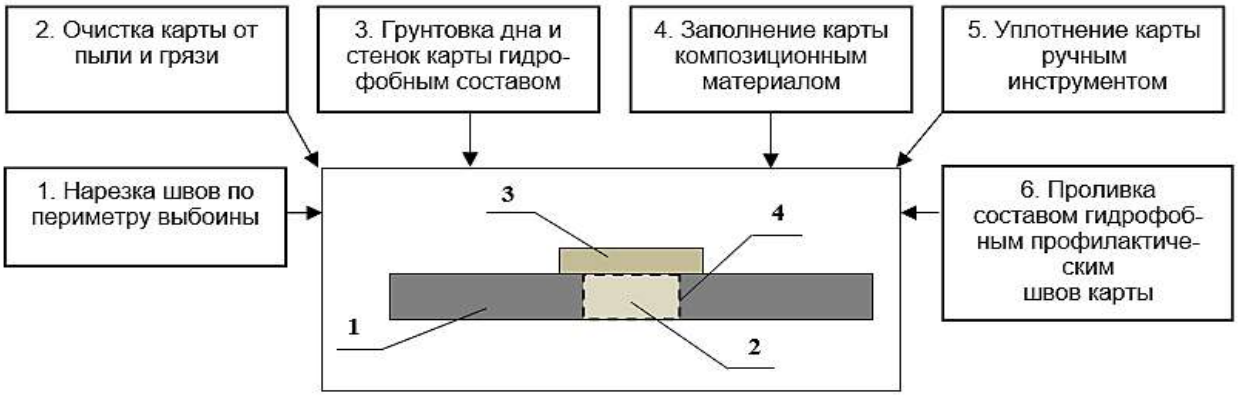


Рисунок 1 – Технологический процесс ямочного ремонта разработанной композицией:
1 – асфальтобетон; *2* – карта дефекта; *3* – композиции для ямочного ремонта; *4* – битумная эмульсия

Контрольный осмотр и периодические наблюдения осенью-зимой 2024 года и зимой-весной 2025 года, которые проводили в начале каждого месяца, показали, что работоспособность рассматриваемых композиций схожа с работоспособностью смеси органоминеральной складируемой ремонтной СОМС-10 (СТБ2175-2011), которой рядом для осуществления контроля отремонтировали дефект. Это подтверждается отсутствием трещин и других дефектов в течение 10 месяцев после выполнения ямочного ремонта смесью СОМС-10 и предложенными авторами композициями.

Для выполнения расчета стоимости предложенных вариантов для ямочного ремонта была выбрана композиция № 9 из таблицы 2 как лучшая по критерию работоспособности (таблица 3).

Таблица 3 – **Стоимость предлагаемой композиции для ямочного ремонта**

Материал	Стоимость материала за тонну, руб.	Потребность материала на 1 м^2 при глубине карты 0,1 м, т (*композиция № 9, см. таблицу 2)*	Итоговая стоимость материалов на ремонт, руб.
Связующее (вторичные продукты нефтепереработки с ОАО «Мозырский НПЗ»)	0	0,0168	0
Битум БНД 70/100, мас. %	1737,43 [12]	0,0168	29,2
Отсев щебня, мас. %	30,12 [13]	0,158	4,76
Песок, мас. %	17,00	0,0336	0,57
Минеральный наполнитель (дефекат с ОАО «Слуцкий сахарорафинадный завод»), мас. %	0	0,0144	0
Итого	–	0,24	34,53

Список литературы

1 **Полякова, С. В.** Выбор основных технологий ямочного ремонта выбоин в асфальтобетонных покрытиях при неблагоприятных условиях / С. В. Полякова // Дороги и мосты. – 2021. – № 2. – С. 77–94.

2 Influence of pavement material and structure on low-temperature crack resistance for double-layer asphalt surface one-time paving / B. Wu, Z. Han, Y. Mao [et al.] // Materials 18. – 2025. – № 5. – DOI: https://doi.org/10.3390/ma18051037.

3 Surface modified slag fiber reinforced asphalt mixture: enhancement of pavement performance and field validation / F. Mingen, C. Qingbing, W. Weijian [et al.] // Case Studies in Construction Materials. – 2025. – № 22. – DOI: https://doi.org/10.1016/j.cscm.2025.e040505.

4 Отечественный и зарубежный опыт. Материалы и технологии для ремонта выбоин дорожного асфальтобетонного покрытия: информационный сборник / С. В. Полякова, А. В. Чванов, А. С. Козин, Ю. В. Тактарова. – Казань : Бук, 2020. – 134 с.

5 **Полякова, С. В.** Современные способы заделки выбоин при ремонте асфальтобетонных покрытий / С. В. Полякова, А.С. Козин // Дороги и мосты. – 2021. – Вып. 45 /1. – С. 81–100.

6 ТК 190638734-250-2019. Ямочный ремонт асфальтобетонных покрытий улиц и проездов населенных пунктов локальными картами с применением асфальтобетонных горячих литых смесей. – Минск : Белдорцентр, 2024. – 27 с.

7 **Бочкарев, Д. И.** Исследование поведения композиции для выполнения ямочного ремонта асфальтобетонного покрытия в дворовых территориях / Д. И. Бочкарев, В. В. Петрусевич, В. В. Томашов // Вестник БрГТУ. – 2025. – № 2. – С. 10–15.

8 **Бочкарев, Д. И.** Использование метода ИК-спектроскопии для идентификации отходов нефтехимического производства / Д. И. Бочкарев, В. В. Петрусевич, А. М. Валенков // Горная механика и машиностроение. – 2017. – № 2. – С. 84–89.

9 Патент BY 24097, МПК E01C 11/24 (2006.01). Гидрофобный состав для профилактической обработки асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог : № a 20180114 : заявлено 23.03.2018 : опубл. 30.10.2023 / Бочкарев Д. И., Петрусевич В. В. ; заявители Бочкарев Д. И., Петрусевич В. В. – 5 с.

10 **Петрусевич, В. В.** Исследование влияния состава гидрофобного профилактического «ПРОТЕКТ-01» на физико-механические свойства материалов асфальтобетонных покрытий / В. В. Петрусевич // Наука и техника. – 2023. – № 4. – С. 294–300.

11 **Бочкарев, Д. И.** Моделирование технологического процесса профилактической обработки асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог / Д. И. Бочкарев, В. В. Петрусевич // Вестник БрГТУ. – 2024. – № 1. – С. 48–52.

12 ОАО «Мозырский НПЗ» : [офиц. сайт]. – URL: **Ошибка! Недопустимый объект гиперссылки.** (дата обращения: 23.05.2026).

13 РУПП «Гранит» : [офиц. сайт]. – URL: http://granit.by (дата обращения: 23.05.2026).

УДК 355.69

ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТРАНСПОРТНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВОИНСКИХ ПЕРЕВОЗКАХ

М. И. ПИСАРЕНКО, М. Ю. ЯРМОЛИК
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Транспортная безопасность в сфере оборонной логистики представляет собой одну из наиболее сложных и многогранных проблем, стоящих перед военным командованием. Специфика данного направления обусловлена повышенными требованиями к сохранности перемещаемого имущества, необходимостью противодействия широкому спектру угроз и высокой ценой ошибки. Утрата или повреждение перевозимого груза способна критически снизить обороноспособность отдельных подразделений и целых группировок войск. При этом масштаб задач, решаемых в рамках обеспечения безопасности на транспорте, постоянно расширяется, что связано с появлением принципиально новых видов угроз, развитием разведывательных и ударных технологий, а также усложнением характера современных вооруженных конфликтов.

Ключевая проблема заключается в том, что транспортные операции военного назначения изначально обладают повышенной уязвимостью перед действиями противника. Колонны, эшелоны и отдельные транспортные средства вынуждены перемещаться по заранее известным маршрутам, использовать существующую дорожную инфраструктуру и в определенной степени зависеть от погодных условий, состояния путей сообщения и пропускной способности транспортных узлов. Всё это создаёт предпосылки для успешного перехвата, блокирования или уничтожения грузов, если не предпринимать целенаправленных усилий по снижению заметности и повышению защищенности транспортных операций.

Одной из первостепенных проблем транспортной безопасности является высокая вероятность визуального, радиолокационного и радиоэлектронного обнаружения перевозимых объектов. Современные средства разведки позволяют противнику в режиме реального времени отслеживать передвижение техники, идентифицировать типы перевозимых вооружений и прогнозировать маршруты дальнейшего движения. В этих условиях обеспечение скрытности превращается в непрерывный процесс, требующий учёта множества факторов и применения разнообразных методов.

Решение данной проблемы начинается с грамотного планирования, при котором выбираются маршруты, максимально защищенные от наблюдения. Использование лесных массивов, складок местности, участков с плотной растительностью позволяет существенно снизить вероятность обнаружения как визуально, так и с помощью технических средств. Кроме того, проведение транспортных операций преимущественно в ночные часы или в условиях плохой видимости (туман, осадки, дымовые завесы) значительно уменьшает эффективность оптической и тепловизионной разведки противника [1].

Не менее значимой остаётся проблема визуальной идентификации перевозимой техники. Даже если факт движения колонны зафиксирован, противнику необходимо определить, что именно перевозится. Для решения этой проблемы активно применяются маскировочные сети и чехлы, деформирующие силуэты машин, нанесение специальной окраски, использование ложных целей и отвлекающих маневров. Современные маскировочные материалы способны снижать заметность объектов не только в видимом, но и в инфракрасном спектре, что особенно актуально при противодействии тепловизионным средствам наблюдения.

Отдельная проблема – утечка информации по открытым каналам связи. Поэтому при организации воинских перевозок вводится строгий режим радиомолчания, а любое использование средств связи допускается только в исключительных случаях и с применением защищенных криптографических алгоритмов. Для координации действий используются заранее оговоренные условные сигналы, понятные только участникам операции и не несущие информативной нагрузки для постороннего наблюдателя [2].

Наиболее динамично развивающейся угрозой в сфере транспортной безопасности сегодня является применение беспилотных летательных аппаратов. Дроны способны решать широкий круг задач – от ведения разведки и целеуказания до нанесения точечных ударов по подвижным объектам. Проблема усугубляется их малой заметностью, доступностью и способностью действовать на значительном удалении от оператора. Транспортные колонны, растянутые на многие километры, представляют собой идеальную цель для массированных атак беспилотников.

Противодействие этой угрозе требует построения многоуровневой системы обороны, включающей как пассивные, так и активные компоненты. На транспортных средствах устанавливаются противодронные сетки и решетки, способные перехватывать атакующие беспилотники-камикадзе до момента подрыва боевой части. Дополнительно используются средства радиоэлектронного мониторинга, отслеживающие активность каналов управления беспилотниками, и оптико-электронные датчики.

Информационная составляющая транспортной безопасности часто недооценивается, хотя именно она обеспечивает управляемость всей системы. Проблема заключается в том, что противник, получив доступ к данным о маршрутах, сроках и характере перевозимых грузов, получает возможность планировать диверсионные и боевые действия с высокой точностью. Поэтому защита информации, циркулирующей в системах управления перевозками, является критически важной задачей.

Современные системы связи, применяемые при организации военных перевозок, используют многоуровневое шифрование, исключающее возможность несанкционированного доступа к передаваемой информации. Однако проблема не ограничивается технической защитой – не менее важна организационная составляющая. Строгое ограничение круга лиц, допущенных к сведениям о перевозках, персональная ответственность за разглашение данных, контроль за соблюдением режима секретности – все это необходимые элементы комплексной системы. Утечка информации может произойти не только по техническим каналам, но и через человеческий фактор, поэтому работа с личным составом, информированным о деталях перевозок, требует особого внимания.

Проблема предотвращения возгораний при перевозке воинских грузов стоит особенно остро в силу специфики транспортируемых материалов. Боеприпасы, горюче-смазочные материалы, взрывчатые вещества создают повышенную пожароопасность, при которой даже незначительное возгорание способно привести к катастрофическим последствиям. Детонация боеприпасов в замкнутом пространстве означает не только утрату груза, но и неизбежные потери личного состава, а также возможное повреждение всей транспортной инфраструктуры.

Решение данной проблемы требует комплексного подхода, начинающегося с обязательного инструктажа всех задействованных лиц. Каждый военнослужащий, участвующий в перевозке, должен четко знать правила обращения с огнеопасными материалами, места размещения средств пожаротушения и алгоритмы действий при обнаружении признаков возгорания. Транспортные средства и платформы в обязательном порядке оснащаются первичными средствами пожаротушения – огнетушителями, ящиками с песком, противопожарными полотнищами.

Проблема усугубляется тем, что в условиях боевой обстановки соблюдение всех противопожарных требований может вступать в противоречие с необходимостью быстрого перемещения и маскировки, поэтому от личного состава требуется высокая дисциплинированность и понимание важности соблюдения всех правил.

Таким образом, решение проблем обеспечения безопасности военных перевозок требует постоянного внимания со стороны командования, выделения необходимых ресурсов и концентрации интеллектуальных усилий на поиске новых решений. Только сочетание грамотного планирования, технической оснащенности, обученности личного состава и высокой дисциплины позволяет создать систему, способную гарантировать сохранность грузов и безопасность людей в любых условиях. Перспективным направлением дальнейшего развития является интеграция искусственного интеллекта в системы управления транспортной безопасностью, создание автоматизированных комплексов обнаружения и противодействия угрозам, а также совершенствование методов прогнозирования рисков на основе анализа больших данных.

Список литературы

1 **Кирик, С. В.** Повышение эффективности воинских перевозок / С. В. Кирик // Общественные и гуманитарные науки : материалы 86-й науч.-техн. конф. профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов, Минск, 31 янв. – 12 февр. 2022 г. – Минск : БГТУ, 2022.

2 **Козлов, Д. Н.** Осуществление транспортирования военной техники и вооружения различными видами транспорта / Д. Н. Козлов // Всестороннее обеспечение боевых действий: проблемы и пути решения : тез. докл. науч.-практ. семинара, Минск, 25 окт. 2017 г. / под общ. ред. Р. К. Ерицяна. – Минск : Изд. центр БГУ, 2017. – С. 53–55

УДК 656.08

СИСТЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТРАНСПОРТНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ УГРОЗЕ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

И. А. ПРИМАК
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Транспортная система является важнейшей частью современной инфраструктуры государства, обеспечивающей перемещение людей, грузов и функционирование различных отраслей экономики. При этом транспортные объекты относятся к категории объектов, на которых возникновение аварий, природных явлений, пожаров, террористических угроз и других чрезвычайных ситуаций может привести к значительным человеческим и материальным потерям. В связи с этим обеспечение транспортной безопасности является одной из важных задач государства, транспортных организаций и специальных служб [1].

Особое значение имеет деятельность по предупреждению чрезвычайных ситуаций. Эффективная система безопасности должна не только обеспечивать защиту транспортных объектов от существующих угроз, но и позволять своевременно выявлять опасные факторы, оценивать возможные риски и принимать необходимые меры для предотвращения либо минимизации последствий чрезвычайной ситуации.

Система обеспечения транспортной безопасности представляет собой совокупность организационных, правовых, технических и профилактических мероприятий, направленных на защиту транспортной инфраструктуры, транспортных средств, пассажиров, персонала и перевозимых грузов. Ее функционирование основывается на постоянном контроле состояния объектов транспорта, выявлении потенциальных угроз и готовности персонала к действиям в нештатных ситуациях.

Одним из основных элементов системы является предупреждение чрезвычайных ситуаций. Для этого проводится оценка возможных рисков, анализ состояния транспортной инфраструктуры, контроль соблюдения установленных требований безопасности и регулярное проведение профилактических мероприятий. Важную роль играет техническое состояние транспортных средств и оборудования. Неисправность механизмов, нарушение правил эксплуатации или несвоевременное техническое обслуживание могут стать причиной аварии, поэтому регулярный контроль технического состояния является необходимым условием безопасности. Другим важным направлением является контроль доступа на объекты транспортной инфраструктуры. Ограничение доступа посторонних лиц в зоны, имеющие повышенное значение для безопасности, позволяет снизить вероятность несанкционированного вмешательства в работу транспортной системы. Для этого могут использоваться системы контроля и управления доступом, видеонаблюдение, средства досмотра и другие технические средства [2].

Особое место занимает система обнаружения и передачи информации об угрозах. Своевременное получение информации позволяет ответственным службам быстрее оценить ситуацию и принять необходимые меры. На транспортных объектах должны функционировать системы оповещения, связи и передачи информации между сотрудниками, диспетчерскими службами и экстренными подразделениями. При возникновении угрозы важное значение имеет также информирование пассажиров о порядке действий и маршрутах эвакуации.

В случае возникновения чрезвычайной ситуации большое значение имеет готовность персонала. Работники транспортных предприятий должны знать порядок действий при пожаре, аварии, обнаружении подозрительного объекта, резком ухудшении погодных условий и других опасных ситуациях. Подготовка персонала включает проведение инструктажей, тренировок и практических занятий. Регулярные учения позволяют проверить эффективность существующих планов реагирования и выявить недостатки в организации безопасности [3].

Не менее важным элементом является взаимодействие транспортных организаций с экстренными службами. При возникновении ЧС может потребоваться участие пожарно-спасательных подразделений, медицинских служб, правоохранительных органов и других организаций. Координация их действий позволяет обеспечить своевременное реагирование, эвакуацию людей, оказание медицинской помощи пострадавшим и ликвидацию последствий происшествия [4].

Следует отметить, что современное развитие технологий способствует повышению уровня транспортной безопасности. Автоматизированные системы контроля, видеонаблюдение, датчики обнаружения опасных факторов, системы мониторинга транспортных средств и цифровые средства связи позволяют быстрее выявлять отклонения от нормального режима работы. Использование таких технологий в сочетании с подготовкой персонала повышает способность транспортной системы противостоять различным угрозам [5].

При угрозе возникновения чрезвычайной ситуации действия должны осуществляться в соответствии с заранее разработанными планами. В зависимости от характера угрозы могут проводиться ограничение доступа в опасную зону, остановка отдельных технологических процессов, информирование пассажиров и персонала, вызов экстренных служб и эвакуация людей. Основной задачей при этом является сохранение жизни и здоровья граждан и предотвращение дальнейшего развития опасной ситуации.

Таким образом, система обеспечения транспортной безопасности при угрозе возникновения чрезвычайных ситуаций представляет собой комплекс взаимосвязанных мероприятий, включающих предупреждение рисков, технический контроль, защиту объектов, подготовку персонала, информирование населения и взаимодействие с экстренными службами. Эффективность данной системы зависит от своевременного выявления угроз, исправного состояния технических средств, соблюдения требований безопасности и уровня подготовки работников транспорта. Особую роль играет профилактика, поскольку предотвращение чрезвычайной ситуации или минимизация ее последствий значительно снижает возможный ущерб. В современных условиях повышение транспортной безопасности требует постоянного совершенствования организационных и технических мероприятий, внедрения современных систем мониторинга и контроля, а также регулярной подготовки персонала к действиям в чрезвычайных ситуациях. Комплексный подход позволяет обеспечить более высокий уровень защищённости транспортной инфраструктуры и повысить безопасность пассажиров и работников транспорта.

Список литературы

1 **Александров, А. Н.** Транспортная безопасность : учеб. / А. Н. Александров, А. В. Гундаров, П. Н. Жукова [и др.] ; под ред. И. Ф. Амельчакова. – Белгород : Белгородский юридический институт МВД России имени И. Д. Путилина, 2017. – 325 с.

2 **Каракеян, В. И.** Организация безопасности в чрезвычайных ситуациях : учеб. для среднего профессионального образования / В. И. Каракеян, И. М. Никулина. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Юрайт, 2026. – 138 с.

3 **Мартынова, Ю. А.** Транспортная безопасность : учеб. пособие / Ю. А. Мартынова. – М. : УМЦ ЖДТ, 2022. – 104 с.

4 **Моторный, И. Д.** Особенности защиты объектов инфраструктуры метрополитена от актов незаконного вмешательства : учеб. пособие / И. Д. Моторный. – М. : УМЦ ЖДТ, 2022. – 183 с.

5 **Сафонов, А. Ю.** Чрезвычайные ситуации на транспорте: понятие, виды, статистическая характеристика / А. Ю. Сафонов // Технические науки. – 2022. – № 8-2 (71). – С. 57–59.

УДК 656.08:614.8

ПРИМЕНЕНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ТРАНСПОРТА ПРИ УГРОЗЕ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

В. А. САВИН, Д. В. КУРАНДА
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

В современных условиях функционирование транспортного комплекса Республики Беларусь неразрывно связано с рисками возникновения чрезвычайных ситуаций (ЧС) природного и техногенного характера. Паводки, снежные заносы, лесные пожары, а также техногенные аварии на промышленных объектах способны в короткие сроки парализовать работу автомобильных и железных дорог, нарушив логистические связи и создав угрозу жизни и здоровью людей. В подобных условиях ключевое значение приобретает фактор времени: чем быстрее будет получена объективная информация о состоянии транспортной инфраструктуры, тем эффективнее будут организованы спасательные работы и маршруты объезда.

Традиционные методы мониторинга, такие как наземное патрулирование или использование пилотируемой авиации, обладают рядом существенных недостатков. Наземные группы не всегда могут оперативно прибыть в зону ЧС из-за разрушения дорожного полотна или блокирования путей. Пилотируемая авиация требует значительных финансовых затрат, наличия подготовленных взлетно-посадочных площадок и, что немаловажно, подвергает риску экипаж при полетах в сложных метеоусловиях или в зонах с повышенным уровнем загазованности. В этом случае беспилотные летательные аппараты (БПЛА) становятся безальтернативным инструментом оперативного мониторинга и ситуационной осведомленности [1].

Основными преимуществами применения БПЛА в интересах транспортной безопасности при угрозе ЧС являются:

– высокая мобильность и скорость развертывания, т. к. подготовка к вылету занимает от 5 до 15 минут;

– возможность работы в автономном режиме и в условиях отсутствия связи с оператором, например, по заранее заданному маршруту;

– получение данных высокого разрешения в видимом, инфракрасном и мультиспектральном диапазонах;

– безопасность оператора, который управляет аппаратом с безопасного расстояния.

Сценарии применения БПЛА на транспорте при возникновении ЧС весьма разнообразны. Рассмотрим наиболее актуальные из них.

В период весеннего половодья, характерного для Гомельской и Брестской областей, значительные участки автомобильных дорог могут быть подтоплены. БПЛА, оснащенные тепловизионными камерами, способны не только фиксировать границы разлива, но и выявлять скрытые под водой участки размытия земляного полотна, которые не видны невооруженным глазом. Полученные ортофотопланы и 3D-модели местности позволяют дорожным службам точно оценить объем повреждений и спланировать первоочередные восстановительные работы.

При авариях с участием автоцистерн, перевозящих химически опасные или легковоспламеняющиеся вещества, возникает угроза токсичного заражения местности. Использование БПЛА с газоанализаторами позволяет дистанционно определить концентрацию вредных веществ в воздухе, построить карту распространения облака и определить безопасные зоны для эвакуации людей и техники. Это значительно снижает риски для сотрудников МЧС и дорожных служб.

Мосты, путепроводы и тоннели являются критическими элементами транспортной инфраструктуры. После землетрясений, оползней или техногенных аварий возникает необходимость быстрой оценки их несущей способности. БПЛА с лидарами позволяют создать детальную трехмерную модель сооружения и выявить деформации, трещины или смещения опор, которые невозможно заметить при визуальном осмотре с земли. Это позволяет предотвратить обрушение конструкций и своевременно ограничить движение по опасному участку.

Данные, получаемые с БПЛА, интегрируются в геоинформационные системы и передаются в центры управления дорожным движением. На основе этой информации операторы могут в режиме

реального времени корректировать маршруты движения, направляя транспортные потоки в обход зоны ЧС. Например, при лесном пожаре вблизи трассы М10 БПЛА помогает определить направление ветра и распространения дыма, что позволяет своевременно перекрыть движение и избежать массовых ДТП из-за плохой видимости.

Однако, несмотря на очевидные преимущества, широкое внедрение БПЛА в систему обеспечения транспортной безопасности сопряжено с рядом вызовов и ограничений.

Во-первых, это нормативно-правовые ограничения. Использование воздушного пространства вблизи транспортных узлов, аэропортов и в городской черте строго регламентировано. Для легального применения БПЛА в зонах ЧС требуется упрощение процедур получения разрешений на полеты, особенно для экстренных служб.

Во-вторых, технические ограничения. Время полета большинства мультироторных БПЛА составляет 30–40 минут, что требует организации пунктов подзарядки или использования гибридных (бензиново-электрических) моделей для длительного мониторинга. Также существует зависимость от погодных условий: сильный ветер, дождь или снег могут ограничить применение аппаратов.

В-третьих, кибербезопасность. Каналы передачи данных от БПЛА к оператору могут быть подвержены помехам или перехвату. В условиях ЧС это может привести к потере управления аппаратом или утечке чувствительной информации. Поэтому необходима разработка защищенных протоколов связи и шифрование передаваемых данных.

В-четвертых, обработка больших данных. БПЛА генерируют огромные объемы информации (до нескольких гигабайт за один вылет). Для оперативного анализа требуются мощные вычислительные ресурсы и специальное программное обеспечение, а также подготовленные специалисты-операторы, способные интерпретировать полученные данные.

Для дальнейшего развития данного направления в Республике Беларусь необходимо:

– разработать единую концепцию применения БПЛА в транспортной отрасли с учетом специфики местных условий;

– создать специализированные подразделения или обучить существующий персонал дорожных и спасательных служб навыкам пилотирования и обработки аэрофотосъемки;

– интегрировать БПЛА в существующие автоматизированные системы управления транспортом для автоматического получения и анализа данных в режиме реального времени.

Таким образом, применение беспилотных летательных аппаратов является мощным резервом повышения безопасности и устойчивости транспортной инфраструктуры при угрозе возникновения чрезвычайных ситуаций. Комплексный подход, включающий техническое оснащение, подготовку кадров и совершенствование нормативной базы, позволит минимизировать последствия ЧС и обеспечить бесперебойную работу транспортного комплекса страны в самых сложных условиях.

Список литературы

1 О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера : Закон Респ. Беларусь от 5 мая 1998 г. № 141-З : в ред. Закона Респ. Беларусь от 30.06.2022 г. // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: https://pravo.by/document/?guid=3961&p0=H19800141 (дата обращения: 10.09.2026).

УДК 358.4:656.21:614.8

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ПРИ УГРОЗЕ ДИВЕРСИИ И ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

В. А. САВИН, З. В. СУХАНОВ, М. В. ЦЕЙКО
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Транспортная безопасность Республики Беларусь в условиях угрозы и возникновения чрезвычайных ситуаций является одним из приоритетных направлений обеспечения национальной безопасности государства. Железнодорожная инфраструктура занимает здесь особое положение: разветвлённая сеть стальных магистралей протяжённостью свыше 11,5 тысячи километров обеспечивает не только гражданские перевозки, но и решение стратегических задач оборонного характера. В условиях нарастания гибридных угроз, включающих диверсионно-террористическую

деятельность и техногенные аварии, особую актуальность приобретает внедрение инновационных технологий мониторинга, способных обеспечить непрерывный контроль состояния путей, мостов, станций и перегонов [1].

Одним из наиболее перспективных направлений в этой сфере становится использование беспилотных авиационных комплексов (БАК), которые позволяют вести воздушную разведку и оценку обстановки без риска для личного состава и с высокой оперативностью.

Транспортные войска Республики Беларусь, ведущие свою историю от железнодорожных подразделений ещё с 1876 года, предназначены для транспортного обеспечения воинских формирований. В их состав входят железнодорожные воинские части, автомобильные и дорожно-мостовые соединения, а также органы управления военных сообщений. Основными задачами этих формирований являются строительство и восстановление железнодорожных путей, мостов и других объектов транспортной инфраструктуры, их техническое прикрытие, а также участие в ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций [2].

В мирное время военнослужащие Транспортных войск выполняют широкий спектр задач в интересах гражданского сектора: от восстановления повреждённых участков полотна до участия в крупных инфраструктурных проектах. Однако в современных условиях традиционных методов мониторинга и технического прикрытия становится недостаточно. Возрастающие угрозы диверсий на объектах железнодорожной инфраструктуры, а также риск возникновения чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера требуют применения качественно новых средств разведки и контроля.

БАК, разработанные предприятиями белорусского оборонно-промышленного комплекса, обладают необходимым потенциалом для решения задач мониторинга железнодорожной инфраструктуры. Так, разведывательный БАК малой дальности «Беркут-3», принятый на вооружение Вооружённых Сил Республики Беларусь в 2024 году, предназначен для ведения воздушной оптико-электронной разведки в видимом и инфракрасном диапазонах днём и ночью. Эффективная дальность действия комплекса достигает 50 километров, продолжительность полёта беспилотного летательного аппарата составляет до трёх часов, а время развёртывания – не более 15 минут. Совокупность принятых конструкторских решений обеспечивает возможность применения комплекса в условиях отсутствия информации от GPS, что особенно важно в зонах радиоэлектронного подавления. Эти характеристики позволяют использовать «Беркут-3»для оперативной оценки состояния железнодорожного полотна, выявления повреждений мостов и путепроводов, а также для обнаружения признаков подготовки диверсионных актов, таких как оставленные взрывные устройства или подозрительная активность вблизи путей [3].

Возможности комплекса включают выявление чрезвычайных ситуаций, контроль состояния территорий вдоль транспортных магистралей, а также обнаружение посторонних объектов и лиц. Использование дирижабля, обладающего нулевой плавучестью при взлёте с гелием, позволяет вести длительное наблюдение за объектами в густой лесной растительности и сложном рельефе, что особенно актуально для железнодорожных перегонов, проходящих через лесные массивы и заболоченные участки.

С учётом нарастающих угроз диверсионного характера и необходимости повышения оперативности мониторинга железнодорожной инфраструктуры представляется целесообразным создание в составе Транспортных войск Республики Беларусь специального подразделения, оснащённого беспилотными авиационными комплексами. Такое подразделение могло бы выполнять задачи по воздушной разведке железнодорожных путей и искусственных сооружений, выявлению признаков подготовки диверсионных актов, оценке состояния инфраструктуры после чрезвычайных ситуаций и координации действий ремонтно-восстановительных органов.

Применяются и беспилотные универсальные модули на базе транспортной дрезины ТД-5, предназначенные для технической разведки и обследования повреждённых участков. В Республике Беларусь уже функционирует 927-й Центр подготовки и применения беспилотных авиационных комплексов – ключевая воинская часть, где готовят специалистов для работы с БПЛА, а расчёты БАК принимают участие практически во всех мероприятиях Вооружённых Сил. Это создаёт необходимую учебно-материальную базу для подготовки операторов дронов и в интересах Транспортных войск [4].

В условиях чрезвычайных ситуаций природного характера, таких как ураганы, паводки и снегопады, БАК позволяют оперативно оценивать масштабы разрушений и планировать восстановитель-

ные работы. Белорусская железная дорога располагает 13 восстановительными поездами, оснащёнными кранами грузоподъёмностью до 250 тонн, способными выполнять замену пролётных строений мостов, стрелочных переводов и ликвидацию аварий подвижного состава. Однако для эффективного использования этих сил необходима своевременная и точная информация о состоянии объектов, которую и способны предоставить беспилотные комплексы. В ходе специального учения «Эшелон-2025», проводившегося на территории Беларуси в формате Организации Договора о коллективной безопасности, был создан защищённый от дронов маршрут, оборудованный специальной сеткой и пунктами наблюдения с воздуха, что подтверждает практическую значимость воздушного мониторинга для обеспечения безопасности транспортных перевозок. Совместное применение БАК специальным подразделением Транспортных войск и Белорусской железной дорогой позволяет не только сократить время реакции на чрезвычайные ситуации, но и повысить эффективность технического прикрытия стратегических направлений [5].

Таким образом, использование беспилотных авиационных комплексов для мониторинга состояния железнодорожной инфраструктуры при угрозе диверсий и чрезвычайных ситуаций представляет собой инновационное направление, интегрирующее достижения белорусского оборонно-промышленного комплекса в систему транспортной безопасности Республики Беларусь.

Разведывательные БАК «Беркут-3», а также комплексы пассивного мониторинга воздушного пространства «Сканер» создают техническую основу для непрерывного контроля состояния путей, мостов и станций. Создание специального подразделения Транспортных войск, оснащённого БАК, позволило бы обеспечить живучесть транспортной сети, своевременно выявлять угрозы диверсионного характера и оперативно реагировать на чрезвычайные ситуации, что в конечном счёте укрепляет как обороноспособность государства, так и безопасность его граждан

Список литературы

1 О железнодорожном транспорте : Закон Респ. Беларусь от 6 янв. 1999 г. № 237-З // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=h19900237 (дата обращения: 09.09.2026).

2 О внесении изменения в Указ Президента Республики Беларусь : Указ Президента Респ. Беларусь от 18 июля 2025 г. № 282 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: https://pravo.by/document/?guid=3961&p0=P32500282 (дата обращения: 09.09.2026).

3 Госкомвоенпром рассказал о беспилотном авиакомплексе «Беркут-3», принятом на снабжение белорусской армии // СБ. Беларусь сегодня. – URL: https://www.sb.by/articles/goskomvoenprom-rasskazal-o-bespilotnom-aviakomplekse-berkut-3-prinyatom-na-snabzhenie-belorusskoy-ar.html (дата обращения: 09.09.2026).

4 На учениях ОДКБ «Эшелон-2025» в Белоруссии акцент сделан на защите от дронов // Информационно-аналитический портал «INOSMI.INFO». – URL: https://inosmi.info/exclusive/135179-na-uchenijah-odkb-jeshelon-2025-v-belorussii-akcent-sdelan-na-zaschite-ot-dronov.html (дата обращения: 09.09.2026).

5 Комплекс для прогнозирования атак дронов разработан в Беларуси // Sputnik Беларусь. – URL: https://sputnik.by/20250812/kompleks-dlya-prognozirovaniya-atak-dronov-sozdali-v-belarusi-1098835642.html (дата обращения: 09.09.2026).

УДК 614.86

АВТОМОБИЛЬНАЯ ТЕХНИКА ПРИ УГРОЗЕ И ВОЗНИКНОВЕНИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ ПРИ ГОЛОЛЕДЕ

Е. В. СЛАВНИКОВ, М. П. ГУЗАНОВ, А. А. ЭВЕРС
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Гололед и гололедица являются опасными метеорологическими явлениями, которые значительно увеличивают риски возникновения чрезвычайных ситуаций на транспорте. В условиях Вооруженных Сил Республики Беларусь обеспечение готовности автомобильной техники к таким угрозам является критически важным для выполнения задач в области обороны, гражданской защиты и ликвидации последствий ЧС. В данном докладе рассматриваются ключевые аспекты подготовки автомобильной техники, действия при угрозе и возникновении ЧС, а также организационные меры, направленные на минимизацию рисков в условиях гололеда.

Подготовка автомобильной техники к эксплуатации в условиях гололеда включает в себя:

– замену летней резины на зимнюю;

– использование шипованной резины с качественным протектором, обеспечивающим улучшенное сцепление с обледенелой дорогой [1].

Это снижает риск заносов и аварий. Также осуществляется проверка тормозной системы на автомобиле. Перед наступлением зимнего сезона необходимо проверить тормозную систему, работу дворников, фар, аккумулятора и наличие незамерзающей жидкости. Также обязательно наличие исправного огнетушителя и аптечки первой помощи.

Один из основных показателей – это проверка дополнительного освещения. В автомобиле должны находиться средства для повышения безопасности в условиях гололеда, такие как цепи противоскольжения, лопата, песок или соль для посыпки льда, а также одеяло и фонарик на случай длительного ожидания помощи [2].

Водители ВС РБ проходят обучение на тренажерах, имитирующих движение в условиях гололеда, включая вождение с пробитыми колесами и другие экстремальные ситуации. Это позволяет отработать навыки управления автомобилем в сложных условиях. Водители должны соблюдать дистанцию, снижать скорость, избегать резких маневров и торможений. Тормозной путь на льду увеличивается в 3–4 раза, поэтому необходимо двигаться со скоростью не более 30–40 км/ч при гололеде, а также при необходимости выбирать скорость движения, которая обеспечит безопасность дорожного движения транспортного средства на дороге.

Обеспечение готовности автомобильной техники ВС РБ к условиям гололеда требует комплексного подхода, включающего техническую подготовку транспорта, обучение водителей, планирование организационных мероприятий и международное сотрудничество. Следование рекомендациям МЧС и другим нормативным документам позволяет снизить риски возникновения ЧС и минимизировать их последствия. Важную роль играет также профилактика травматизма и постоянный мониторинг погодных условий [3].

Таким образом, при движении по гололеду транспорт ведет себя так же, как на сухом асфальте, но с значительно меньшим сцеплением, что приводит к скольжению и заносам. Главное – это плавно и без резких движений управлять автомобилем. Поворот руля осуществлять в сторону заноса, не нажимать резко на газ и тормоз и, если машина застряла, использовать метод «раскачки» с помощью сцепления, переключения передачи или подкладывать под колеса подручные материалы.

Список литературы

1 **Курбатов, А. В.** Безопасность транспортных систем в условиях чрезвычайных ситуаций / А. В. Курбатов // Вестник транспорта. – 2019. – № 4 (12).

2 Методические рекомендации по подготовке ежегодных докладов о состоянии гражданской обороны в федеральных органах исполнительной власти (организациях) (Форма № 3/ДУ) : утв. МЧС России 25 окт. 2023 г. N 43-6385-11 // Гарант : информационно-правовой портал. – URL: https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/407838139/ (дата обращения: 09.09.2026).

3 Гололед: советы автомобилистам и пешеходам от специалистов МЧС России // Клопицкое сельское поселение. Волосовский МР Ленинградской области. – URL: https://klopickoe-r41.gosweb.gosuslugi.ru/dlya-zhiteley/novosti-i-reportazhi/-novosti_386.html (дата обращения: 09.09.2026).

УДК 623.63:656.2

ТАКТИКА КОМБИНИРОВАННОГО ПЕРЕДВИЖЕНИЯ ВОЙСК: ОПТИМИЗАЦИЯ ПЕРЕХОДА ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ ОТ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ПЕРЕВОЗКИ К МАРШУ

С. Н. ТИМАШКОВ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

В условиях современных вооруженных конфликтов железнодорожный транспорт остается ключевым способом перевозки войск, обеспечивающим стратегическую мобильность. Однако критической уязвимостью остается переходный период – момент, когда подразделения прекращают движение по рельсам и переходят к самостоятельному маршу. Станция выгрузки становится статичной

мишенью. Время, затрачиваемое на раскрепление вооружения, военной и специальной техники (далее – ВВСТ), съезд с платформ и формирование колонны – это период максимальной уязвимости войск перед высокоточным оружием и средствами разведки противника.

Существующие способы крепления ВВСТ, регламентированные [1], при использовании одноразовых деревянных упорных брусков и проволочных растяжек требуют до 30–40 минут на раскрепление одной единицы ВВСТ силами экипажа. В условиях дефицита времени это недопустимо долгий период времени.

Целью данного доклада является обоснование тактических и технологических решений, способных минимизировать время нахождения войск в пунктах выгрузки за счет оптимизации погрузочно-выгрузочных процессов и изменения принципов логистического планирования воинских перевозок.

Организация выгрузки немыслима без создания эшелонированной противодроновой обороны. Поезда должны комплектоваться мобильными станциями радиоэлектронной борьбы (далее – РЭБ) и огневыми группами противовоздушной обороны (далее – ПВО), способными прикрыть подразделение как в пути, так и в момент развертывания маршевых колонн после выгрузки.

Необходимо полностью отказаться от привязки исключительно к крупным станциям выгрузки. Опыт современных локальных конфликтов показывает, что современные беспилотные летательные аппараты (далее – БПЛА) способны обнаружить остановившийся эшелон в течение 10–15 минут. Статичное скопление техники на станциях превращает подразделение в легкую групповую цель. В условиях современного боя стороны конфликта начали практиковать скрытную выгрузку вне железнодорожных станций. Поезд останавливается в густой лесополосе или выемке рельефа, где стационарные погрузочно-выгрузочные устройства отсутствуют. В составе воинского эшелона имеются сборно-разборные металлические аппарели (колейные мосты). Техника съезжает прямо на грунт. Вся разгрузка занимает 15–20 минут, после чего поезд с порожними вагонами уходит. Использование мобильных аппарелей на перегонах позволило рассредоточить цели и лишить противника возможности заранее пристреливать стационарные железнодорожные узлы.

Предлагается тактический прием, при котором подготовка к съезду начинается до полной остановки состава – на этапе замедления движения на перегоне. Экипажи производят запуск двигателей и частичное снятие боковых креплений по команде, чтобы в момент остановки поезда немедленно начать съезд с торца.

Вместо гвоздевых соединений и проволоки необходимо масштабно внедрять регулируемые цепные стяжки и многоразовые металлические упоры (упорные башмаки). Это в значительной степени сократит время освобождения техники от креплений до 3–5 минут на одну машину.

Выгруженная техника не должна ожидать остальной состав вблизи путей. Каждая боевая машина, съехав с платформы, немедленно следует в назначенный индивидуальный сектор рассредоточения (точку сбора), где на ходу формируется походная колонна. Скучивание техники на пристанционной площади должно быть запрещено руководящими документами.

Принципы формирования воинских эшелонов должны быть пересмотрены: один поезд – это одна автономная тактическая группа (например, усиленная рота). Состав должен содержать и бронетехнику, и ПВО, и машины материально-технического обеспечения. Прибыв на место, такая группа сразу готова к маршу и бою, независимо от положения остальных эшелонов. Логистика специальной военной операции заставила отказаться от линейного формирования составов (по родам войск). Современный воинский поезд должен формироваться как автономный боевой организм, где есть всё необходимое для немедленного вступления в бой сразу после съезда с платформы.

Первыми с воинского эшелона должны выгружаться мобильные средства ПВО (например, ЗРК ближнего действия) и комплексы РЭБ. Их тактическая задача – развернуть «купол прикрытия» над станцией выгрузки в радиусе 3–5 км для подавления частот управления БПЛА противника на весь период разгрузки воинского эшелона.

Исследование вариантов погрузки (выгрузки) воинских грузов на необорудованных местах при перевозке железнодорожным транспортом в составе воинского эшелона (воинского транспорта) отражено в статье «Оценка эффективности применения технических средств при погрузке (выгрузке) воинских грузов на необорудованных местах при перевозке железнодорожным транспортом в составе воинского эшелона (воинского транспорта)» [2, с. 67–70].

Переход от железнодорожной логистики к сухопутному маршу – это полноценный боевой элемент операции, а не просто техническая процедура. Успех зависит от скорости, скрытности и авто-

номности прибывающих подразделений. Нормативы, заложенные в руководящих документах, требуют постоянной адаптации под технические возможности средств автоматизации погрузки.

Внедрение мобильных аппарелей, многоразовых креплений и принципа веерного рассредоточения позволяет сократить общее время нахождения подразделения в уязвимой зоне выгрузки до 50 %, минимизируя риски поражения высокоточным оружием.

Список литературы

1Об утверждении Инструкции о порядке размещения и крепления на открытом железнодорожном подвижном составе вооружения, военной и специальной техники, перевозимых в воинских эшелонах и воинских транспортах : постановление Министерства обороны Респ. Беларусь, 29 окт. 2025 г., № 27. – 67 с. // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: https://pravo.by/document/?guid=-12551&p0=W22644448 (дата обращения: 09.09.2026).

2 **Тимашков, С. Н.** Оценка эффективности применения технических средств при погрузке (выгрузке) в) воинских грузов на необорудованных местах при перевозке железнодорожным транспортом в составе воинского эшелона (воинского транспорта) / С. Н. Тимашков // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2026. – № 1 (52). – С. 67–70.

УДК 625.85

ФАКТОРЫ РАЗРУШЕНИЯ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ НЕЖЕСТКОГО ТИПА

В. В. ТОМАШОВ, С. М. ДЕРЕВЯШКИН
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Образование дефектов на асфальтобетонных покрытиях автомобильных дорог в процессе эксплуатации связано с комплексным воздействием различных факторов на дорожные конструкции. В процессе строительства дороги из-за нарушений технологии укладки и уплотнения слоев материала имеет место недостаточное уплотнение уложенного материала, что в дальнейшем способствует образованию дефектов в виде выбоин [1].

При устройстве асфальтобетонных покрытий за счет температурной сегрегации и гранулометрической неоднородности укладываемого материала наблюдаются участки покрытия с разными физико-механическими характеристиками и водонепроницаемостью, что в процессе эксплуатации способствует возникновению дефектов на покрытиях дороги в виде отслоения частиц материала покрытия и образованию в дальнейшем выбоин.

Эксплуатация автомобильных дорог в осенне-весенний период года и сопутствующие им изменения температур окружающего воздуха приводят к разрушительным процессам в конструкциях автомобильных дорог, связанных с промерзанием и оттаиванием конструктивных элементов автомобильных дорог. Наличие повышенной влажности в конструктивных слоях автомобильной дороги при низких температурах окружающего воздуха приводит к переходу влаги из жидкого состояния в кристаллообразное, что связано с увеличением ее объема, а следовательно, к возникновению сил, под действием которых происходит разрушение структуры материала и понижение коэффициента уплотнения материала земляного полотна и дорожных одежд.

Следовательно, комплексное воздействие на автомобильную дорогу приводит к появлению дефектов на покрытии дороги, которые проявляются в виде трещин, просадок, проломов и выбоин (рисунок 1).



Рисунок 1 – Разрушение дорожного покрытия за счет недостаточного уплотнения основания и нарушения температурных режимов горячей смеси в зоне стыка сопряженных полос покрытия

С повышением интенсивности движения и грузоподъемности транспортных средств происходит интенсивное накопление остаточных деформаций в покрытиях дорожных одежд нежесткого типа. Изменение свойств вяжущего в процессе эксплуатации дороги приводит к снижению трещиностойкости асфальтобетона и усталостному разрушению материала, на поверхности покрытия появляются трещины, что приводит к водонасыщению асфальтобетона и в дальнейшем является причиной образования сквозных трещин. Образование сквозных трещин приводит к снижению прочностных характеристик дорожных одежд, и, как следствие, образуются просадки на дорожном покрытии. Появление просадок, а также образование продольных трещин на покрытиях нежесткого типа возможно при недостаточной плотности нижележащих слоев материала дорожной одежды [2].

За счет действия осевой нагрузки от транспортных средств на дорожные покрытия, а также влияния погодных условий при эксплуатации дорог на прочностные характеристики материала покрытия на поверхности покрытия образуются неровности, влияющие на безопасность дорожного движения (рисунок 2).



Рисунок 2 – Разрушение дорожного покрытия за счет постоянной нагрузки и нагрева от движения транспортных средств

Для безопасности движения транспортных средств наибольшую опасность представляют проломы и выбоины на поверхности покрытия. Они приводят к снижению скоростных режимов движения транспортных средств, поломкам трансмиссий, и, в некоторых случаях, являются причиной дорожно-транспортных происшествий. Образование выбоин происходит за счет локальных разрушений дорожных покрытий в виде углублений разной формы с резко выраженными краями. Причиной образования выбоин могут служить разные факторы, в том числе трещины, нарушения технологии при строительстве дорожных одежд и покрытия, недостаточная прочность применяемого материала [3].

Следует заметить, что причины образования дефектов на поверхности покрытия нежесткого типа известны, разработаны методы и рекомендации по их снижению или предотвращению, которые постоянно совершенствуются. Однако, как показывает практика эксплуатации автомобильных дорог, по настоящее время происходят разрушения дорожных покрытий.

В значительной степени на качество строительства асфальтобетонных покрытий, в том числе и на образование выбоин в процессе эксплуатации, влияет применение некачественных материалов и нарушение технологии в процессе строительства. Нарушение температурных режимов при устройстве покрытия, неоднородность смеси по структуре при укладке, отсутствие контроля за расходом охлаждающей жидкости для смачивания вальца катка при укатке горячей смеси способствуют снижению характеристик асфальтобетона, а также образованию на поверхности микротрещин, что в дальнейшем способствует образованию выбоин на дорожном покрытии.

Список литературы

1 **Зубков, А. Ф.** Расчет контактных напряжений при укладке и уплотнении битумоминеральных смесей при ремонте дорожных покрытий / А. Ф. Зубков, К. А. Андрианов, М. Э. Пилецкий // Приволжский научный журнал. – 2018. – № 1. – С. 64–71.

2 Свид. о гос. рег. программы для ЭВМ. Расчет деформаций материала при действии динамической нагрузки : № 2017663676 : опубл. 08.12.2017 / Зубков А. Ф., Андрианов К. А., Макаров А. М., Пилецкий М. Э.

3 Технология строительства и ремонта дорожных покрытий нежесткого типа с учетом температурных режимов асфальтобетонных смесей / А. Ф. Зубков, К. А. Андрианов, А. И. Антонов, В. Г. Однолько. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2017.

УДК 656.08:627.51

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ПРИ ВЕСЕННИХ ПАВОДКАХ И ПОДТОПЛЕНИЯХ

Н. С. ХОРШУНОВ, А. Ю. ЧИРВА
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Республика Беларусь обладает развитой сетью автомобильных и железных дорог, значительная часть которых пролегает в поймах крупных рек – Днепра, Припяти, Сожа, Березины и Немана. Ежегодно в период весеннего половодья и летних ливневых дождей возникает угроза подтопления участков транспортной инфраструктуры. По данным Республиканского центра по гидрометеорологии, за последнее десятилетие частота и интенсивность паводков в бассейнах рек Припятского Полесья возросли на 15–20 %, что связано с изменением климата и увеличением количества осадков в зимне-весенний период. В этих условиях обеспечение безопасности транспортных коммуникаций приобретает особую актуальность.

Подтопление транспортной инфраструктуры представляет собой комплексную чрезвычайную ситуацию, которая характеризуется несколькими опасными факторами. Первый фактор – разрушение земляного полотна. При длительном воздействии воды происходит насыщение грунтов, снижение их несущей способности и, как следствие, просадки, оползни и размывы откосов. Особенно опасны эти процессы на участках, где отсутствует надежное дренирование или где ранее проводились работы по отсыпке насыпей без учета гидрогеологических условий.

Второй фактор – повреждение искусственных сооружений. Мосты, водопропускные трубы и путепроводы испытывают повышенные нагрузки при прохождении паводковых волн. Размыв опор, подмыв устоев и засорение русел могут привести к частичному или полному разрушению сооружения. Показательным примером является ситуация на участке железной дороги Лунинец – Калинковичи, где в период паводка 2023 года потребовалось проведение внеплановых работ по укреплению опор моста через реку Припять.

Третий фактор – нарушение системы водоотвода. Закрытые системы ливневой канализации и открытые кюветы часто не справляются с возросшим объемом воды, что приводит к скоплению воды на проезжей части, аквапланированию и потере управляемости транспортных средств. На автомобильных дорогах это создает прямую угрозу безопасности движения, особенно на участках с интенсивным скоростным режимом.

Четвертый фактор – образование заторов и блокирование маршрутов. Подтопление даже одного участка магистрали приводит к перераспределению транспортных потоков на дублирующие дороги, которые зачастую не рассчитаны на возросшую нагрузку. Это вызывает вторичные заторы, задержки в доставке грузов и пассажиров, а в отдельных случаях – полную изоляцию населенных пунктов.

Для минимизации рисков и обеспечения устойчивости транспортной системы в период паводков необходим комплекс организационных и технических мероприятий.

В первую очередь затронем тему мониторинга и прогнозирования паводковой обстановки. Современные системы мониторинга включают гидрологические посты, автоматизированные датчики уровня воды, а также данные дистанционного зондирования Земли. Интеграция этих данных в геоинформационные системы позволяет создавать прогнозные карты подтопления с заблаговременностью 3–7 суток. На Белорусской железной дороге функционирует система мониторинга инженерных сооружений, однако она требует расширения за счет установки дополнительных датчиков на потенциально опасных участках [1].

Следующим пунктом стоит рассмотреть укрепление и защиту земляного полотна. Для повышения устойчивости насыпей к водной эрозии применяются современные геосинтетические материалы – геотекстиль, георешетки и геомембраны. Устройство дренажных прослоек и укрепление откосов бетонными плитами или биоматами позволяет значительно снизить риск размыва. На участках с высоким уровнем грунтовых вод целесообразно применение дренажных систем закрытого типа.

Стоит отметить также организацию движения в условиях подтопления. При возникновении угрозы подтопления необходимо оперативное перекрытие опасных участков и организация объез-

дов. Для этого разрабатываются специальные схемы маршрутизации, которые должны быть заранее согласованы с органами ГАИ и дорожными службами. Информация о перекрытиях должна доводиться до водителей через табло переменной информации, мобильные приложения и средства массовой информации. На железнодорожном транспорте при угрозе подтопления пути применяется снижение скорости движения или временное прекращение движения поездов на опасном участке [2].

Для предотвращения размыва опор мостов и водопропускных труб проводятся работы по укреплению русел, устройству габионных конструкций и берегоукрепительных стенок. Важное значение имеет своевременная очистка русел от наносов, льда и растительности, особенно в предпаводковый период. Наиболее уязвимые сооружения должны быть оборудованы системами автоматического контроля уровня воды и деформаций.

Эффективность любых технических мер зависит от готовности персонала к действиям в условиях ЧС. Регулярные учения с отработкой сценариев подтопления позволяют выявить слабые места в системе реагирования и своевременно их устранить. В рамках учений отрабатываются вопросы взаимодействия дорожных служб, МЧС, ГАИ и органов местной власти.

Анализ отечественного и зарубежного опыта показывает, что комплексное применение вышеупомянутых мер позволяет снизить ущерб от паводков на 30–40 %. Однако остаются нерешенные проблемы, среди которых можно выделить недостаточное финансирование превентивных мероприятий, устаревшую нормативную базу и низкую степень автоматизации систем мониторинга. Для кардинального повышения уровня безопасности необходимо перейти от реагирования на уже произошедшие подтопления к системе упреждающего управления рисками [3].

Таким образом, обеспечение безопасности транспортной инфраструктуры при весенних паводках требует системного подхода, включающего развитие систем мониторинга, применение современных материалов и технологий, а также совершенствование организационных механизмов реагирования. Только комплексное решение этих задач позволит минимизировать последствия паводков и обеспечить бесперебойную работу транспортного комплекса Республики Беларусь.

Список литературы

1 **Дралова, И. П.** Мониторинг транспортной инфраструктуры с использованием ГИС-технологий / И. П. Дралова, А. А. Царенков // Проблемы безопасности на транспорте : материалы XIII Междунар. науч.-практ. конф. (Гомель, 28–29 нояб. 2024 г.) : в 2 ч. Ч. 1. / М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Бел. ж. д., Белорус. гос. ун-т трансп. ; под общ. ред. Н. Н. Казакова. – Гомель : БелГУТ, 2024. – С. 122–125.

2 **Ахраменко, Г. В.** Проектирование земляного полотна автомобильных дорог в сложных природных условиях : учеб.-метод. пособие / Г. В. Ахраменко, Е. А. Темников. – Гомель : БелГУТ, 2015. – 51 с.

3 О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера : Закон Респ. Беларусь от 5 мая 1998 г. № 141-З : в ред. Закона Респ. Беларусь от 30.06.2022 г. // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: https://pravo.by/document/?guid=3961&p0=H19800141 (дата обращения: 10.09.2026).

УДК 656.08

АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ ПРИЧИН ВОЗНИКНОВЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ АВАРИЙ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

А. С. ШИПИЛЁВ
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Согласно постановлению Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь от 3 августа 2023 года № 46 «О классификации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера», классификация чрезвычайных ситуаций (далее – ЧС) осуществляется по следующим признакам: территориальное распространение; наличие или угроза гибели людей; наличие пострадавших людей; причинение вреда окружающей среде; причинение значительного материального ущерба; нарушение условий жизнедеятельности людей [1]. При классификации ЧС применяются дополнительные критерии классификации ЧС в зависимости от сферы их возникновения, характера явлений и процессов и других факторов.

В зависимости от вида источника происхождения ЧС техногенного характера подразделяются:

1) на транспортные аварии (катастрофы);

2) пожары, взрывы;

3) аварии с ОХВ (кроме транспортных);

4) наличие в окружающей среде загрязняющих веществ выше предельно допустимых концентраций;

5) радиационные и ядерные аварии;

6) внезапное разрушение сооружений;

7) аварии и инциденты на электроэнергетических системах;

8) аварии систем и сетей электросвязи;

9) гидродинамические аварии.

В свою очередь транспортные аварии (катастрофы) подразделяются на следующие виды: аварии пассажирских и грузовых поездов, поездов метрополитена; аварии пассажирских и грузовых судов, в том числе нефтеналивных; авиационные происшествия; аварии на общественном и автомобильном транспорте; аварии на транспорте с выбросом биологически опасных веществ; аварии на транспорте с радиоактивными веществами и (или) ядерными материалами; аварии на транспорте с выбросом опасных химических веществ; аварии на магистральных газопроводах, нефтепроводах, нефтепродуктопроводах.

Анализируя события последних 20 лет на территории Республики Беларусь, основными причинами являлись:

1) *аварии на железнодорожном транспорте*: технические неисправности подвижного состава (разрушение колесных пар, дефекты пути), человеческий фактор (нарушение правил дорожного движения) [2];

2) *аварии в метрополитене*: теракт 11 апреля 2011 года, человеческие и технические инциденты (срыв в графике движения поездов) [2];

3) *аварии на водном транспорте*: человеческий фактор (ошибки в управлении, недостаточная подготовленность), техническое состояние судов [3];

4) *авиационные происшествия:* человеческий фактор (ошибки пилотирования, недостаточная подготовка), технические неисправности (отказ систем, изношенность авиатехники) [4];

5) *аварии на общественном и автомобильном транспорте:* нарушение правил дорожного движения (превышение скорости, игнорирование правил, наезды на пешеходов), технические неисправности (отказ систем, выпуск неисправного транспорта на маршрут), нарушение режима труда и отдыха водителей [2];

6) *аварии с выбросом биологически опасных веществ:* нарушение целостности тары при перевозке [5];

7) *аварии с выбросом опасных химических веществ:* нарушение правил погрузки и закрепления груза [6];

8) *аварии на магистральных трубопроводах:* деградация металла и дефекты сварных швов (отказ сварных соединений, сквозная коррозия, комбинация дефектов), внешнее воздействие, человеческий фактор [7].

Таким образом, анализ показывает, что причины транспортных аварий в Республике Беларусь носят многоуровневый характер. Основными причинами являются человеческий фактор (ошибки, нарушения, недостаточная подготовка) и технические неисправности (износ, дефекты, отказы систем). Системные проблемы в работе перевозчиков и нарушения при погрузке/перевозке опасных грузов усугубляют ситуацию. Для повышения транспортной безопасности необходим комплексный подход, включающий повышение культуры безопасности, усиление контроля и модернизацию инфраструктуры.

Список литературы

1 О классификации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера : постановление Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь от 3 августа 2023 года № 46 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=W22340806 (дата обращения: 12.09.2026).

2 О результатах анализа причин аварий с пассажирским транспортом // Генеральная прокуратура Республики Беларусь. – URL: https://prokuratura.gov.by/ (дата обращения: 12.09.2026).

3 Статистика аварийных случаев на водных объектах // Министерство по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь. – URL: https://gims.mchs.gov.by/ (дата обращения: 14.09.2026).

4 По факту крушения самолета в Барановичах СК возбудил уголовное дело // Белновости. – URL: https://www.belnovosti.by/proisshestviya/po-faktu-krusheniya-samoleta-v-baranovichah-sk-vozbudil-ugolovnoe-delo (дата обращения: 12.09.2026).

5 Подразделения МЧС ликвидировали последствия инцидента на железнодорожной станции // МЧС Республики Беларусь. – URL: https://mchs.gov.by/ (дата обращения: 14.09.2026).

6 Разлив химического вещества на территории железнодорожной станции в Минском районе нейтрализован // СБ. Беларусь сегодня. – URL: https://www.sb.by/ (дата обращения: 12.09.2026).

7 Минприроды Белоруссии сообщило об утечке из нефтепровода «Дружба» // Коммерсантъ. – URL: https://www.kommersant.ru/ (дата обращения: 14.09.2026).

УДК 614.83

ТРАНСПОРТНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПРИ УГРОЗЕ И ВОЗНИКНОВЕНИИ ЧЕРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

А. С. ШИПИЛЁВ, М. И. БОБРОВИЧ
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

В условиях глобализации и возрастающей взаимозависимости транспортных систем их роль как артерий экономического развития и социальной стабильности становится все более критической. Однако эта же уязвимость делает транспортную инфраструктуру привлекательной мишенью для террористических актов, кибератак и объектом повышенного риска при природных и техногенных катастрофах. Данный доклад посвящен комплексному анализу проблематики транспортной безопасности (ТБ) в контексте возникновения чрезвычайных ситуаций (ЧС). В работе рассматриваются современные угрозы, включая гибридные методы воздействия, кибернетические атаки и физические террористические акты, а также их влияние на функционирование различных видов транспорта. Особое внимание уделяется методологии оценки рисков, принципам построения систем управления безопасностью, а также стратегиям предотвращения и ликвидации последствий ЧС. На основе анализа эмпирических данных и нормативно-правовой базы обосновывается необходимость перехода от реактивной модели безопасности к проактивной, основанной на интеграции технологий, международного сотрудничества и адаптивного управления. Ключевые выводы подчеркивают важность комплексного подхода, объединяющего технические, организационные и человеческие факторы для обеспечения устойчивости транспортных систем перед лицом неопределенности [1].

Транспортная безопасность представляет собой состояние защищенности жизненно важных интересов личности, общества и государства в сфере транспортной деятельности от транспортных аварий, катастроф, катастрофических ситуаций, террористических актов и других чрезвычайных ситуаций (ЧС), а также от попыток их совершения. В современном мире транспортная система является не просто средством перемещения грузов и пассажиров, а критически важным элементом национальной безопасности и экономической стабильности. Сбой в работе логистических цепочек может привести к каскадным эффектам, затрагивающим энергетический сектор, продовольственную безопасность и оборонный потенциал страны.

Исторически транспортная безопасность фокусировалась на защите от физических актов незаконного вмешательства, таких как угоны воздушных судов, захват заложников на поездах или бомбовые атаки на транспортные узлы. Однако в последние два десятилетия ландшафт угроз трансформировался, став более дифференцированным и сложным.

Терроризм остается одной из наиболее серьезных угроз. Современные террористические организации все чаще выбирают транспорт как цель не только из-за его символического значения, но и из-за эффекта массового поражения и психологического воздействия на общество.

Появление коммерческих беспилотных летательных аппаратов создало новую категорию рисков. БПЛА могут использоваться для разведки объектов транспортной инфраструктуры, доставки взрывчатых веществ или создания помех радиосвязи. Инциденты с вмешательством БПЛА в работу аэропортов приводят к остановке воздушного движения, что наносит колоссальный экономический

ущерб и создает угрозу безопасности пассажиров. Это требует внедрения систем радиоэлектронной борьбы (РЭБ) и оптико-электронных систем обнаружения на критически важных объектах.

Эффективное управление транспортной безопасностью невозможно без надежной системы оценки рисков. Оценка рисков – это процесс выявления опасностей, анализа вероятности их реализации и оценки возможных последствий. Существуют качественные и количественные методы оценки рисков. Качественные методы (например, метод экспертных оценок, анализ деревьев неисправностей) позволяют быстро выявить основные уязвимости, но могут быть субъективны. Количественные методы (анализ вероятности аварии, моделирование потоков) требуют больших объемов данных и вычислительных ресурсов, но дают более точные результаты для принятия обоснованных решений. В современной практике применяется гибридный подход, сочетающий статистический анализ исторических данных с моделированием сценариев развития ЧС [2].

Ключевым принципом построения систем безопасности является создание нескольких уровней (эшелонов) защиты. Если один уровень преодолен, следующий должен сдержать угрозу или минимизировать ее последствия. Для аэропортов это внешний периметр (заборы, видеонаблюдение), входная зона (контроль доступа, досмотр багажа), зона воздушного судна (охрана, мониторинг) и непосредственно борт (информация от экипажа). Аналогичная структура применяется на железной дороге и в метрополитене.

Список литературы

1 **Черный, С. Г.** Оценка уязвимости протоколов обмена данными БПЛА для обеспечения повышения стабильности работы в нагруженных режимах / С. Г. Черный, Т. В. Зонтова, Н. В. Шапаренко // Изв. Юго-Зап. гос. ун-та. – 2024. – Т. 28, № 2. – С. 92–113.

2 Исследование процесса прессования и спекания титанового электроэрозионного порошка, полученного электроэрозионным диспергированием сплава / Е. В. Агеев, О. В. Кругляков, В. О. Переверзев, А. Е. Андреева // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2026. – Т. 30, № 2. – С. 8–21.

УДК 656.08:614.84/.86

КАМЕРЫ ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ С ИСКУССТВЕННЫМ ИНТЕЛЛЕКТОМ ПРИ ВОЗНИКНОВЕНИИ ЧС: ОТ РАСПОЗНАВАНИЯ К АВТОМАТИЧЕСКОМУ ВЫЗОВУ ЭКСТРЕННЫХ СЛУЖБ

А. С. ШИПИЛЁВ, К. Д. ДАШУК
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Представьте ситуацию: на загородной трассе переворачивается автобус с пассажирами. Водитель без сознания, пассажиры дезориентированы, очевидцев нет. Счет идет на минуты – при тяжёлых травмах и массивном кровотечении «золотой час» решает исход. Что, если бы камера, установленная на этом участке, сама распознала ДТП, идентифицировала транспортное средство, оценила количество и состояние пострадавших и автоматически вызвала скорую помощь, передав диспетчеру полную картину происшествия?

Именно такая концепции – переход от пассивного видеонаблюдения к автономному интеллектуальному агенту реагирования – является предметом настоящего доклада.

Сегодняшняя цепочка реагирования на ЧС на транспорте выглядит так: событие → очевидец → звонок в службу спасения → уточнение деталей → передача экипажу → прибытие.

Слабые места: задержка обнаружения – ночью, на безлюдных участках, в тоннелях событие может оставаться незамеченным десятки минут; человеческий фактор – очевидец в стрессе путает адрес, не может описать масштаб, преувеличивает или преуменьшает; потеря времени на уточнение – диспетчер тратит драгоценные минуты на переспросы; отсутствие информации о пострадавших – медики не знают, сколько людей, какие травмы, есть ли дети, есть ли возгорание; неверная маршрутизация – неясно, сколько бригад и какого профиля направлять [1].

ИИ-система призвана сократить эту цепочку до одного автоматического действия, исключив человека-посредника на критическом участке.

Концепция системы состоит из трех уровней интеллекта.

Уровень 1. Распознавание чрезвычайной ситуации.

ИИ-модуль постоянно анализирует видеопоток и выявляет признаки ЧС: ДТП, пожар и задымление, сход с рельсов, падение человека на железнодорожных путях или с исскуственного сооружения, оставленные предметы – потенциальная угроза взрыва, авария на воде.

Ключевой критерий – минимизация ложных срабатываний при сохранении чувствительности. Для этого применяется комбинация видеоаналитики, тепловизионных данных, аудиодетекции (звук удара, крики, сигнал тормозов).

Уровень 2. Идентификация транспортного средства и оценка обстановки.

Обнаружив ЧС, система переходит к сбору и структурированию информации: идентификация ТС – распознавание номерного знака, марки, модели, типа (автобус, фура, легковой автомобиль, цистерна с опасным грузом). Для общественного транспорта: сопоставление с базой маршрутов и расписанием; определение типа груза – по маркировке, наклейкам, данным перевозчика (это критично, так как, например, тушение цистерны с бензином и с аммиаком требует разных подходов); оценка масштаба – количество ТС, вовлеченных в ДТП; площадь возгорания, наличие обломков на проезжей части; фиксация динамики – что происходило до события (за 30–60 секунд) – для восстановления причин.

Уровень 3. Анализ пострадавших и автоматический вызов служб – ядро концепции. Система не просто фиксирует – она формирует медицинский запрос:

Подсчет людей – сколько человек находится в зоне ЧС, сколько из них в сознании, сколько неподвижны; оценка состояния – по позе, характеру движений, наличию крови, положению тела система делает предварительную оценку тяжести (условно: «ходячий», «лежачий», «неподвижный»); выявление уязвимых категорий – дети, люди с ограниченными возможностями, пожилые (по пропорциям тела, сопровождению, инвалидной коляске); определение количества пострадавших по зонам – например, «5 человек у автобуса, 2 на обочине, 1 под обломками»; прогноз потребности в ресурсах – на основе числа и состояния пострадавших система формирует рекомендацию: сколько бригад скорой, нужны ли спасатели МЧС, пожарные, нужен ли вертолет.

Далее система автоматически передает вызов в диспетчерскую службу спасения со структурированным пакетом данных: точные координаты – GPS с привязкой к километровому столбу или адресу; характер ЧС; тип и идентификация ТС – номер, маршрут, перевозчик; число и состояние пострадавших – с разбивкой по тяжести; наличие угроз – возгорание, разлив топлива, опасный груз; видеофрагмент – короткий клип до и во время события; схема места ЧС – визуальная разметка расположения людей и объектов.

Ключевые технические решения:

1 Детекция – видео + тепловизор + аудио. Это снижает ложные срабатывания и повышает точность.

2 Республиканская база данных – сопоставление ТС с базами перевозчиков, маршрутов, опасных грузов без передачи персональных данных.

3 Протокол автоматического вызова – стандартизированный формат передачи данных в 112/103.

4 Резервные каналы связи – спутниковая связь, радиоканал, дублирование через ближайший пост – для гарантии доставки вызова [2].

Проблемы и пути их решения:

Ложные срабатывания – обучение на реальных данных пороговая логика; ошибки в оценке пострадавших – позиционирование как «предварительная оценка»; финальное решение – за медиком; юридическая ответственность за автоматический вызов – законодательное закрепление статуса ИИ-системы как автоматического информатора, а не медицинского работника; приватность – обработка на периферии, шифрование, доступ только уполномоченным службам; кибербезопасность – защита каналов, аутентификация вызовов, защита от подмены данных; стоимость – поэтапное внедрение на критичных участках, типовые решения.

Перспективы развития:

1 Дроны-разведчики – вылет к месту ЧС по сигналу камеры до прибытия людей.

2 Связь с медицинскими картами – при идентификации пострадавшего (по биометрии, если он в базе) передача данных о хронических болезнях, группе крови, аллергиях.

3 Прогноз исхода – на основе характера травм система рекомендует, в какую больницу везти.

4 Единая платформа – интеграция всех ИИ-камер страны в единую сеть реагирования.

5 Обучение на симуляциях – генерация редких сценариев ЧС для тренировки моделей.

Концепция, представленная в докладе, – это не фантастика, а логичный следующий шаг эволюции транспортной безопасности. Камера с ИИ, способная распознать ЧС, идентифицировать транспортное средство, оценить состояние пострадавших и автоматически вызвать медицинские службы с полным пакетом данных, – инструмент, который сокращает время реагирования с минут до секунд и дает медикам то, чего им сегодня катастрофически не хватает: информацию до прибытия.

Главный вызов – не технический, а организационно-правовой: необходимо создать нормативную базу, стандарты обмена данными и регламенты взаимодействия. Но выигрыш – человеческие жизни – многократно перекрывает все затраты.

Будущее транспортной безопасности за системами, которые не ждут, пока их позовут, а действуют сами.

Список литературы

1 Методические рекомендации МЧС России по мониторингу и прогнозированию чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера : утв. письмом МЧС России от 15.03.2024 № М-11-997. – М. : ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2024. – Разделы 1.2, 3.1–3.5.

2 Современные системы обеспечения безопасности транспортного комплекса : учеб. пособие / В. А. Аксенов, Д. В. Климова, Е. А. Киселева [и др.]. – М. : РУТ (МИИТ), Российская открытая академия транспорта, 2025.

11 ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ОБРАЗОВАНИЯ В СИСТЕМЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАДРОВОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА

УДК 37.035.6[656.2+377/378]

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПАТРИОТИЧЕСКОГО ВОСПИТАНИЯ ПРИ ПОДГОТОВКЕ ВЫСОКОКВАЛИФИЦИРОВАННЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ: ОТ КОЛЛЕДЖА ДО УВО

Е. А. АКРУШКО
Брестский колледж – филиал Белорусского государственного университета транспорта

Железнодорожные колледжи дают базу, приучая студентов к труду «на земле» (в депо и на путях), а высшие учебные заведения (БелГУТ, БНТУ и др.) готовят из них лидеров, способных управлять отраслью. Патриотическое воспитание на железной дороге – это часть профессиональной надежности. Недисциплинированный, безответственный или ленивый человек просто не имеет право работать на железной дороге.

Важным результатом всей воспитательной работы является высококвалифицированный специалист, который придет на рабочее место в депо или на станцию с пониманием, что от его знаний, внимательности и честного труда зависит безопасность всей Беларуси.

Обучение и воспитание будущих железнодорожников опирается на законы государства (Кодекс об образовании) и программы развития Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь. Однако помимо официальных документов в этой сфере есть три главных неформальных правила.

1 Дисциплина с первого курса. Железная дорога – структура «полувоенная». Студенты колледжей и вузов носят специальную форму, учатся обращаться к преподавателям по уставу и строго соблюдать регламент.

2 Уважение к своей стране. Молодежи прививают гордость за белорусскую государственность, символы и культуру. В этом помогает единый проект «Патриот.by».

3 Защита от фейков. У учащихся формируют навыки критического мышления. Они должны понимать, что железная дорога – это объект повышенной опасности, и любые призывы к забастовкам или порче оборудования в интернете – это прямая угроза безопасности людей.

Система охватывает все уровни образования: от профессионально-технических колледжей (где готовят монтеров пути, проводников и слесарей) до Белорусского государственного университета транспорта (БелГУТ), который выпускает инженеров и руководителей.

1 Уважение к истории и подвигам прошлого.

Железнодорожные узлы первыми принимали удар в военные годы. На этом историческом примере воспитывают молодежь.

Учащиеся Брестского, Минского и Гомельского железнодорожных колледжей регулярно ухаживают за мемориалами в своих городах. Например, учащиеся колледжа – филиала БелГУТа ухаживают за могилой организатора обороны железнодорожного вокзала города Бреста в 1941 году. Л. Д. Елина, заботятся о памятниках воинам-железнодорожникам и старинных паровозах. Уже традиционным стало посвящение в железнодорожники с вручением студенческих билетов первокурсникам на базе Музея железнодорожной техники г. Бреста.

Более 11 лет на базе музея колледжа – филиала БелГУТа проводит патриотическую работу молодежный клуб «Поиск». В БелГУТе работает клуб «Отечество». Ребята сами ищут в архивах информацию о железнодорожниках, которые совершали подвиги во время Великой Отечественной войны или участвовали в «рельсовой войне» в партизанских отрядах, или совершали трудовые подвиги в мирное время.

2 Военная подготовка и защита магистралей.

Военно-транспортный факультет (ВТФ) БелГУТа готовит офицеров для транспортных войск. Студенты других факультетов также принимают участие в военных сборах. Их учат, что делать, если на путях произошла авария, как быстро восстановить разрушенный мост или защитить станцию от диверсантов. Брестский колледж – филиал БелГУТа не первый год взаимодействует с военкоматами, воинскими частями, МЧС и ДОСААФ военно-патриотическим объединением «Юный армеец». Учащиеся объединения принимают активное участие в городских, областных и республиканских акциях военно-патриотической направленности, готовятся к службе в силовых структурах Республики Беларусь.

3 Трудовой патриотизм: Студотряды и династии.

Настоящий патриотизм проявляется в труде. Колледжи и вузы тесно сотрудничают с БРСМ и Белорусской железной дорогой (БЖД).

Каждое лето учащихся колледжей уезжают работать на реальные объекты. Учащиеся Минского, Брестского, Гомельского колледжей проходят стажировку проводниками на поездах межрегиональных линий, идут работать монтерами пути или в депо. Они своими руками ремонтируют рельсы и водят составы, зарабатывая первые деньги и помогая экономике страны.

На БЖД создаются специальные молодежные локомотивные бригады, состоящие из лучших выпускников и старшекурсников. Для них это возможность доказать, что молодежь может водить поезда без опозданий и аварий.

В колледжах часто проводят вечера встреч, куда приглашают трудовые династии БЖД. Когда перед студентами выступает семья, где дед, отец, сын и внук работают в одном депо, а их общий стаж на железной дороге 250 лет, это мотивирует лучше любых учебников. Ежегодно на встречи с учащимися приглашаются Заслуженные железнодорожники, которым есть чем поделиться с молодым поколением.

Сегодня патриотическое воспитание ушло от скучных лекций в сторону живых, интересных проектов, которые проводятся вместе с Россией в рамках Союзного государства.

1 Проект «Поезд Памяти»: раз в год учащиеся на специальном поезде едут по городам-героям Беларуси и России. Будущие железнодорожники (практиканты) часто помогают обслуживать этот состав. Они видят, как важна слаженная работа железнодорожных систем двух стран.

2 Передвижной музей «Поезд Победы»: это состав, внутри которого воссоздана атмосфера военных лет с помощью восковых фигур и экранов. Традиционно лучшие учащиеся железнодорожных колледжей в качестве поощрения получают возможность посетить этот уникальный передвижной музей и познакомиться с экспозициями всех периодов Великой Отечественной войны. Когда этот поезд приезжает в Минск, Брест, Витебск или Гомель, учащиеся отраслевых колледжей работают там волонтерами. Они помогают встречать ветеранов, следят за порядком и проводят экскурсии.

Железная дорога в Беларуси – это не просто рельсы и поезда, а огромная, стратегически важная система, от которой зависит жизнь всей страны. Белорусская железная дорога работает как часы благодаря жесткой дисциплине. В настоящее время мало просто научить учащихся водить локомотивы или настраивать автоматику. Самое важное – воспитать надежного человека, который понимает свою ответственность перед государством. Патриотизм на железной дороге – это не громкие лозунги. Это честный труд, соблюдение инструкций и готовность защищать свою страну и ее инфраструктуру от всех внешних и внутренних вызовов сегодняшнего дня.

УДК 378.147.091.33:811.1

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ХУДОЖЕСТВЕННЫХ ФИЛЬМОВ В ОБУЧЕНИИ ИНОСТРАННОМУ ЯЗЫКУ СТУДЕНТОВ ЭКОНОМИЧЕСКОГО И ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ

Е. Л. БАТУРИНА
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Использование аутентичных художественных фильмов на занятиях по иностранным языкам при обучении студентов неязыковых вузов является действенным методом, позволяющим разнообра-

зить учебный процесс и решить целый ряд задач. При просмотре фильма студенты активизируют изученный лексико-грамматический материал, совершенствуют навыки аудирования, наблюдают, как используется язык в реальных ситуациях. При изучения иностранного языка вне языковой среды художественные фильмы позволяют обучаемым лучше узнать социокультурные особенности другой страны, познакомиться с многообразием идиолектов, диалектов и социолектов изучаемого языка. Визуальный ряд – мимика и жесты героев картины, локации, действия на экране – позволяет понимать происходящее даже тем студентам, чей уровень владения иностранным языком пока недостаточно высок. Качественная кинопродукция, подобранная с учетом интересов обучаемых, повышает учебную мотивацию, расширяет кругозор и улучшает эстетический вкус.

Просмотр художественных фильмов на иностранном языке стал частью процесса обучения студентов БелГУТа 1–4-го курсов всех факультетов. При выборе фильмов преподаватели кафедры славянских и романо-германских языков руководствуются следующими критериями.

1 Соответствие фильма содержанию учебного материала, отраженному в учебно-методической карте. Так, при изучении темы «Высшее образование», «Учеба и досуг студента» были просмотрены фильмы «Улыбка Моны Лизы» (2003), «Общество мертвых поэтов» (1998), а в рамках изучения темы «Поиск работы» – фильм «Стажер» (2015).

2 Воспитательный потенциал фильма, соответствие морально-этической проблематики картины воспитательным задачам, стоящим перед преподавателями вузов Беларуси.

3 Уровень сложности языкового и речевого материала фильма.

4 Соответствие фильма возрасту и интересам студентов.

Работа над художественным фильмом состоит из преддемонстрационного, демонстрационного и последемонстрационного этапов. На преддемонстрационном этапе в форме группового обсуждения осуществляется введение в тематику фильма, а также снимаются некоторые лексические и грамматические трудности. Демонстрационный этап может иметь место на занятии или же проходить в формате «перевернутый класс», предполагающем самостоятельный просмотр фильма на иностранном языке. Использование иноязычных субтитров при просмотре допустимо, русскоязычных же – крайне нежелательно, поскольку в этом случае обучаемые переключают внимание с восприятия иноязычной речи на слух на чтение на родном языке. На последемонстрационном этапе проходит закрепление лексико-грамматического материала в форме упражнений, а также обсуждение сюжета и затрагиваемых в фильме проблем.

Особый интерес представляют иноязычные художественные фильмы, тематика которых отражает особенности профессиональной деятельности специалистов экономического и технического профилей. Надо сказать, что подобрать материалы, соответствующие профессиональным интересам наших студентов, достаточно непросто, тем не менее такие картины есть.

Для студентов специальности «Таможенное дело» были отобраны трагикомедия «Терминал» (2004), а также историческая и биографическая драма «Женщина в золотом» (2015). Первая картина, рассказывающая историю путешественника из вымышленного государства, оказавшегося в аэропорту Нью-Йорка с недействительными документами, дает возможность студентам увидеть, как устроен международный аэропорт, познакомиться с деталями работы сотрудников таможни и паспортного контроля.

Фильм режиссера С. Кертиса «Женщина в золотом», основанный на реальных событиях – истории возвращения знаменитой картины австрийского художника Г. Климта «Портрет Адели Блох-Бауэр» законной наследнице, затрагивает проблему реституции культурных ценностей, захваченных нацистами во время Второй мировой войны. Надо отметить высокий воспитательный потенциал данной кинокартины: через историю главной героини фильма, Марии Альтман, зрители видят ужасы Холокоста, попытки современных правительств забыть о своей ответственности перед жертвами нацизма, но также и борьбу за справедливость по отношению к живым и памяти тех, кого уже нет в этом мире. Фильм содержит большое количество общеюридической терминологии, а также термины из области искусства, которые могут быть полезны студентам специальности «Таможенное дело» (например, *restitution, lawyer, arbitration, ownership, case, looting* и т. д.). На предпросмотровом этапе студентам предлагается обсудить тему разграбления культурных ценностей нацистами во время Второй мировой войны, также на этом этапе вводятся некоторые лексические единицы и грамматические конструкции, которые потенциально могут быть не понятыми обучаемыми. После просмотра фильма выполняются задания на заполнение пропусков, студенты отвечают на вопросы по фильму, а также находят смысловые ошибки в кратком описании сюжета кинофильма. В каче-

стве домашнего задания студентам предлагается подготовить сообщения на темы «Исчезнувшие шедевры», «Проблема реституции культурных ценностей», «Роль таможни в предотвращении незаконного вывоза культурных ценностей».

Для студентов, изучающих транспортную логистику, был отобран художественный фильм «Извините, мы вас не застали» (режиссер К. Лоуч, 2019). Фильм погружает зрителя в профессиональную среду современной логистики и живой, естественный английский язык. В картине подробно показана работа крупного распределительного центра от сортировки на складе до сканирования штрих-кодов и финальной доставки товара клиенту. Фильм наглядно демонстрирует, как работают жесткие требования, нацеленные на повышение эффективности труда специалистов в области логистики, включающие штрафы за задержку доставки, а также демонстрирует современный уровень цифровизации логистической отрасли (использование сканеров, GPS-трекеров и т. д.). Также картина поднимает ряд морально-этических проблем: баланс между стремлением компании минимизировать расходы и пределами возможностей работника, несправедливое распределение материальных благ в современном обществе, взаимоотношения между родителями и детьми-подростками.

На предпросмотровом этапе студентам предлагается соотнести термины из сферы логистики (например, *depot, courier service, unemployed, deliver, franchise, self-employed, parcel*) с их дефинициями и постараться спрогнозировать, о чем будет фильм. Затем коротко обсуждаются следующие вопросы: *What do you think are the main advantages of working as a self-employed delivery driver? «В чем, по-вашему, состоят преимущества работы самозанятого водителя службы доставки?» What problems can a courier have when they have to deliver many parcels in one day? «Какие проблемы могут возникать у курьера, когда ему нужно доставить очень много посылок за один день?» Would you prefer to be an employee self-employed? Why? «Ты бы хотел работать в качестве самозанятого? Почему?»*

После просмотра картины студенты отвечают на вопросы по ее содержанию и выполняют задания на выбор правильного ответа из нескольких предложенных. Затем предлагается задание «Что бы ты сделал на месте главного героя?» (Например: *What would you do if you were offered a well-paid delivery job but had to buy your own van?* «Что бы ты сделал, если бы тебе предложили хорошо оплачиваемую работу, но тебе пришлось бы покупать для этого собственный микроавтобус?» *What would you do if your employer monitored your every delivery and punished you for being late?* «Что бы ты сделал, если бы твой работодатель мониторил каждую доставку и наказывал тебя за опоздания?» *What would you do if you were too ill to work but had to pay for a replacement driver?* «Что бы ты сделал, если бы ты заболел, а тебя бы заставляли оплатить работу твоего водителя-сменщика?» *What would you do if you were attacked while making deliveries? «Что бы ты сделал, если бы на тебя напали во время доставки грузов?» What would you do if your job gave you a higher income but left almost no time for your family?* «Что бы ты сделал, если бы твоя работа приносила тебе высокий доход, но практически не оставляла времени для общения с твоей семьей?»). Оно позволяет активизировать как лексический материал, так и сложные грамматические структуры – условное предложение. Кроме того, студенты имеют возможность обсудить этику бизнеса и семейных отношений.

Существенным недостатком использования художественных фильмов на занятиях по иностранному языку в неязыковом вузе является трудоемкость подготовки учебных материалов для работы над киноматериалом, при том что в учебном процессе данный метод обучения выполняет преимущественно вспомогательную роль. Тем не менее ценность художественных фильмов для повышения мотивации обучаемых, для улучшения навыков восприятия иноязычной речи на слух, а также социокультурная составляющая данного метода делают его важным инструментом профессиональной языковой подготовки будущих специалистов в области экономики, логистики и инженерного дела.

УДК 378

КАЧЕСТВО НАУЧНЫХ И КВАЛИФИКАЦИОННЫХ РАБОТ В ЭПОХУ ИИ: НОВЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЯ И ИССЛЕДОВАТЕЛЯ

О. С. БЕЛЕНЬКАЯ
ООО «Думейт», г. Москва, Российская Федерация

Сервис «Дутрейс» представляет собой систему легитимного использования ИИ для создания академических работ. Представлены новые цифровые сервисы для преподавателей и авторов науч-

ных и квалификационных работ, доступные для образовательных и научных организаций Республики Беларусь и стран ЕАЭС. Сервис «Думейт» с ИИ-помощником предназначен для выявления заимствований и сгенерированных текстов. На примерах научных публикаций по теме «Безопасность на транспорте» показаны возможности сервисов для обеспечения качества научных и квалификационных работ в эпоху массового использования нейросетей.

Стремительное проникновение генеративного искусственного интеллекта в образовательный и научный процесс ставит перед транспортными вузами новые вызовы. Согласно ежегодным отчетам HEPI / Kortext [1, 2] наблюдается резкий рост применения генеративного искусственного интеллекта (ИИ) среди студентов: если в 2024 году таких пользователей было 66 %, то в 2025 году – уже 92 %, а в 2026 году – 95 %. Эти данные согласуются с выводами российских исследователей, которые свидетельствуют о том, что подавляющее большинство студентов активно обращаются к нейросетям как в повседневной жизни, так и в процессе обучения, в том числе для выполнения учебных заданий, написания курсовых и выпускных квалификационных работ [3–5]. При этом значительная часть преподавателей отмечает случаи ошибочного отнесения текста к сгенерированному ИИ, а 42 % студентов переживают из-за рисков необоснованных обвинений [2].

Массовое использование генеративного ИИ меняет и саму культуру академического письма. Значительная часть студентов воспринимает нейросети как естественный инструмент подготовки работ, а преподаватели испытывают дефицит методических средств, позволяющих отличать добросовестное использование ИИ от нарушений. Как отмечают исследователи, формальные запреты и процентные пороги сгенерированного текста не решают проблему, а лишь смещают ее в «серую зону» [3–5]. В этих условиях особое значение приобретают инструменты, дающие объективные, проверяемые и воспроизводимые данные о происхождении текста.

В условиях, когда кадровая безопасность транспортного комплекса напрямую зависит от качества подготовки специалистов, возникает потребность в инструментах, которые не запрещают ИИ, а позволяют этично и прозрачно встраивать его в академическую работу и обеспечивают контроль не только текста как финального результата, но и мониторинг его создания [6].

Примерами таких инструментов являются российские сервисы «Думейт» и «Дутрейс». При разработке их создатели опирались на 20-летнюю экспертизу в области анализа академических текстов, но при этом использовали технологии машинного обучения.

Важно подчеркнуть, что сервисы не противопоставляют проверяемость и творчество. Они формируют единый контур: с одной стороны – верификация результатов, с другой – прозрачное документирование процесса работы с ИИ. Такой подход соответствует международной практике, в которой ответственность за качество текста остается за автором, а инструменты ИИ используются как вспомогательное средство.

В системе «Думейт» проверка на заимствования осуществляется по крупнейшей базе источников, насчитывающей более 2 млрд документов на 105 языках, включая архивы РАН и РЦНИ, открытые интернет-источники, публикации НЭБ eLibrary, патенты, диссертации и авторефераты России и СНГ. Сервис определяет фрагменты текста, созданные с помощью нейросетей ChatGPT, YandexGPT, Deepseek и других моделей, и визуализирует риски в виде тепловой карты ИИ-текста. Верификация библиографии обеспечивает сопоставление источников из списка литературы с базами данных и выявление несуществующих, устаревших и некорректно оформленных источников. Интерактивный редактируемый отчет со встроенным ИИ-помощником дает возможность отключать или изменять тип источника с указанием причины и комментированием, что сокращает время анализа отчета.

«Дутрейс» (DoTrace) – платформа, созданная для этичного применения ИИ в академических текстах. В отличие от инструментов, ориентированных исключительно на запрет ИИ, «Дутрейс» формирует среду, в которой ИИ выступает как «напарник» исследователя, а не как средство обхода академических норм. Полный отчет о работе формируется автоматически, что исключает риск ложных обвинений при проверке работы детектором ИИ-текста. Платформа поддерживает совместную работу: приглашение научного руководителя в проект, передачу работы на рецензию и управляемый процесс обратной связи. ИИ-ассистент понимает значение запроса на естественном языке, например, «исправь ошибки» или «добавь описание методики к тексту главы». Автоматизация подготовки таблиц, графиков, математических и химических формул в LaTeX критически важна для научных работ по безопасности на транспорте. Автоматическая проверка на соответствие требованиям издательства, вуза или НИИ учитывает структуру научных работ и требования академической этики.

В качестве примеров использования сервисов рассмотрены реальные научные статьи, опубликованные, а затем ретрагированные по причинам выявления неправомерных заимствований и наличия в списке литературы ссылок на несуществующие источники.

Кроме того, на публикациях по безопасности на транспорте продемонстрированы выявление некорректных заимствований из диссертаций и авторефератов; обнаружение ИИ-сгенерированных фрагментов в статьях, посвященных надежности подвижного состава и безопасности транспортных систем; верификация списков литературы, включающих устаревшие нормативные документы и несуществующие публикации; проверка корректности упоминания организаций и физических лиц, включенных в соответствующие реестры, что особенно актуально для транспортной отрасли с ее развитой международной кооперацией. Подобные примеры показывают, что инструменты работают не только с формальными признаками, но и с содержательными ошибками, влияющими на достоверность результатов.

Качество научных и квалификационных работ напрямую влияет на уровень подготовки специалистов, а значит, и на кадровую безопасность транспорта. В эпоху массового использования нейросетей необходимы инструменты, которые не запрещают ИИ, а обеспечивают прозрачный и этичный контроль качества академических работ. Сервисы «Думейт» и «Дутрейс» предоставляют преподавателю и исследователю полный спектр возможностей для объективной оценки оригинальности и этичности научных текстов, легитимного использования ИИ в образовательном процессе, снижения репутационных рисков и повышения авторитета транспортного вуза в глазах студентов, сотрудников и регуляторов. Использование данных сервисов соответствует действующим в Республике Беларусь требованиям к высшему образованию и аттестации научных кадров, и может быть рекомендовано для внедрения в транспортных вузах.

Список литературы

1 **Freeman, J.** Student Generative AI Survey 2025. HEPI Policy Note 61 / J. Freeman. – Oxford : Higher Education Policy Institute, 2025. – 12 p.

2 **Stephenson, R.** Student Generative AI Survey 2026. HEPI Report 199 / R. Stephenson, C. Armstrong. – Oxford : Higher Education Policy Institute, 2026. – 52 p.

3 **Кузьминов, Я. И.** Отстающие и опережающие: как студенты используют генеративный искусственный интеллект в образовательных целях / Я. И. Кузьминов, Е. В. Кручинская, И. А. Груздев, А. А. Наумов // Высшее образование в России. – 2025. – № 34 (6):9–35. – URL: https://doi.org/10.31992/0869-3617-2025-34-6-9-35 (дата обращения: 10.09.2026).

4 **Поспелова, Е. А.** Применение генеративного искусственного интеллекта в персонализации образования: восприятие студентами гуманитарных и технических специальностей / Е. А. Поспелова, Е. Н. Горлачева, П. Л. Отоцкий // Интеграция образования. – 2025. – № 29 (4). – С. 734–752. – URL: https://doi.org/10.15507/1991-9468.029.202504.734-752 (дата обращения: 10.09.2026).

5 **Ананин, Д. П.** «Когда честно – хорошо, для имитации – плохо»: стратегии использования генеративного искусственного интеллекта в российском вузе / Д. П. Ананин, Р. В. Комаров, И. М. Реморенко // Высшее образование в России. – 2025. – № 34 (2):31–50. – URL: https://doi.org/10.31992/0869-3617-2025-34-2-31-50 (дата обращения: 10.09.2026).

6 **Чехович, Ю.** Генеративный ИИ два года спустя: разоблачения продолжаются / Ю. Чехович, П. Ботов, А. Грабовой [и др.] // Университетская книга. – 2026. – № 5. – С. 84–87.

УДК 331.108

ЭКОНОМИКА ЗНАНИЙ И ЕЁ ВЛИЯНИЕ НА ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НОВЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ОЦЕНКИ ДОСТИЖЕНИЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ТРУДА

О. Г. БЫЧЕНКО, О. В. БЫЧЕНКО
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

В настоящее время интеллектуальный труд и генерируемые им знания становятся наиболее важным фактором экономического роста. Экономика знаний, креативная экономика, предъявляет новые требования к системам учёта, оценки и управления результатами интеллектуальной деятельности.

Интеллектуальный труд – это ресурс, который не имеет потенциальных ограничений, в результате его использования создаётся продукт, обладающий нематериальной формой, измерить и оценить его достаточно сложно. Это порождает целый комплекс проблем: от установления справедливого уровня оплаты труда работников до определения налогооблагаемой базы и эффективного

регулирования производственных процессов со стороны государства. В связи с этим закономерно возникает вопрос о разработке адекватных методов оценки вклада различных составляющих труда в экономический результат хозяйственной деятельности организаций.

Экономика знаний признаёт, что главным источником экономического развития становятся не материальные активы, а знания, компетенции и инновационный потенциал работников. Отличие интеллектуального труда от физического приводит к необходимости поиска методов оценки, позволяющих учитывать эти особенности: нематериальность продукта, отсутствие логистических ограничений, сложность измерений.

Возрастающий вклад интеллектуального труда в создание добавленной стоимости требует включать в модели производства не только затраты капитала и физического труда, но и предпринимательские способности, информацию и непосредственно вклад интеллектуального труда. Такой подход позволяет более адекватно отражать реальный вклад различных факторов в экономический результат.

Интеллектуальный капитал как совокупность нематериальных активов можно разделить на три составные части: человеческий капитал (знания и компетенции сотрудников), структурный капитал (организационные процессы, базы данных, патенты) и реляционный (потребительский) капитал (бренд, отношения с клиентами и партнёрами).

Для оценки стоимости объектов интеллектуальной собственности и нематериальных активов используются три подхода: 1) доходный – основан на определении текущей стоимости будущих экономических выгод, которые принесёт использование актива, Используется для активов, генерирующих предсказуемые денежные потоки; 2) рыночный – предполагает сравнение оцениваемого актива с аналогичными объектами, недавно проданными на рынке, однако его применение ограничено из-за отсутствия активного рынка для многих видов нематериальных активов; 3) затратный – оценивает актив по стоимости его воссоздания или замещения. Наиболее актуален для недавно созданных объектов, но может не отражать их реальную рыночную ценность.

Создаются комбинированные модели, учитывающие отраслевую специфику и интенсивность использования прав интеллектуальной собственности, например, для IT-индустрии доходный подход оказывается приоритетным.

Цифровая трансформация экономики открывает принципиально новые возможности для оценки достижений интеллектуального труда. Во-первых, развитие информационных технологий позволяет собирать и обрабатывать большие объёмы данных о результатах интеллектуальной деятельности. Это касается не только патентной статистики, но и показателей цитирования, публикационной активности, участия в научно-исследовательских проектах. Во-вторых, разработка агент-ориентированных моделей и методов эконометрического анализа позволяет учитывать влияние интеллектуального капитала на макроэкономические показатели. Отечественные исследователи, в частности, предлагают использовать такие модели для анализа сектора экономики знаний и его влияния на ВВП регионов. В-третьих, на уровне предприятий формируются комплексные системы учётно-аналитической информации о нематериальных активах.

Грамотное управление интеллектуальной собственностью становится одним из ключевых факторов повышения эффективности производства и конкурентоспособности. Постановка объектов интеллектуальной собственности на бухгалтерский учёт, объективная оценка их стоимости и регулярный анализ эффективности использования позволяют принимать экономически обоснованные управленческие решения.

Нормативное регулирование в этой сфере также эволюционирует. Для упорядочивания формирования документов необходимо утверждать национальные стандарты оценки нематериальных активов, что позволит повысить инвестиционную привлекательность компаний и обеспечение прозрачности финансовой отчётности. Ожидается, что подобные инициативы будут способствовать формированию единых подходов к оценке интеллектуального капитала на глобальном уровне.

При разработке методов оценки достижений интеллектуального труда, выявляется ряд проблем:

1 Недостаточная стандартизация. Отсутствие унифицированных стандартов оценки для разных видов интеллектуальных активов затрудняет сопоставимость показателей и принятие инвестиционных решений.

2 Субъективность качественных показателей. Часть компонентов интеллектуального капитала, например, качество управления или лояльность клиентов, сложно формализовать и измерить объективно. В ряде методик используются экспертные оценки, что вносит элемент субъективности.

3 Проблема интеграции в бухгалтерский учёт. Традиционные системы бухгалтерского учёта ориентированы на материальные активы, тогда как интеллектуальный капитал часто остаётся за балансом. Это искажает реальную стоимость компаний, особенно в высокотехнологичных отраслях.

Решение этих проблем связано, прежде всего, с совершенствованием нормативно-правовой базы, внедрением цифровых платформ для мониторинга интеллектуальных активов и развитием новых моделей оценки, учитывающих динамический характер знаний и их способность к самонаращиванию.

Экономика знаний кардинально меняет представления о ценности и способах измерения результатов труда. Интеллектуальный труд становится главным драйвером экономического роста, однако его нематериальная природа требует разработки новых подходов к его оценке. Действующие подходы оценки стоимости объектов интеллектуальной собственности и нематериальных активов (доходный, рыночный и затратный), хотя и имеют свои ограничения, могут быть эффективно применены при условии их адаптации к специфике отраслей и конкретных объектов интеллектуальной собственности.

Цифровая трансформация открывает новые возможности для сбора, обработки и анализа данных о результатах интеллектуальной деятельности, что способствует совершенствованию оценки достижений интеллектуального труда. Вместе с тем сохраняются проблемы стандартизации и интеграции интеллектуального капитала в традиционные системы учёта. Решение этих проблем требует комплексного подхода, включающего совершенствование нормативной базы, развитие методов анализа и повышение квалификации специалистов в области оценки нематериальных активов, что позволит адекватно отражать вклад интеллектуального труда в экономический результат и принимать обоснованные управленческие решения, направленные на инновационное развитие.

УДК 37.016:330.1

ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ «СОВРЕМЕННАЯ ПОЛИТЭКОНОМИЯ»

И. В. ГАЛКИНА
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

В современных условиях возрастает роль воспитательной и идеологической составляющей не только в научной, но и в образовательной сфере. Социально-экономические изменения в обществе обостряют важную педагогическую проблему – обучения и воспитания личности. В этом процессе ведущая роль отводится образованию, поскольку тот или иной уровень культуры человека есть результат обучения и воспитания. При этом образование должно строиться на прочном фундаменте – реальной методологической и воспитательной основе. Экономическое воспитание формирует у студентов экономическое мышление, необходимое для эффективной практической деятельности в условиях рыночной экономики.

Появление в мире новых рисков, вызовов и угроз, обострение глобальных проблем, необходимость устойчивого развития Беларуси объективно потребовали поиска новых подходов к обеспечению национальной безопасности. В условиях нарастающей неопределенности международных экономических отношений студенты должны иметь четкие представления и критерии оценки происходящих процессов, определять приоритеты национальной экономической модели исходя из интересов страны. Возникла острая необходимость в создании научной основы для изучения особенностей белорусской социально-экономической модели на основе теоретико-методологических разработок белорусских историков, экономистов, социологов, культурологов и других ученых. Белорусская экономическая школа видит задачу экономической науки не только в том, чтобы понять законы общественного производства и распределения, но и выявить закономерности развития современной экономики и политики и сопоставить их с национальными интересами. Данные положения реализуются посредством преподавания студентам высших учебных заведений дисциплины «Современная политэкономия» [1, 2].

В 1990-е годы в Беларуси на смену советским книгам по политэкономии пришли учебники типа «economics», которые отражали рыночные либеральные идеи, свойственные западному миру. Для Республики Беларусь такие теории и методологии оказались абсолютно непригодными, так как не отражали специфики общественной жизни государства. Возникла объективная необходимость сформировать новую экономическую образовательную парадигму, опирающуюся на принципы научного познания, ориентированную на исследования реальных экономических систем, а не идеальных моделей, и формирующую у будущих специалистов позитивное экономическое мироощущение. События 2020 года в Беларуси стали главным катализатором для коренной реформы высшего образования, результатом которой явилось создание и внедрение в рамках поручения Главы государства единого базового учебного пособия «Современная политэкономия» как инструмента формирования «правильного» экономического мышления, отличного от чистой рыночной идеологии. Постепенно в экономику возвращается сильное государство, возрастает связь политики и экономики.

Дисциплина «Современная политэкономия» обладает высоким воспитательным и идеологическим потенциалом. Она включена в программу неэкономических специальностей как государственный компонент с целью изучения экономики исходя из национальных особенностей и интересов страны. Воспитательный и идеологический потенциал учебной дисциплины «Современная политэкономия» заключается в формировании у студентов целостного мировоззрения, гражданской ответственности и системного политико-экономического и критического мышления. Она позволяет не только фиксировать цифры, но и понимать скрытые политические и классовые интересы, которые за ними стоят.

Можно выделить следующие ключевые аспекты воспитательного потенциала дисциплины «Современная политэкономия».

1 Формирование целостной картины мира. Дисциплина объединяет экономику, политологию, социологию и философию, помогая студенту увидеть взаимосвязь между отдельным человеком, государством и глобальными процессами в мировой экономике.

2 Гражданское и патриотическое воспитание. Изучение роли государства в регулировании экономики, вопросов экономической безопасности и геополитики помогает студентам осознать интересы своей страны на мировой арене.

3 Развитие системного и критического мышления. Дисциплина учит видеть за цифрами и рыночными графиками глубинные связи между человеком, обществом, трудом и властью, преодолевая поверхностный подход к экономике. Помогает различать объективные закономерности и манипуляции.

4 Воспитание чувства социальной справедливости и ответственности. Политэкономия изучает отношения между социальными субъектами, возникающие в процессе производства, распределения, обмена и потребления благ, что воспитывает уважение к труду, понимание роли государства в защите социальных интересов общества. Формируется понимание социальной справедливости, благосостояния общества и этических норм хозяйствования.

5 Понимание глобального контекста. Изучая вопросы геополитики и глобализации, студенты учатся оценивать место национальной экономики в системе мирохозяйственных связей и осознавать взаимозависимость современных государств.

Теоретико-методологические подходы, заложенные в данной науке, исходят из принципов белорусской экономической школы:

1) развитие экономики страны исследуется в контексте эволюции мирового хозяйства в исторической динамике (исторический подход);

2) исследование не ограничивается только анализом экономических категорий; экономические явления и процессы рассматриваются в неразрывной связи с социальными отношениями и политическими процессами (институциональный подход);

3) все социально-экономические отношения изучаются в неразрывной связи с их субъектами (субъектный подход);

4) экономика признаётся не саморегулируемой, а государственно-регулируемой. Это является необходимым условием развития экономики и общества в современном мире [3].

Таким образом, современная политэкономия как общественная наука превращается в мощный инструмент воздействия на общественное мировоззрение, позволяет увидеть скрытые глобальные экономические и политические процессы. Политэкономия раскрывает суть экономических законов

через призму конфликта интересов. Изучение «Современной политэкономии» помогает понять, как связаны между собой власть, государство, бизнес и общество, а также почему экономические процессы зависят от политики и социальных отношений. Динамическое развитие и непредсказуемость современной экономики требуют подготовки специалистов нового типа – обладающих системным политико-экономическим мышлением и разделяющия общегосударственные ценности. В этих условиях дисциплина «Современная политэкономия» становится фундаментом формирования профессиональных компетенций будущих управленцев и экономистов.

Список литературы

1 **Галкина, И. В.** Работа преподавателя по развитию экономической культуры студентов / И. В. Галкина // Инновационный опыт идеологической, воспитательной и информационной работы в вузе : материалы IX Междунар. науч.-практ. конф. (Гомель, 21 апреля 2023 г.) / М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. ; под общ. ред. Г. М. Чаянковой. – Гомель : БелГУТ, 2023. – С. 19–21.

2 **Галкина, И. В.** Формирование экономической культуры студентов вуза в современном образовательном процессе / И. В. Галкина, О. А. Ходоскина // Инновационный опыт идеологической, воспитательной и информационной работы в вузе : материалы IX Междунар. науч.-практ. конф. (Гомель, 21 апреля 2023 г.) / М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. ; под общ. ред. Г. М. Чаянковой. – Гомель : БелГУТ, 2023. – С. 22–24.

3 Жить по своей модели. – URL: https://www.sb.by/articles/zhit-po-svoey-modeli.html (дата обращения: 20.09.2026)

УДК 378.147.02:656.2(476)

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ИНЖЕНЕРНОГО ОБРАЗОВАНИЯ В ОБЛАСТИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА И ЛОГИСТИКИ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

И. А. ЕЛОВОЙ
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

К. И. ГЕДРИС
Республиканское логистическое унитарное предприятие «БЕЛИНТЕРТРАНС», г. Минск

Современный этап функционирования транспортно-логистического комплекса Республики Беларусь характеризуется высокой степенью динамики развития и структурных преобразований, что требует совершенствования подходов к подготовке инженерных кадров. Необходимость глубокой модернизации профильного образования продиктована комплексом геоэкономических, технологических и отраслевых факторов.

Во-первых, макроэкономические изменения привели к глобальной переориентации экспортно-импортных грузопотоков. Формирование новых международных логистических коридоров и удлинение цепей поставок требуют от инженеров умения быстро адаптироваться к поиску и построению нестандартных маршрутов, управлять сложными мультимодальными цепями поставок и минимизировать издержки в условиях высокой неопределенности.

Во-вторых, стремительная цифровая трансформация отрасли диктует новые требования к квалификации специалистов. В условиях внедрения цифровых технологий инженер-железнодорожник перестает быть исключительно узким техническим специалистом – на первый план выходит проблема дефицита междисциплинарных IT-компетенций. Отрасли требуются кадры, владеющие навыками работы с актуальными ERP-системами, технологиями цифровых двойников инфраструктуры и моделей оперирования подвижным составом, разработки и внедрения автоматизированных системам управления движением.

В-третьих, железнодорожная отрасль обладает уникальной спецификой, включающей экстерриториальность, высокую сложность непрерывных технологических процессов и жесткие требования к обеспечению безопасности движения. Возникает критическая необходимость соблюдения единых стандартов в техническом и технологическом отношениях на всей сети железных дорог.

В связи с этим наблюдается растущий разрыв между классической теоретической подготовкой выпускников учреждений высшего образования и реальными практическими потребностями транспортного бизнеса, так как образовательные программы зачастую не актуализируются в соответ-

ствии с темпом обновления производственной и технологической базы предприятий, а также недостаточно полно учитывают современные потребности участников транспортного рынка.

Для преодоления барьера между теорией и практикой требуется переход к гибким, практико-ориентированным моделям обучения. Ключевым фактором повышения качества образования выступает переход на пятилетнее обучение при подготовке инженерных кадров с непосредственным участием заказчиков кадров в сфере железнодорожного транспорта и логистики в формировании необходимых профессиональных компетенций.

Среди путей развития, предполагающих значительное повышение качества инженерного образования, ключевое место занимает углубление практикоориентированности при подготовке студентов, в т. ч. по следующим направлениям:

– изменение формата практики: продолжительность производственной практики должна составлять не менее 2,5 месяцев в течение учебного года и завершаться получением рабочей специальности;

– индивидуальное наставничество: распределение на практику должно предполагать нахождение не более 2–3 студентов на одном объекте;

– внедрение элементов дуального образования: студенты должны работать на соответствующих рабочих местах с получением заработной платы, что позволит внедрить элементы дуального обучения и решать реальные бизнес-кейсы железнодорожного перевозчика и логистических операторов.

В условиях глобальной интеграции транспортных систем критически важна гармонизация учебных процессов и переход на синхронизированные единые учебные планы в рамках ЕАЭС и на пространстве СНГ. Это обуславливает потребность открывать новые инженерные специальности в тесном взаимодействии с вузами стран СНГ для формирования единого технологического контура.

Эффективным механизмом кооперации выступает внедрение программ «двойных дипломов», сетевых модулей обучения, а также регулярных академических обменов и зарубежных стажировок. В качестве стратегического вектора развития целесообразно рассмотреть создание совместного Российско-Белорусского университета для подготовки кадров для железнодорожного транспорта в рамках Союзного государства. Институциональная интеграция позволит объединить научно-методические базы, устранить технологические барьеры для экстерриториальных перевозок и существенно повысить привлекательность инженерных специальностей для абитуриентов из соседних государств.

Особое внимание следует уделить расширению и обновлению материально-технической базы университетов, основываясь на реальных информационных и производственных технологиях предприятий транспортной отрасли.

На профильных кафедрах необходимо создавать современные учебные лаборатории, связанные с цифровизацией технологических и логистических процессов (например, имитирующие железнодорожный полигон или автоматизированный терминал). Основу перспективных специальностей должны составлять передовые разработки в сфере искусственного интеллекта и комплексной цифровизации.

При размещении филиалов кафедр должна учитываться специфика отрасли: они могут располагаться не только на базе учреждения высшего образования, но и на удаленных производственных объектах (например, на железнодорожных станциях, в логистических центрах, морских портах) для проведения профильных практик.

Значительной преградой для устойчивого развития отраслевого образования является кадровый разрыв: старение профессорско-преподавательского состава и низкая мотивация инженеров-практиков к участию в академической среде. Для успешной модернизации обучения необходимо устранить социально-экономические барьеры – в первую очередь, обеспечить молодых и штатных работников учреждений высшего образования льготным жильем и повысить базовый уровень заработной платы.

Финансовое стимулирование и профессиональное развитие преподавателей требуют внедрения новых механизмов взаимодействия с реальным сектором экономики:

– создание прикладных структур: необходима прямая интеграция выпускающих кафедр со службами Белорусской железной дороги, логистическими и промышленными предприятиями через создание совместных научно-исследовательских структур;

– коммерциализация исследований: выполнение коммерческих и грантовых проектов по заказу бизнеса обеспечит дополнительное финансирование ученых и позволит готовить кадры с учетом современных требований;

– вовлечение молодежи: мотивация молодых инженеров, магистрантов и аспирантов кратно возрастает при участии в реальных хоздоговорных проектах (цифровизация транспортно-логистических узлов, оптимизация работы терминалов) в сравнении с теоретическими изысканиями в абстрактных моделях;

– непрерывное повышение квалификации: профессорско-преподавательский состав и молодые исследователи должны регулярно проходить стажировки на передовых объектах транспорта и в ведущих профильных центрах, включая зарубежные, что обеспечит трансфер актуальных знаний в учебный процесс.

Системное обновление инженерного образования в области железнодорожного транспорта и логистики требует согласованного участия заинтересованных субъектов хозяйствования, а также профильных органов государственного управления – Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь и Министерства образования Республики Беларусь. Реализация предложенного комплекса мер – от интеграции образовательных программ в рамках Союзного государства до повышения практикоориентированности и создания прикладных исследовательских структур – позволит сформировать устойчивую систему подготовки инженеров-железнодорожников нового поколения, готовых к вызовам цифровой экономики и глобальной логистики.

УДК 378.147

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИММЕРСИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ОБУЧЕНИЯ В ПОДГОТОВКЕ ТРАНСПОРТНЫХ КАДРОВ

Е. Н. ЕФРЕМОВА, Ю. М. ЮНЧИЦ
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Быстрое обновление технологий и ужесточение требований к безопасности в транспортной отрасли усиливают нагрузку на систему подготовки кадров, требуя от работников высокой адаптивности и оперативного освоения новых компетенций. Транспортные предприятия сталкиваются с ростом текучести персонала, необходимостью почти мгновенного включения сотрудников в производственные процессы и одновременным соблюдением строгих норм охраны труда. В этих условиях традиционные форматы обучения становятся недостаточно гибкими и экономически эффективными, что создаёт предпосылки для внедрения иммерсивных технологий как безопасного и масштабируемого инструмента подготовки транспортных специалистов.

В контексте подготовки транспортных кадров значимость приобретают иммерсивные технологии, способные трансформировать традиционные подходы к профессиональному обучению. Создание погружающей цифровой среды позволяет будущим специалистам отрабатывать ключевые компетенции в условиях, максимально приближенных к реальным производственным сценариям, но без угрозы для жизни и материальных ресурсов. Возможность моделирования сложных технологических процессов, нестандартных и аварийных ситуаций делает такие решения востребованными в отраслях с повышенным уровнем риска, к которым, безусловно, относится транспортная сфера.

Внедрение программных комплексов на базе виртуальной реальности способствует росту качества подготовки, сокращению времени освоения навыков и оптимизации затрат на обучение персонала. При этом спектр применения иммерсивных симуляторов не ограничивается высокотехнологичными профессиями: они эффективны и для массовых транспортных специальностей. Например, использование симуляторов в подготовке водителей позволяет детально проработать этапы управления транспортным средством, обеспечивая отработку практических элементов вождения [1].

Наряду с ростом качества подготовки и ускорением освоения практических компетенций, критически важным преимуществом иммерсивных технологий выступает их высокий уровень безопасности. В виртуальной среде возможно воспроизведение любых потенциально опасных сценариев без угрозы травматизма, аварий, повреждения техники или остановки производственных процессов.

При этом обеспечивается высокая степень реалистичности моделирования, включая отработку действий при отказах систем, возникновении сложных и аварийных ситуаций, а также реализацию алгоритмов по минимизации последствий чрезвычайных происшествий. Для транспортной отрасли,

где ошибки персонала могут повлечь серьёзные последствия как для сотрудников, так и для инфраструктуры, экологии и общества в целом, такой формат обучения становится стратегическим инструментом снижения кадровых рисков [1].

Следует также заметить, что применение иммерсивных технологий в подготовке транспортных специалистов открывает возможности как для индивидуального, так и для группового взаимодействия обучаемых внутри единой виртуальной среды. Современные платформы такого типа оснащены модулями интеллектуальной аналитики, которые в режиме реального времени фиксируют прогресс каждого сотрудника, регистрируют допущенные ошибки, оценивают скорость реакции и уровень сформированности нужных навыков.

На основе этих данных система автоматически корректирует сложность учебных заданий и формирует персонализированные рекомендации для самого обучаемого и для координатора подготовки, она позволяет оперативно оценивать соответствие текущих компетенций требуемым стандартам для последующей работы. Такой способ обучения способствует росту мотивации и профессиональной уверенности работников, повышает общую эффективность процесса обучения, что довольно важно в условиях дефицита квалифицированных транспортных кадров [2].

Дополнительным преимуществом иммерсивных технологий в подготовке транспортных кадров выступает их высокая гибкость и экономическая эффективность при внедрении в образовательные процессы. Доступ к соответствующим платформам может быть организован круглосуточно, например, через мобильные устройства или с использованием специализированных шлемов виртуальной и дополненной реальности. Это позволяет сотрудникам обучаться в удобное время и в любом месте. Такая возможность существенно снижает затраты, которые связаны с командировками инструкторов, арендой учебных помещений и организацией занятий для работников.

В результате разработка и последующее внедрение специализированных программных комплексов на базе виртуального моделирования становятся масштабной инвестицией и инструментом с относительно быстрым сроком окупаемости. Зачастую система компенсирует расходы на своё приобретение в течение нескольких месяцев за счёт повышения производительности труда, сокращения времени простоя техники, ускорения подготовки персонала и снижения количества ошибок на рабочих местах.

Рассмотрение иммерсивных технологий в роли инструмента подготовки транспортных кадров позволяет трактовать их как комплексное решение, интегрирующее психологические, технологические и экономические компоненты. С одной стороны, эффект погружения задействует несколько каналов восприятия обучаемого, что способствует более эффективному переносу сформированных навыков в реальную производственную среду, одновременно снижая уровень стресса и страха перед ошибками за счёт накопления «естественного» опыта в безопасной среде. С другой же стороны, внедрение таких систем виртуальной реальности предполагает первоначальные инвестиции в оборудование и разработку специализированного контента, адаптированного под конкретные задачи транспортного предприятия, что может создавать барьеры для организаций с ограниченным бюджетом [3].

Тем не менее практическое внедрение иммерсивных технологий в подготовку транспортных кадров сопряжено с рядом проблем, требующих заблаговременного учёта. Среди них можно выделить риски технических сбоев оборудования и программного обеспечения, обусловленные недостаточной проработкой учебных сценариев и специфики транспортной среды, а также возможным несоответствием контента особенностям целевой аудитории (уровень базовых навыков, когнитивные способности, готовность к обучению в цифровой среде). Дополнительно возникает потребность в переподготовке тренеров и методистов для эффективной интеграции новых решений в существующие процессы. Не менее значимы и этические аспекты: психологическая нагрузка от чрезмерно реалистичных симуляций аварийных ситуаций, риск переоценки собственных компетенций после виртуальной отработки, а также вопросы защиты данных о результатах и прогрессе сотрудников.

В завершение следует отметить, что иммерсивные технологии в подготовке кадров стремительно трансформируются в фактически отраслевой стандарт корпоративного обучения. Этот процесс особенно ярко проявляется в условиях ускоренной цифровизации экономики, когда такие системные вызовы, как дефицит специалистов требуемой квалификации и необходимость организации удалённой подготовки, вынуждают предприятия переходить на более новые и технологичные решения для оперативного формирования компетенций без географических и логистических ограничений.

Транспортные компании всё активнее инвестируют в специализированные платформы и симуляторы, стремясь сохранить конкурентоспособность, быстро адаптироваться к новым технологическим требованиям и выстроить модель обучения, позволяющую сотрудникам осваивать навыки без риска для производственных процессов и бюджета. При этом максимальный эффект достигается не за счёт унификации решений, а, наоборот, благодаря уникализации программных комплексов на базе виртуального моделирования и созданию специализированных платформ, учитывающих конкретные запросы и требования транспортных предприятий.

Список литературы

1 **Серхенов, М. Э.** Использование виртуальной реальности для обучения персонала в условиях высокой текучести кадров / М. Э. Серхенов, А. О. Мурадова, Л. Т. Ягшимурадов // Вестник науки. – 2024. – № 5 (74). – С. 1530–1533.

2 **Саенко, И. И.** Система обучения персонала с использованием технологий виртуальной реальности / И. И. Саенко, А. А. Эсеккуева // Деловой вестник предпринимателя. – 2021. – № 4 (6). – С. 113–115.

3 **Орловец, И. И.** Эффективность применения виртуальной реальности для обучения персонала на примере ОАО «РЖД» / И. И. Орловец, С. В. Егоров // Научный Лидер. – 2023. – № 35 (133). – С. 39–40.

УДК 159.9

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПСИХОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАБОТЫ С КАДРОВЫМ РЕЗЕРВОМ РУКОВОДИТЕЛЕЙ ГО «БЕЛОРУССКАЯ ЖЕЛЕЗНАЯ ДОРОГА»

А. Г. ЗЕНКЕВИЧ
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Возросшая интенсивность, интеллектуальность, эмоциональная напряженность современного руководителя, с одной стороны, и требования эффективного функционирования структуры организации, грамотного отбора и расстановки сотрудников, создания эффективных управленческих команд – с другой, привели к тому, что современная управленческая деятельность всё теснее смыкается с научно-психологическими знаниями и, следовательно, будет тем успешней, чем эффективней психологическая наука включается в управленческую практику, в деятельность транспортных систем [1].

В настоящее время психологическое обеспечение предприятия, даже если в нем работает психологическая служба, его размеры и качество во многом зависят от руководителя, а также от того, готов ли психолог к выполнению этой работы, определенных функций и действий.

Под психологическим обеспечением работы с кадровым резервом руководителей предприятия подразумеваются:

– индивидуальная психологическая диагностика работников предприятия;

– индивидуальное психологическое консультирование работников по результатам тестирования и диагностики;

– теоретическая и практическая психологическая подготовка кадрового резерва руководителей;

– психологическое консультирование руководителя структурного подразделения при назначении работника на вакантную должность;

– индивидуальное психологическое сопровождение вновь назначенного на должность руководителя.

Индивидуальная психологическая диагностика работников проводится в целях отбора кандидатов и включения в кадровый резерв. Психологом подбираются методики и методы психологической диагностики, учитывающие критерии, которые позволяют оценить качества кандидатов в кадровый резерв руководителей предприятия (профессиональные и личностные) [2].

Основными и определяющими критериями таких оценок должны быть результаты практической деятельности этих работников и требования к должности, для которой формируется кадровый резерв. Для решения указанной задачи психологу необходимо составить профессиограммы должностей руководителей разных уровней (высшего, среднего, низового).

Данный вид диагностики позволяет изучать индивидуальные психологические особенности работников, определять уровень развития их личных психических свойств и прогнозировать успеш-

ность дальнейшей трудовой деятельности, а также организаторские и руководящие способности кандидатов в кадровый резерв. В результате такой диагностики, а точнее по ее итогам, могут применяться как индивидуальные меры, так и общие.

С помощью определенных методов (самооценки, тестирования, биографического и профессиографического анализа, экспертной оценки) можно оценить качества личности, которые позволят в дальнейшем успешно заниматься профессиональной деятельностью [3].

Индивидуальное психологическое консультирование работников по результатам тестирования и диагностики на практике в рамках психологического обеспечения кадрового резерва применяется очень редко. Однако работники, прошедшие психологическую диагностику, заинтересованы получить информацию о ее результатах.

Только после индивидуальной беседы с каждым кандидатом психолог может аргументированно обсудить его проблемы. Индивидуальные консультации позволяют психологу уточнить, насколько результаты диагностики совпадают с представлениями работника о себе.

Теоретическая и практическая психологическая подготовка кадрового резерва руководителей способствует выработке у работников готовности к успешному преодолению психологических трудностей в должности руководителя, развитию умения применить на практике психологические знания для эффективного выполнения своих обязанностей в любых условиях.

Данное направление психологического обеспечения работы с кадровым резервом руководителей является наиболее продолжительным и важным этапом работы с кадровым резервом, однако его доля в обеспечении составляет лишь 30 % [4].

Психологическое консультирование руководителя структурного подразделения предприятия основано на определенных принципах:

1 Активность руководителя. Консультируемый руководитель должен испытывать потребность в необходимости информации, решить, принимать ее или не принимать, осознать ценность полученной информации.

2 Индивидуальный подход. Каждый кандидат на замещаемую должность рассматривается в индивидуальном порядке, необходимо исходить из его личных интересов и склонностей. Если способности работника не соответствуют требованиям к вакантной должности, следует найти другого кандидата. Психолог в создавшейся ситуации не должен навязывать консультируемому руководителю свои суждения и оценки. Руководитель самостоятельно принимает необходимое решение.

3 Персональная ответственность. Профессиональная компетентность психолога должна быть на высоком уровне, так как к ней предъявляются определенные требования. За адекватность используемых диагностических методов, достоверность постановки диагноза по итогам психологической диагностики, а также дальнейшие коррекционные мероприятия психолог несет персональную ответственность.

Индивидуальное психологическое сопровождение вновь назначенного на должность руководителя предусматривает при назначении кандидата на новую должность процесс адаптации. Этот процесс многогранен как в социально-психологическом, так и в профессиональном плане. Новый руководитель приспосабливается к определенным, установленным на предприятии требованиям, т. е. он постепенно входит в новую должность руководителя и принимает новые профессиональные и социально-экономические условия деятельности руководителя. Основные способы адаптации работника к требованиям трудовой деятельности – привыкание, обучение, формирование индивидуального стиля трудовой деятельности [5].

В процессе адаптации молодой руководитель чувствует неуверенность в своих силах, потребность в советах и поддержке опытных коллег, определенное психическое напряжение, ему не хватает профессиональных навыков.

Во время адаптации молодому руководителю необходимо оказать психологическую помощь:

– в преодолении трудностей при формировании позитивной установки;

– своевременном получении информации о психологическом климате в трудовом коллективе;

– выборе форм и методов индивидуальной воспитательной работы;

– выборе предпочтительного стиля руководства;

– формирования позитивного мнения членов коллектива о личности вновь назначенного руководителя.

Критерии успешности психофизиологической адаптации, следующие:

– комфортное эмоциональное состояние руководителя;

– привыкание к новому режиму труда;

– установление оптимальной работоспособности.

Об успешности вхождения в новую должность руководителя говорит повышение его мотивации при исполнении новых обязанностей и соответствие реальной компетентности требуемой.

Список литературы

1 **Зенкевич, А. Г.** Психологическое обеспечение работы с кадровым резервом руководителей учреждения высшего образования : монография / А. Г. Зенкевич, Т. В. Казак ; М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2024. – 167 с.

2 **Бурлачук, Л. Ф.** Психодиагностика / Л. Ф. Бурлачук. – СПб. : Питер, 2006. – 351 с.

3 **Парсонс, Т.** Социальная система / Т. Парсонс. – М. : Академ. проект, 2018. – 529 с.

4 **Кабаков, В. С.** Кадры хозяйственных руководителей: подбор, расстановка, обучение / В. С. Кабаков, В. Ф. Богачев, А. П. Осипов. – Л. : Лениздат, 1982. – 181 с.

5 Программа профессиональной психологической подготовки сотрудников органов внутренних дел // Сборник нормативных правовых актов и документов, регламентирующих деятельность психологов органов и подразделений внутренних дел. – М. : ГУК МВД России, 2001. – С. 76–81.

УДК 614.8

ОСОБЕННОСТИ ПОДГОТОВКИ ПЕРСОНАЛА ТРАНСПОРТА К ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ, СВЯЗАННЫМ С ТУШЕНИЕМ ГОРЯЩЕГО ЧЕЛОВЕКА

А. М. ИГНАТЬЕВ

Белорусский торгово-экономический университет потребительской кооперации, г. Гомель

Очевидно, что персонал транспорта должен быть подготовлен к возможности возникновения разнообразных чрезвычайных ситуаций и их ликвидации, а безопасность движения на транспорте тесно связана с защитой жизни и здоровья пассажиров. В связи с этим, для принятия правильных решений возникает потребность в постоянной теоретической и практической подготовке персонала к возможным чрезвычайным ситуациям, в том числе связанным с попаданием на пассажира горючих веществ, возгоранием одежды и т. п. Пострадавшим может оказаться и сотрудник транспорта (в результате аварии, террористического акта и т. д.), поэтому необходимо не только быть подготовленным к тушению горящего человека, но и знать методику самотушения.

Потушить горящего человека бывает очень сложно: в случае паники и боли пострадавший может повести себя непредсказуемо. И первым, кто может и должен прийти на помощь, окажется водитель автобуса или проводник вагона. Огнетушителя рядом может и не оказаться, а действовать необходимо будет в считанные секунды. Таким образом, задача обучения персонала транспорта навыкам практического самотушения при попадании легковоспламеняющихся веществ на одежду, а также тушения горящего в панике человека является на сегодняшний день актуальной.

Как показывает практика, наиболее эффективными при тушении горящего человека являются следующие действия:

1) любыми способами сбить и повалить на землю горящего человека. Человек, стоящий вертикально, может получить максимальные и самые болезненные ожоги лица и всего тела. Особенно опасен бегущий человек, так как при беге улучшается «контакт» горящей одежды с кислородом, следовательно, одежда начинает гореть быстрее и с большей теплоотдачей;

2) катать горящего человека по земле (забросать землей, снегом, накрыть плотным материалом).

Если реализация первого пункта не вызывает никаких трудностей, то реализация второго пункта может быть существенно затруднена, а в некоторых случаях и невозможна. В случае паники и боли горящий человек может попытаться встать и побежать. При этом практически всегда промежуточным положением при попытке подняться на ноги является положение «на четвереньках». Когда потерпевший перекатывается, он снова становится в положение «на четвереньках» и продолжает гореть, не имея тесного контакта с землей.

Неблагоприятная ситуация вполне может быть решена в результате интеграции различных стилей и направлений отечественных школ рукопашного боя в специальную подготовку. Приемы, методы и способы подготовки бойцов могут быть успешно использованы при обучении спасателей (персонала транспорта). Например, в [1] рассматривается апробированная методика тушения паникующего горящего человека с помощью базовых движений одной из советских школ рукопашного боя (школа Г. В. Попова «ЧОЙ»).

Идея интеграции элементов единоборств в специальную подготовку спасателя пришла к автору статьи во время многолетнего обучения курсантов МЧС самотушению и тушению горящего человека. Нужны были такие способы тушения горящего паникующего человека, которые могли бы в определенной степени защитить спасателя от возгорания, позволить спасателю работать на «определенном расстоянии» от пострадавшего, исключить дополнительное травмирование пострадавшего во время тушения.

В арсенале школы «ЧОЙ» есть 12 базовых движений рук, 12 базовых движений корпуса и 6 базовых движений ног. Основные движения вышеуказанной школы могут быть успешно использованы при решении разнообразных тактических задач при спасении пострадавших. Культура базовых движений не требует специальной подготовки и может быть освоена за достаточно короткий срок. Методики тушения, созданные на основе симбиоза техники самообороны и основных принципов тушения горящего человека (сбивания и перекатывания), позволяют тушить горящего человека при отсутствии подручных средств (мокрое полотенце, одеяло, брезентовый чехол и т. п.).

Рассмотрим некоторые этапы выполнения тушения горящего человека. Захватив пострадавшего за кисть руки, спасатель двигается по дуге к противоположному плечу пострадавшего, тем самым укладывая его на спину и тушит спину (рисунок 1). Двигаясь назад, спасатель переворачивает пострадавшего на живот, чем достигается тушение передней части горящей одежды (рисунок 2).



Рисунок 1 – Процесс заброса спасателем горящего человека на спину



Рисунок 2 – Укладывание спасателем пострадавшего на живот

Предложенная методика дает возможность не контактировать с горящей одеждой охваченного паникой пострадавшего, плотно укладывать пострадавшего к земле (снегу, полу здания) и достаточно эффективно проводить тушение.

Интеграция в подготовку персонала транспорта элементов рукопашного боя отечественных школ предъявляет повышенные требования к соблюдению правил охраны труда во время практических занятий, что позволит избежать травматизма и ожогов (рисунок 3).



Рисунок 3 - Сопровождение обучаемого на всех этапах проведения практического занятия

Таким образом, интеграция в специальную подготовку различных элементов единоборств и отечественных школ рукопашного боя позволяет значительно расширить возможности тушения горящего человека. Универсальность перемещений и базовых движений позволяет использовать их в различных комбинациях в зависимости от ситуации, а разработанные методики тушения горящего человека могут быть рекомендованы для изучения персоналом транспорта.

Список литературы

1 **Игнатьев, А. М.** Тушение горящего человека с применением спасателем техники базовых движений корпуса / А. М. Игнатьев // Пожежна безпека – 2011 : матеріали X Міжнар. НПК, 17–18 листопада 2011 р. – Х. : НУЦЗ України, 2011. – С. 355–356.

УДК 377.5

ЦЕЛЕВАЯ ПОДГОТОВКА В КОЛЛЕДЖЕ КАК БАЗОВЫЙ ИНСТРУМЕНТ МИНИМИЗАЦИИ ДЕФИЦИТА РАБОЧИХ КАДРОВ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ БЕЛОРУССКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

В. В. КАРПОВИЧ
Брестский колледж – филиал Белорусского государственного университета транспорта

Транспортный комплекс Республики Беларусь и в частности, Белорусская железная дорога, является стратегической артерией экономики, бесперебойная и безопасная работа которой напрямую зависит от укомплектованности квалифицированными рабочими кадрами. Сегодня отрасль сталкивается с вызовами: демографические тренды, конкуренция на рынке труда и повышенные требования к технологической дисциплине. В этих условиях целевая подготовка в учреждениях среднего специального образования (колледжах) становится ключевым элементом системы обеспечения кадровой безопасности. Она позволяет перейти от стихийного набора к гарантированному, прогнозируемому обеспечению предприятий кадрами.

Целевая форма получения образования – это трехсторонний синергетический механизм (колледж – учащийся – предприятие-заказчик), который решает сразу несколько критических задач кадровой безопасности.

1 Прогнозируемость: предприятия Белорусской железной дороги формируют точечный опережающий заказ на 3–4 года вперед с учетом естественного оттока кадров и выхода сотрудников на пенсию.

2 Снижение «кадрового голода» на местах: выпускники-целевики направляются именно в те структурные подразделения, где наблюдается наибольший дефицит рабочих рук.

3 Финансовая и юридическая взаимная ответственность: обязательный срок отработки (не менее 3 лет) гарантирует предприятию стабильное закрепление сотрудника на критически важном начальном этапе его карьеры.

Преимущество целевой подготовки в колледже – это возможность ранней профессиональной социализации учащегося.

1 Адресная практика: все виды производственной практики учащийся проходит непосредственно на том рабочем месте, где ему предстоит трудиться после выпуска. Он заранее изучает конкретное оборудование, технические регламенты и знакомится с будущим коллективом.

2 Темы курсовых проектов: тематика работ целевиков привязывается к реальным производственным задачам и технологическим процессам конкретного предприятия.

3 Дополнительные рабочие профессии: в процессе обучения в колледже целевик гарантированно получает смежные рабочие профессии, востребованные именно на его будущем предприятии.

Для того чтобы целевой прием работал как безупречный инструмент безопасности, необходимо постоянно совершенствовать **механизмы взаимодействия**.

1 Качественный профориентационный отбор: важно привлекать на целевые места мотивированных абитуриентов, понимающих специфику и жесткую дисциплину железнодорожного транспорта. Готовить их нужно со школьной скамьи (транспортные классы, детская железная дорога).

2 Развитие института наставничества: закрепление за учащимся опытного наставника от предприятия еще в период практики значительно снижает процент психологической дезадаптации и последующего желания «откупиться» от отработки.

3 Социальный пакет: мотивация целевиков со стороны Белорусской железной дороги (доплаты к стипендии за успеваемость, гарантии предоставления жилья или компенсации найма, выплаты в рамках коллективного договора) делает это направление привлекательным для лучших выпускников школ.

Вместе с тем практика реализации этого механизма выявила комплекс скрытых противоречий на стыке взаимодействия «абитуриент – колледж – предприятие», что позволяет дифференцировать ключевые проблемы целевой подготовки на четыре блока.

1 Мотивационно-конкурсный дисбаланс. Статистика приемных кампаний последних лет свидетельствует о росте валовых показателей целевого набора. Однако качественные параметры отбора абитуриентов остаются уязвимыми. Нередко заключение целевого договора рассматривается поступающими не как осознанная карьерная траектория, а как преференция для нивелирования низкого балла аттестата. Отсутствие реального конкурса по ряду дефицитных рабочих квалификаций в региональных филиалах вынуждает колледжи зачислять лиц с пороговым уровнем знаний, что негативно сказывается на качестве последующего обучения.

2 Формализм взаимодействия со стороны организаций-заказчиков. Несмотря на законодательно закрепленную обязанность нанимателей осуществлять непрерывный мониторинг процесса обучения, участие многих предприятий ограничивается лишь стадией подписания договора и предоставления мест для прохождения производственной практики. Дополнительные меры материального стимулирования (корпоративные стипендии, компенсации за наем жилья) применяются локально и не носят системного характера, снижая привлекательность длительной обязательной отработки в глазах наиболее успешных учащихся.

3 Проблема долгосрочного прогнозирования. Временной интервал между моментом подачи заявки на целевую подготовку и фактическим выпуском специалиста составляет 3–4 года. В условиях ускоренной модернизации транспортной инфраструктуры, оптимизации штатов и изменения объемов перевозок к моменту выпуска исходная вакансия может быть реорганизована, что порождает юридические коллизии при распределении.

4 Психологический барьер финансовой ответственности. Существенное увеличение объемов финансовых средств, подлежащих возмещению государству в случае отчисления или отказа от отработки, нередко отпугивает талантливую молодежь, стимулируя её поступать по общему конкурсу, что оставляет целевую квоту для наименее подготовленных кандидатов.

С целью повышения эффективности целевой подготовки можно рассмотреть следующие пути решения данных проблем.

1) на этапе заключения договора нанимателям необходимо применять обязательное предварительное профессионально-психологическое тестирование абитуриентов силами ведомственных психологов совместно с приемной комиссией колледжа;

2) использовать новые правовые возможности по согласованию целевого заказа местными исполнительными и распорядительными органами для перераспределения квот внутри регионов в случае изменения конъюнктуры рынка;

3) внедрить гибкую систему корпоративных доплат, напрямую зависящую от успеваемости и успехов целевика в научно-исследовательской работе колледжа.

Целевая подготовка в системе ССО – это не просто квоты на поступление, а фундаментальный инструмент минимизации кадровых рисков. Она позволяет трансформировать образовательный процесс под жесткие стандарты Белорусской железной дороги, обеспечивая предприятия мотиви-

рованными, профессионально адаптированными и дисциплинированными молодыми рабочими. Максимизация эффективности этого механизма – прямой путь к укреплению кадровой и, как следствие, технологической безопасности всего транспортного комплекса страны.

УДК 378.147

ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕРАКТИВНЫХ ОБУЧАЮЩИХ КУРСОВ ПО ИНФОРМАЦИОННЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ ПРИ ПОВЫШЕНИИ КВАЛИФИКАЦИИ РАБОТНИКОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

И. В. КАСПАРОВ
Нижегородский институт путей сообщения, Российская Федерация

Железнодорожный транспорт, как одна из высокотехнологичных отраслей страны, находится в самой активной фазе цифрового развития. Это выражается во внедрении современных информационных технологий во все технологические составляющие отрасли. Для успешного осуществления этого процесса необходима отлаженная система подготовки, повышения квалификации и переподготовки железнодорожных кадров, включающая не только традиционные формы и методы обучения (лекции, семинары, практические занятия), но и современные дистанционные методы обучения. В работе показано, что использование в образовательном процессе комплексного интегрированного метода обучения, включающего интерактивные обучающие курсы по информационным технологиям, повышает ИТ-компетентность персонала, приводит к повышению операционной эффективности, снижает риски безопасности движения и финансовых потерь. Целью данной статьи является разработка интерактивного обучающего курса по информационным технологиям, который эффективно обеспечивает получение и повышение ИТ-компетентности специалистов железнодорожного транспорта.

Актуальность исследования определена следующими факторами:

1) постоянное внедрение новых ИТ-решений для цифровизации железнодорожной отрасли требует соответствующих современных подходов к подготовке кадров;

2) ошибки персонала из-за недостаточной ИТ-компетенции могут привести к катастрофическим последствиям;

3) недостаток свободного времени у железнодорожных работников для очного образования и повышения квалификации вынуждает использовать интерактивные дистанционные курсы обучения, при прохождении которых сотрудники получают необходимую квалификацию, не покидая место основной работы;

4) в современных условиях у сотрудников есть запрос на использование персонализированных и более гибких образовательных технологий.

Научная новизна исследования заключается в разработке и теоретическом обосновании комплексного интегрированного метода обучения в системе подготовки сотрудников железнодорожной отрасли, который органично соединяет модель компетентностного обучения, интерактивные обучающие и контролирующие технологии, принципы информационной безопасности на базе использования передовых технологических и дидактических решений.

Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи.

1 Проанализировать ИТ-компетенции сотрудников железнодорожного транспорта с учетом перспектив развития цифровизации отрасли.

2 Разработать интерактивную дидактическую модель обучающе-контролирующего учебного курса, направленную на понимание принципов работы ИТ-систем и формирование практических навыков.

3 Предложить и обосновать комплекс интерактивных технологий, являющихся основой эффективного обучения сотрудников железнодорожной отрасли с учетом масштабируемости и персонализации организации учебного процесса.

4 Разработать пилотный проект оригинального интерактивного обучающего курса по одному из ключевых ИТ-направлений железнодорожного транспорта.

5 Осуществить опытное внедрение разработанного курса на базе отдела повышения квалификации и переподготовки Нижегородского института путей сообщения (НИПС), оценить его эффективность по соответствующим критериям.

6 Разработать и обосновать практические рекомендации по разработке и внедрению интерактивных ИТ-курсов в систему повышения квалификации и переподготовки работников железнодорожного транспорта.

Теоретическая значимость исследования заключается в обобщении и расширении знаний о дидактических возможностях обучающе-контролирующих интерактивных технологий в послевузовском образовании, разработке методологического аппарата проектирования обучающей среды для работников железнодорожного транспорта, в развитии теории непрерывного образования в условиях цифровизации железнодорожной отрасли.

Практическая значимость работы состоит в создании конкретной модели интерактивного обучающе-контролирующего ИТ-курса, который может быть внедрен в образовательный процесс вуза при повышении квалификации и переподготовке работников Горьковской железной дороги и других компаний ОАО «РЖД». Использование в обучении этого и подобных ему курсов позволит повысить ИТ-компетентность сотрудников, сократить время и стоимость обучения, повысить общую операционную эффективность и безопасность железнодорожного транспорта.

При исследовании использован метод системного подхода к проектированию образовательных систем, адаптированный для условий железнодорожной отрасли.

Существующая система подготовки и повышения квалификации кадров на железнодорожном транспорте основана на традиционных методиках, включающих очные лекции, реальные практические занятия на учебных площадках и полигонах и самостоятельное изучение соответствующих материалов и документов. Такой подход проверен многолетней практикой и имеет свои преимущества: возможность высокой степени контроля, прямого взаимодействия обучающегося с преподавателем, соответствие существующим нормативным требованиям. Однако при таком подходе отмечаются и существенные недостатки:

– пассивное восприятие информации не способствует ее глубокому усвоению, выработке и закреплению практических навыков;

– при отрыве персонала от производства на обучение существуют высокие финансовые, логистические и временные затраты;

– при изменении руководящих документов сложно оперативно изменить содержание учебного материала;

– наблюдается низкая степень адаптивности, так как процесс обучения ориентирован на усредненного обучаемого, не рассчитан на учет индивидуальных особенностей и уровень подготовки обучаемых.

Разработка и внедрение дистанционных электронных курсов при подготовке специалистов в нашей стране осуществляется достаточно давно [1–3], однако для железнодорожной отрасли эти курсы зачастую представляют собой лишь оцифрованные тексты лекций плюс тесты и сохраняют пассивный характер, без использования всего огромного потенциала интерактивных технологий. Кроме того, разработка интерактивных обучающе-контролирующих курсов по работе со специализированными железнодорожными ИТ-системами (АСУТ-Д, ЭРА ГЛОНАСС-Т, цифровые диспетчерские центры и др.) находится на начальном этапе развития, а существующие предложения не интегрированы в единую методологию.

В рамках исследования был разработан прототип обучающе-контролирующего интерактивного курса «Основы кибербезопасности для операционного персонала Горьковской железной дороги» для обучающихся по программе повышения квалификации в НИПС. Курс включает:

– интерактивные модули с игровыми элементами, моделирующие фишинговые атаки на систему и социальную инженерию;

– симулятор работы с типичными угрозами в виртуальной среде автоматизированного рабочего места (АРМ) железнодорожного диспетчера;

– VR-модуль с демонстрацией потенциальных уязвимостей физического доступа к критически важному оборудованию;

– адаптивные тесты, в которых сложность вопросов меняется в зависимости от ответов обучающегося.

Пилотное внедрение разработанного курса было проведено в 2025–2026 годах в ходе прохожде-

ния курсов повышения квалификации в НИПС на выборке из 110 сотрудников различных подразделений Горьковской железной дороги. Анализ полученных результатов показал высокую степень эффективности разработанной методики.

1 Значительное повышение вовлеченности. По результатам опросов, 92 % обучающихся отметили свою высокую вовлеченность в процесс обучения благодаря симуляторам и геймификации. При этом показатель завершаемости курса составил 85 %, что существенно выше средних показателей для традиционных курсов (как правило, не более 65 %).

2 Улучшение усвоения учебного материала. Средний положительный балл по итоговому тестированию в пилотных группах составил 89 %, что на 17 % выше, чем в контрольных группах. Особенно было отмечено улучшение практических навыков: при выполнении имитационных заданий сотрудники железной дороги, прошедшие пилотный курс, показали на 23 % меньше ошибок при выполнении операций с ИТ-системами.

3 Существенное сокращение времени и затрат на обучение. Интерактивный курс позволил сократить время на процесс обучения на 25–30 % за счет индивидуализации обучения и высокой эффективности представления учебного материала.

4 Повышение общей компьютерной грамотности и «кибернетической гигиены». Прохождение курса по кибербезопасности привело к 35%-му снижению числа сообщений от сотрудников о подозрительных электронных письмах, сообщениях, несанкционированных действиях посторонних лиц, что является свидетельством повышения компетентности персонала в ИТ-сфере.

5 Положительная обратная связь. Обучившиеся на курсе положительно отметили возможность обучаться в удобное для себя время и в индивидуальном темпе, высокое качество учебного материала и пользу для своей дальнейшей профессиональной деятельности.

Результаты пилотной апробации интерактивного обучающе-контролирующего курса, разработанного на основе современных дидактических принципов, показали возможность значительного повышения уровня ИТ-подготовки сотрудников железнодорожного транспорта. Однако при подготовке и применении курса в учебном процессе были выявлены и некоторые проблемные вопросы: существенные затраты на первоначальную разработку или приобретение программного обеспечения, необходимость постоянного контакта с ИТ-специалистами для поддержания необходимой технической инфраструктуры и рабочих станций для VR/AR, наличие стабильного высокоскоростного интернет-соединения, постоянное внимание вопросам информационной безопасности обучающей среды.

Дальнейшие исследования будут направлены на масштабирование предложенного решения, доработку механизма своевременного автоматического обновления учебного контента, интеграцию с общей системой оценки повышения производительности труда в железнодорожной отрасли.

Проведенное исследование подтвердило высокую эффективность использования в образовательном процессе интерактивных обучающе-контролирующих курсов по информационным технологиям для повышения информационной грамотности персонала, эффективности функционирования железнодорожного транспорта и повышения безопасности эксплуатации и движения поездов.

Список литературы

1 **Постолит, А. В.** Цифровая трансформации образования на базе интерактивных обучающих технологий / А. В. Постолит // Современные информационные технологии и ИТ-образование. – 2023. – Т. 19, № 1. – С. 152–162. – DOI: 10.25559/SITITO.019.202301.152-162.

2 **Белова, Н. Е.** Электронный управляемый курс как инструмент информационной и интерактивной поддержки реализации учебной дисциплины / Н. Е. Белова // Традиции и инновации в методике преподавания гуманитарных дисциплин : сб. ст. участников Всерос. науч.-практ. конф., Арзамас, 20–21 апр. 2023 г. – Арзамас : ННГУ им. Н. И. Лобачевского, 2023. – С. 117–121.

3 **Галяев, В. С.** Модульное формирование обучающего курса по информационной безопасности с применением дистанционных образовательных технологий / В. С. Галяев, З. А. Гасанова, Ц. Г. Шарифова // Информатизация образования и методика электронного обучения: цифровые технологии в образовании : материалы VIII Междунар. науч. конф. В 4 ч., Красноярск, 24–27 сент. 2024 г. – Красноярск : КГПУ им. В. П. Астафьева, 2024. – С. 98–102.

УДК 378.14:331.108.2

УПРАВЛЕНИЕ ИЗМЕНЕНИЯМИ В РЕГИОНАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ ПОДГОТОВКИ ИНЖЕНЕРНЫХ КАДРОВ: ИНСТРУМЕНТЫ ИНТЕГРАЦИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СРЕДЫ

Н. А. КЕКИШ
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Современное экономическое развитие регионов определяется способностью ключевых отраслей к технологическому обновлению. Для транспортно-строительного комплекса (ТСК) критически важны инженерно-научные кадры, способные работать с цифровыми технологиями. Однако традиционная модель «вуз – предприятие» перестала отвечать скорости изменений. Возникает противоречие между потребностью региональной экономики в качественных инженерных кадрах и неспособностью существующей системы обеспечить их воспроизводство и закрепление. Как отмечается в исследовании, централизованная модель управления кадровым потенциалом региона «сверху вниз» в современных институциональных условиях утрачивает эффективность и скорость реакции на изменения на локальных рынках труда [1]. Цель работы – предложить механизм управления изменениями, основанный на интеграции образовательной и производственной среды через создание отраслевого центра компетенций и цифровой экосистемы профориентации.

Основная идея состоит в том, чтобы перейти от разрозненных мероприятий (отдельные договоры вуза с предприятиями, эпизодические экскурсии, формальные целевые наборы) к построению региональной экосистемы полного цикла. Её ядром должен стать Отраслевой центр компетенций (ОЦК) на базе расположенного в регионе профильного транспортно-строительного вуза. ОЦК не дублирует учебный процесс, а становится точкой интеграции интересов бизнеса, образования, науки и власти. Вокруг него выстраиваются цифровые сервисы профориентации, проектно-ориентированное обучение, целевая контрактная подготовка и система закрепления кадров.

Почему ОЦК, а не межвузовский центр? Сетевая форма обучения и межвузовские центры решают задачу академической кооперации: обмен программами, мобильность студентов, совместные исследования. Межвузовский центр ориентирован «горизонтально» – на интеграцию образовательных ресурсов разных вузов. ОЦК ориентирован «вертикально» – на интеграцию образования с конкретной отраслью. Его преимущества принципиальны. Во-первых, фокус на потребности региона и ТСК: ОЦК изучает запросы местных предприятий и под них выстраивает подготовку, переподготовку и НИОКР. Во-вторых, работодатели становятся не внешними партнёрами, а соучредителями, заказчиками и бенефициарами: они участвуют в формировании программ, оснащении лабораторий именно тем оборудованием, которое стоит на производствах, в оценке квалификаций. В-третьих, в основе ОЦК лежит практикоориентированность и замкнутый цикл: запрос от производства → НИР в ОЦК → внедрение на предприятии → корректировка учебных программ. Как показывает анализ, создание отраслевого центра компетенций позволяет формировать, тиражировать и развивать современные компетенции, объединяя образовательные учреждения и предприятия [2]. В-четвёртых, формат ОЦК дает гибкость управления: совет ОЦК включает представителей вуза, ведущих предприятий и региональной администрации, что ускоряет принятие решений. В-пятых, концентрация ресурсов на ключевой отрасли позволяет достичь критической массы и прямого вклада в экономику: показатель эффективности ОЦК – это число трудоустроенных в регионе специалистов, внедрённых разработок и рост производительности у организаций-партнёров.

Реализация предлагаемой схемы предполагает интеграцию трех базовых инструментов: цифровой системы профориентации, проектно-ориентированного обучения и целевой контрактной подготовки с расширенным социальным пакетом.

Инструмент 1 – Цифровая экосистема профориентации и вовлечения талантов. Проблема входа в инженерные профессии начинается со школы. Лучшие выпускники часто не рассматривают региональный ТСК как престижную траекторию и уезжают в столичные вузы. Решение – непрерывная цифровая среда, сопровождающая ученика с 7–8 класса до трудоустройства. Она включает: онлайн-диагностику склонностей к инженерному мышлению, математике, физике; цифровое портфолио ученика; виртуальные и живые экскурсии на ключевые стройки и транспортные объекты ре-

гиона; онлайн-симуляторы («Управляй стройкой», «Проложи дорогу»); инженерные квизы и хакатоны. Ядром становится платформа «Региональный инженерный Олимп»: единая база профориентационных мероприятий, личный кабинет с индивидуальной траекторией, чат с наставниками – студентами старших курсов и молодыми инженерами. Дополняют систему цифровые профильные классы, где лабораторные работы выполняются удалённо на оборудовании ОЦК, а лекции читают преподаватели вуза и практики. ОЦК выступает методическим штабом: здесь разрабатываются образовательные продукты, симуляторы и контент, а студенты, преподаватели, специалисты отрасли становятся наставниками школьников. Цель – не просто рассказать о профессии, а дать попробовать её в действии и закрепить интерес в регионе.

Инструмент 2 – Проектно-ориентированное обучение. В вузе происходит переход от абстрактных курсовых к решению реальных производственных задач. Предприятия ТСК формируют «банк кейсов»: оптимизация логистики стройплощадки, снижение себестоимости материалов, диагностика дорожного покрытия. Над кейсом работают междисциплинарные студенческие команды (строители, логисты, экономисты, IT-специалисты). За каждой командой закреплён преподаватель и консультант-практик. Студенты получают практический опыт и управленческие навыки, работодатели видят потенциал будущих сотрудников и получают прототипы решений, вуз повышает релевантность образования. Это создаёт естественный кадровый резерв: лучшие студенты попадают в поле зрения предприятий задолго до выпуска.

Инструмент 3 – Целевая контрактная подготовка с расширенным социальным пакетом. Традиционная система «целевиков» часто воспринимается как обязательство без выгод. Новая модель – это социальный и профессиональный лифт. Студент получает повышенную стипендию от предприятия, оплачиваемые практики, участие в реальных проектах, возможность карьерного роста ещё до выпуска, поддержку в жилищном вопросе. Предприятие получает гарантированного специалиста, адаптированного к его технологиям. Регион снижает миграционный отток. Обязательство отработки становится не наказанием, а осознанным выбором, подкреплённым выгодами.

Все инструменты должны быть связаны бесшовной цифровой средой, единой интегрированной цифровой платформой управления талантами. Школьник, проявивший способности, через платформу профориентации попадает в профильный кружок на базе ОЦК, затем в вуз. Его цифровое портфолио переходит в вуз. Как студент он участвует в проектных командах, попадает в кадровый резерв предприятия, ещё в школе получает предложение о целевом договоре. Региональная администрация и предприятия видят сквозную аналитику: от числа школьников, прошедших диагностику, до количества трудоустроенных молодых специалистов. Это позволяет точно планировать бюджет на цели профориентации, повышения качества образования и закрепление молодых специалистов и корректировать кадровую политику в реальном времени.

В качестве краткосрочных ожидаемых эффектов планируется рост числа мотивированных абитуриентов из региона, повышение среднего балла поступающих, снижение издержек предприятий на поиск и адаптацию выпускников, приток внебюджетного финансирования в вуз. В более дальней перспективе видится повышение производительности труда в ТСК, закрепление талантов в регионе, рост человеческого капитала и инвестиционной привлекательности территории. Предложенная система представляет собой цифровую экосистему полного цикла, где Отраслевой центр компетенций выступает ядром, а цифровые сервисы профориентации, проектного обучения и целевой подготовки – инструментами управления изменениями. Такой подход превращает региональную систему подготовки инженерных кадров из затратной в инвестиционную, работающую на экономическое развитие региона.

Список литературы

1 **Жукова, В. С.** Модель управления кадровым потенциалом региона как инструмент устойчивого развития социально-экономической системы / В. С. Жукова // Цифровая экономика и инновации. – 2025. – № 2. – С. 5–15. – DOI: 10.18323/3034-2074-2025-2-61-1.

2 **Антипова, О. И.** Разработка модели отраслевого центра компетенций для организаций / О. И. Антипова // Известия Самарского научного центра РАН. – 2024. – Т. 26, № 3. – С. 117–121. – DOI: 10.37313/1990-5378-2024-26-3-117-121.

УДК 37.01:378.046.4

ИННОВАЦИОННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ФИЛОСОФСКО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ БУДУЩИХ СПЕЦИАЛИСТОВ В РАМКАХ МАГИСТРАТУРЫ

Е. Г. КИРИЧЕНКО
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

В современной ситуации роль и значение философско-методологической подготовки магистрантов и аспирантов, будущих специалистов возрастает. Это определяется комплексом объективных процессов, происходящих в обществе в начале XXI века. Мы живем в переломный период цивилизационного развития, характеризующийся радикальной переоценкой ценностей и мировоззренческих оснований деятельности. Изменения затрагивают все сферы общественного бытия: от экономики и политики до духовной культуры. Развитие новых технологий радикально меняет место и роль человека в информационном обществе. Знаково-коммуникативная система, способ производства информации становятся базовыми и формируют новый тип человека и общества. Онлайн-бытие приобретает приоритетный статус среди других форм существования современного человека. Погружаясь в реальность, которую сам же сконструировал, человек всё меньше рефлексирует. Стирание грани между реальностью и псевдореальностью, истинным и ложным приводит к массовому распространению в культуре цифровой цивилизации различного рода фейков, мифов и симулякров, всякого рода иллюзорных образов, моделирующих реальность. Новая информационная организация общества создает благоприятные условия для манипулирования сознанием человека и дезориентации его в многообразии смысловых структур современности.

Глобализация мирового развития, возникновение центров региональной напряженности, феномен массовизации культуры и становление виртуальных моделей жизни сознания – всё это актуализирует проблемы философско-мировоззренческого и логико-методологического уровня. Современное образование должно соответствовать новому типу цивилизационного развития и ориентироваться на будущее. В рамках новой парадигмы высшего образования, принятой в Республике Беларусь, предусматривается как раз реализация модели инновационного образования, переход к двухступенчатой системе образования, усиление профессиональной и фундаментальной подготовки, внедрение концепций «Университет 4.0», «Цифровой университет».

Нарастание новых цивилизационных вызовов и рисков требует в условиях цифрового общества постоянно вносить изменения в национальную модель инновационного образования. Концепция гуманитаризации образования как раз и нацелена на подготовку специалистов нового типа, обладающих гуманистическим мировоззрением, системным и инновационным мышлением.

В условиях цифровизации и всё возрастающей сложности социальных процессов профессиональная деятельность будущего инженера перестает быть сугубо технической и приобретает мировоззренческую, ценностно-этическую размерность. Современный профессионал, представитель любой специальности – должен обладать не только сугубо специальными компетенциями, но и широким кругозором, способностью критически осмысливать происходящие процессы, принимать решения, учитывая долгосрочные последствия. Именно философская культура позволяет специалисту преодолеть ограниченность узкопрофессионального мышления, выработать систему ценностных принципов, помогающих в сложных ситуациях принимать нестандартные решения не под влиянием стереотипов и шаблонов.

В условиях современного информационного общества технократическая, прагматическая направленность образования должна быть соотнесена с культурными духовно-нравственными ценностями общества. Именно философия как ценностный способ освоения мира помогает формировать мировоззренческую культуру человека, участвует в разработке новой гуманистической парадигмы мирового развития, соответствующей современному этапу цивилизационного цикла.

Курс «Философия и методология науки» ориентирован как раз на задачи философско-методологического обеспечения научно-профессиональной деятельности аспирантов, магистрантов, будущих специалистов.

Структурно-содержательная модель курса предусматривает следующие компоненты: лекцион-

ный материал, практикум, написание реферата, сдача зачета и кандидатского экзамена. Содержание и структура курса ориентируют магистрантов, аспирантов и соискателей на самостоятельное и глубокое освоение богатства мировой философской мысли в диалоговой форме с преподавателями и автором философского произведения; на выбор адекватных личности форм и способов философствования в поле современной гуманитарной культуры, на расширение сознания личности, на глубинное осмысление в антропокультурологическом контексте «вечных» проблем бытия, человека, общества, познания, деятельности, ценностей и др., а также индивидуально-личностных проблем существования в современном сложном и противоречивом мире, развитие способности, навыков и умений гуманитарной и социальной экспертизы собственных научно-исследовательских изысканий в области научной и профессиональной деятельности соискателей.

Итогом магистерской подготовки является написание реферата и сдача кандидатского экзамена по философии и методологии науки. Цель данного экзамена – оценка уровня философско-методологической культуры магистрантов, аспирантов и соискателей. Сдающий кандидатский экзамен должен уметь охарактеризовать роль философии в системе культуры и в формировании цивилизационной стратегии развития, владеть основными положениями и категориями философского знания, знать основные персоналии философии, анализировать исторические стили философствования, концептуальные модели философско-методологического анализа науки, методологию междисциплинарных и трансдисциплинарных направлений современной науки, философско-мировоззренческие проблемы в контексте ценностей современной цивилизации и, самое главное, продемонстрировать способности философской рефлексии.

В преподавании дисциплины «Философия и методология науки» [2] широко используется комплекс инновационных методов (технологий) обучения: деловые игры, кейс-технологии, групповые дискуссии, коллоквиумы, конференции, дебаты, электронные презентации, метод «перевернутого класса» (предварительное самостоятельное изучение теории с последующим разбором сложных вопросов на практике), проектное обучение. Применение этих современных образовательных технологий способствует формированию критического, креативного мышления в профессиональной деятельности, а также приобретению коммуникативных навыков, опыта самостоятельного разрешения социальных ситуаций и проблем.

Преподавание дисциплины «Философия и методология науки» в современном техническом университете имеет свою специфику и ярко выраженную практико-ориентированную направленность. С учетом профиля университета в содержание учебной программы внесены соответствующие разделы: «Философия естествознания» и «Философия техники». Отдельно разработаны практические модули для магистрантов экономических и транспортных специальностей, специальностей «Системы и сети инфокоммуникаций», «Автоматизация», «Инновационные технологии в машиностроении» и «Строительство»: коллоквиумы «Философия инновационной экономики», «Философия бизнеса», «Феноменология транспорта», «Инновационно-компьютерная революция», «Инновации и инновационная деятельность».

Особый акцент делается на активизации самостоятельной творческой работы магистрантов с учетом профиля выполняемых диссертационных исследований.

«Благодаря философской культуре у специалиста формируется способность к системному видению мировых процессов, что является важнейшим условием высокого уровня профессионализма. Философия способствует формированию культуры творческого мышления, целостной картины мира и гуманистических ориентиров деятельности, направленных на преодоление узкотехнократической модели мирового развития. Поэтому отечественную университетскую традицию изучения курса философии следует сохранить и далее совершенствовать с учетом запросов современного общества» [1, с. 44].

Список литературы

1 **Кириченко, Е. Г.** Философия и вызовы цифровой цивилизации / Е. Г. Кириченко // Многомерность и полифункциональность культуры : сб. науч. ст. / В. Н. Калмыков (гл. ред.) [и др.]. – Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2020. – С. 40–44.

2 **Кириченко, Е. Г.** Философия и методология науки : учеб.-метод. пособие / Е. Г. Кириченко. – Гомель : БелГУТ, 2024. – 63 с.

УДК 629.4.018

АНАЛИЗ ТЕНДЕНЦИЙ РАЗВИТИЯ ОБРАЗОВАНИЯ НА ОСНОВЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ ДАННЫХ О ПОДГОТОВКЕ КАДРОВ

И. В. КОВРИГИНА
Забайкальский институт железнодорожного транспорта – филиал Иркутского государственного университета путей сообщения, г. Чита, Российская Федерация
Р. С. БОЛЬШАКОВ
Иркутский государственный университет путей сообщения, Российская Федерация

Кадровый потенциал отрасли – залог обеспечения безопасности при эксплуатации объектов железнодорожного транспорта, выполнения долгосрочных стратегических целей и задач развития холдинга и экономической эффективности использования существующих технических средств обеспечения движения поездов [1–4]. Для этого необходима детализированная оценка качества подготовки специалистов транспортной отрасли [5, 6].

Учебные заведения, занимающиеся подготовкой кадров для транспортной отрасли, должны готовить специалистов широкого профиля. Учитывая то, что выпускники могут работать на ремонтных или эксплуатационных предприятиях, необходимо обеспечить подготовку таких специалистов несмотря на сокращение учебных часов в транспортных вузах [5].

Для оценки уровня знаний работников железнодорожного транспорта проведён анализ уровня профессиональной подготовки в зависимости от занимаемой должности и стажа работы. Диаграмма уровня знаний работников в зависимости от стажа работы представлена на рисунок 1.

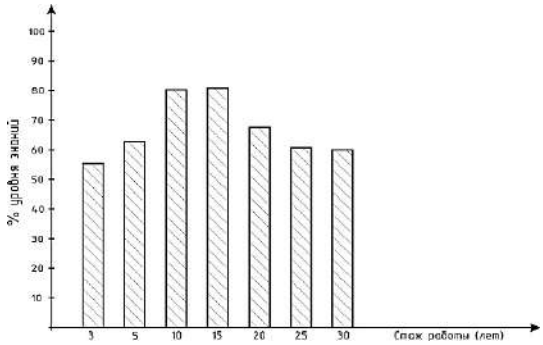


Рисунок 1 – Распределение показателя уровня знаний работников в зависимости от стажа работы

Анализ рассматриваемой диаграммы показывает повышение уровня знаний в период от принятия сотрудника на работу и до 15 лет рабочего стажа. В дальнейшем уровень знаний снижается, что говорит о следующем достижении определённого уровня квалификации инициирует веру в незыблемость своих знаний. Это делает повышение их уровня малозначимым для работников [5]. Следующим шагом является построение диаграммы огивы Гальтона для определения закона распределения случайной величины (рисунок 2).

а) *б)*

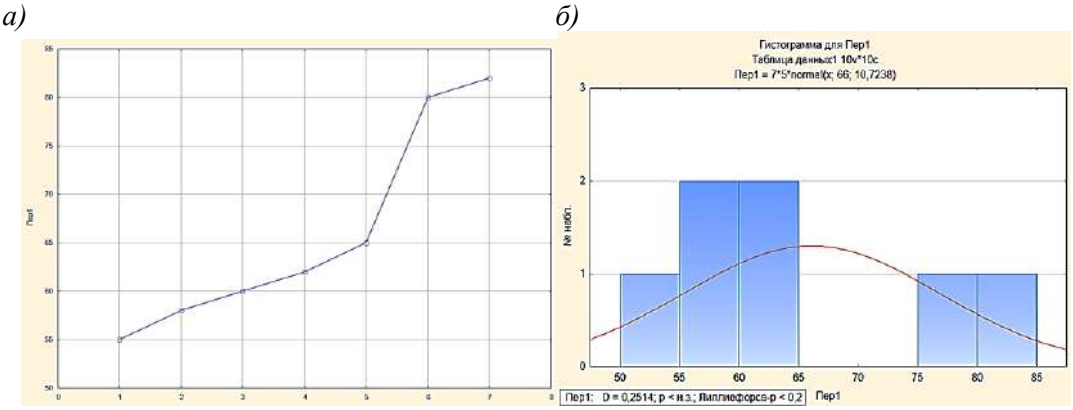


Рисунок 2 – Диаграмма огивы Гальтона (*а*) и гистограмма (*б*) распределения случайной величины

Оценка полученной диаграммы показывает плавный уровень изменения значений от меньшего к большему, что свидетельствует о наличии нормального закона распределения. Далее необходимо построить гистограмму для проверки по критерию Колмогорова (см. рисунок 2, *б*).

Значение *D* показывает соответствие критерию Колмогорова. Далее необходимо провести анализ распределения основных статических параметров случайной величины (средневзвешенная $M(X)$, среднеквадратичное отклонение δ). Средневзвешенную $M(X)$ необходимо повышать при помощи пересмотра технологии как обучения в университете, так и при повышении квалификации на предприятии. Причём уровень знаний должен повышаться как практическом аспекте, так и фундаментальном направлении. Также необходимо проведение занятий в небольших группах.

Таким образом, проведённый анализ показывает тенденцию уменьшения уровня знаний, усвоенных выпускниками транспортной отрасли. Показано, что большой стаж работы не обязательно положительно влияет на общий уровень профессиональных компетенций. Нужно отметить, что уровень владения профессиональными знаниями подчиняется нормальному закону распределения случайной величины.

Список литературы

1 **Доренко, К. С.** Современные тенденции и направления развития высшего образования в России / К. С. Доренко, Н. Н. Морозова // Образование и право. – 2023. – № 8. – С. 431–438.

2 **Амиров, Р. А.** Стратегия развития высшего образования в России / Р. А. Амиров // Вестник НГИЭИ. – 2019. – № 8 (99). – С. 105–117.

3 **Гаврилова, Н. М.** Кадровая инфраструктура национальной инновационной системы: проблемы и перспективы развития / Н. М. Гаврилова // Финансовая аналитика: проблемы и решения. – 2015. – № 9 (243). – С. 23–35.

4 **Богданова, И. И.** Отмена болонской системы: проблемы и перспективы высшего образования в России / И. И. Богданова // Актуальные проблемы педагогики и психологии. – 2022. – Т. 3, № 8. – С. 431–438.

5 **Иванова, Т. В**. Прогнозирование числа отказов грузовых вагонов в межремонтном периоде на основе статистической оценки / Т. В. Иванова, В. А. Рудаков, И. В. Ковригина // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2023. – № 3(79). – С. 159-170. – DOI: 10.26731/1813-9108.2023.3(79).159-170.

6 **Ковригина, И. В.** Влияние современного высшего образования на подготовку специалистов для транспортной отрасли / И. В. Ковригина, Р. С. Большаков // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2026. – № 1 (249). – С. 64–71. – DOI: 10.25198/1814-6457-249-64. – EDN ZVDSGR.

УДК 378.1:004

ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ: БАЛАНС МЕЖДУ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ДОСТУПНОСТЬЮ И ЗАЩИТОЙ АКАДЕМИЧЕСКОГО ФУНДАМЕНТА

А. В. КРАВЧЕНКО
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Высшее образование исторически несет миссию не просто ретрансляции прикладных навыков, а формирования системного научного мировоззрения и фундаментальной исследовательской культуры.

Классическое отличие университетского образования от среднего профессионального и курсов переподготовки заключается в его ориентированности на формирование мышления, исследовательской рефлексии и глубокого теоретического базиса. Высшая школа готовит не просто пользователя технологий, а разработчика, исследователя и проектировщика, способного принимать ответственные решения в условиях высокой неопределенности.

Развитие EdTech, т. е. симбиоз IT-решений и педагогических методик, расширение платформ адаптивного обучения и инструментария генеративного искусственного интеллекта поставили высшую школу перед сложнейшим институциональным вызовом. С одной стороны, технологии открыли небывалые горизонты для образования, с другой – привели к кризису высшего образования: если готовую аннотацию статьи, код программы или финансовую модель предприятия может сгенерировать нейросеть, то в чем заключается сущность подготовки специалиста?

Внедрение цифровых сервисов в высшей школе принесло ощутимый дидактический и организационный эффект:

– демократизация научной информации: интеграция LMS-платформ с международными и национальными наукометрическими базами данных обеспечила студентам мгновенный доступ к актуальным исследованиям, актуальной информации;

– симуляционное проектирование и эксперимент: использование виртуальных полигонов, цифровых двойников и профессионального инженерно-экономического программного обеспечения позволяет студентам еще до выпуска моделировать системы, ситуации;

– трансформация роли преподавателя: освобождение профессорско-преподавательского состава от рутинной проверки типовых тестов сместило вектор университетского преподавания в сторону научного руководства и наставничества.

Приоритет инструментального обучения над фундаментальным создает серьезные угрозы для высшей школы.

1 Деградация научно-исследовательской работы студентов (НИРС) и курсового проектирования. Массовое использование генеративных нейросетей приводит к формализации работ, отсутствию необходимости думать, размышлять, сортировать информацию, выбирать актуальные данные. Вместо глубокого анализа научных дискуссий и работы с первоисточниками студенты нередко предоставляют синтаксически грамотные, но содержательно поверхностные, зачастую искаженные данные ИИ.

2 Синдром «интеллектуальной инфантилизации» и утрата академического чтения. Научный текст требует особого типа внимания – медленного, критического, контекстного. Вузовская практика фиксирует снижение способности студентов старших курсов удерживать логику длинных теоретических доказательств, анализировать нормативно-правовую базу, своевременно реагировать на изменения.

3 Формирование поверхностного инжиниринга и экономики, так называемый «эффект черного ящика». Молодые специалисты различных направлений, привыкшие доверять результатам расчетов в специализированных программах, ИИ без понимания их трактовки, динамики, взаимосвязи показателей, теряют способность верифицировать результаты и выявлять системные сбои программного обеспечения, вносить исправления.

Таблица 1 – **Трансформация академических процессов в высшей школе под влиянием цифровизации**

Академический процесс	Традиционная вузовская модель	Угрозы неконтролируемой цифровизации	Модель академической устойчивости
Работа с научной информацией	Глубокий анализ источников, законодательных, нормативных документов, данных официальных источников	Пассивный подбор данных с применением ИИ	Симбиоз ИИ для первичного поиска, подсказки и обязательный критический разбор оригинала с формированием выводов
Решение профильных задач	Навыки применения формул, ручная обработка данных	Отсутствие навыка обработки, замена его на умения формировать обращение к ИИ	Принцип чистого листа
Аттестация и выпускные квалификационные работы	Оценка навыков и умения исходя из требований и компетенций	Отсутствие индивидуальности мнения, размышлений, доказательной базы	Защита методологии, устный диалог, решение кейсов реального времени, ситуационных задач

Для сохранения качества высшего образования и обеспечения кадрового потенциала, качества необходима конфигурирование образовательного процесса по следующим направлениям.

1 Внедрение методологии «White-box machine learning», т. е. подхода к созданию моделей искусственного интеллекта, которые отличаются прозрачностью и интерпретируемостью. В отличие от «чёрного ящика» такие модели позволяют напрямую изучать и понимать процесс принятия решений.

2 Обучение с открытым алгоритмом: на младших курсах сохраняется приоритет фундаментальных дисциплин и основ специализации. На старшем курсе уделяется внимание специализированным программным оболочкам и возможностям ИИ в специальности.

3 Выпускные квалификационные работы должны базироваться на аргументированных выводах, подкрепленных самостоятельными, ручными расчетами, построением алгоритма обработки результата и с последующей защитой в большей части результатов и разработки управленческого решения.

4 Развитие критического мышления: введение в учебные планы всех направлений обязательных модулей по критическому анализу данных, например, данные официальных источников, авторских подходов сравниваются с «работой» ИИ.

Резюмируя, отметим, что цифровизация высшей школы – неизбежный и объективный процесс, открывающий масштабные возможности для развития науки и образования. Однако технологии должны выступать толчком мыслительного процесса, но ни в коем случае не его заменой. Сохранение методик образования, научный подход, аттестация, требовательность к знаниям – единственный способ для высшей школы продолжить выполнение миссии – подготовка высококлассных специалистов в различных отраслях.

Список литературы

1 **Асмолов, А. Г.** Цифровая трансформация школы и университета: от технологического оптимизма к антропологическому повороту / А. Г. Асмолов // Вопросы образования. – 2023. – № 4. – С. 12–38.

2 **Захарова У. С.** Использование ИИ в академическом письме: вызовы для оценки квалификации студентов / У. С. Захарова, К. И. Танасенко // Высшее образование в России. – 2024. – № 2. – С. 45–62.

3 **Строгецкая, Е. В.** Институциональная миссия университета в контексте цифровизации культуры / Е. В. Строгецка // Вестник СПбГУ. Серия 17. Философия. Конфликтология. Культурология. – 2021. – С. 412–425.

УДК 378.016:81.276.6

ТЕРМИНОЛОГИЯ НА ЗАНЯТИЯХ ПО ИНОСТРАННОМУ ЯЗЫКУ В ТРАНСПОРТНОМ ВУЗЕ КАК ВАЖНЫЙ ФАКТОР ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ НА ТРАНСПОРТЕ

М. Н. ЛИПСКАЯ, Н. В. КУЛАЖЕНКО
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Безопасность на транспорте традиционно рассматривается как техническая, организационная и правовая категория. Однако существует аспект, который часто остаётся вне поля зрения исследователей, – лингвистический. Транспортная отрасль оперирует сложной системой терминов, обозначающих технические устройства, технологические процессы, нормативные требования и процедуры контроля. Точность понимания и употребления этих терминов непосредственно влияет на качество профессиональной коммуникации, а значит, на безопасность перевозок.

Ошибка в переводе или понимании термина может привести к неверной интерпретации технической документации, нарушению регламента обслуживания или сбою в координации между диспетчерскими службами. В условиях международных перевозок и мультиязычных экипажей эта проблема приобретает особую остроту. Систематическая работа с терминологией на занятиях по иностранному языку и русскому языку как иностранному (РКИ) в транспортном вузе является не только элементом языковой подготовки, но и фактором, обеспечивающим профессиональную безопасность.

Терминологическая компетенция включает способность распознавать термин в тексте, понимать его значение в данной предметной области, правильно употреблять его в устной и письменной речи, а также соотносить с эквивалентами в другом языке (при необходимости). Для транспортных специальностей этот набор дополняется умением работать с аббревиатурами (например, АБС – антиблокировочная система, *GPS* – глобальная система позиционирования) и стандартизированными формулировками.

Как отмечается в научных исследованиях, основная трудность обучения РКИ в транспортном вузе связана с отсутствием достаточного количества учебных пособий, ориентированных на конкретное направление подготовки [1]. Преподаватель вынужден самостоятельно отбирать текстовый материал и формировать понятийно-категориальный аппарат, согласовывая его с содержанием специальных дисциплин.

Специфика транспортной терминологии заключается в её высокой степени интернационализации (многие термины заимствованы из английского или имеют латинские корни), но одновременно – в наличии национальных стандартов и нормативных документов, где термины закреплены в

определённой формулировке. Обучение должно учитывать оба этих фактора.

На занятиях по английскому языку в транспортном вузе сначала студенты осваивают базовую транспортную лексику (*vehicle, freight, infrastructure, safety*), затем переходят к более узким терминосистемам (*multimodal transportation, intermodal terminal, hazardous cargo*). Эффективной представляется следующий порядок заданий.

Предтекстовый этап: студентам предлагается список терминов с дефинициями на английском языке и задание соотнести термин с определением. Например:

Congestion – a situation in which a place is crowded, especially with traffic.

Infrastructure – the basic systems and services that a country or organization uses.

Freight – goods transported in bulk by truck, train, ship, or aircraft.

Такое задание формирует точное понимание значения до работы с текстом и снимает трудности при чтении [5].

Текстовый этап: работа с аутентичным текстом транспортной тематики (например, о транспортной политике России и Европы) сопровождается заданиями на поиск терминов, установление соответствий и заполнение пропусков [5]. Например:

Complete the sentences using the words from the box: emissions, infrastructure, congestion, freight, track.

1 Railways are often used to carry large amounts of _____.

2 GPS technology allows logistics companies to _____ their cargo.

3 Public transport can help reduce traffic _____ in large cities.

Послетекстовый этап: студенты составляют собственные высказывания с использованием изученных терминов: описывают схему мультимодальной перевозки, объясняют назначение системы контроля, формулируют правила безопасности. На этом этапе важна не только лексическая точность, но и коммуникативная уместность.

Для иностранных студентов, обучающихся в транспортном вузе, русский язык выступает одновременно как средство повседневной коммуникации и как язык специальности. Это создаёт дополнительные сложности: студент должен не только понимать термины, но и уметь строить на их основе научные и профессиональные высказывания.

Опыт преподавания РКИ в транспортных вузах показывает, что работа с терминологией должна быть интегрирована в изучение научного стиля речи [1]. Например, при изучении лекционных материалов по теме «Оценка деятельности автотранспорта» студенты работают с терминами *себестоимость перевозок, производственные фонды, оборотные средства, нормирование, тарифообразование* [5].

Типовая структура работы включает:

1) объяснение значения термина через дефиницию, синоним, антоним или контекст;

2) упражнения на сочетаемость – составление словосочетаний с термином (*развивать транспортную инфраструктуру, перемещать грузы, регулировать транспортные потоки*) [5];

3) работу с текстом по специальности – чтение, анализ терминологической насыщенности, выделение ключевых понятий;

4) подготовку сообщения или презентации с обязательным использованием изученных терминов.

Особое внимание уделяется терминам, которые могут вызвать ложные ассоциации у иностранных студентов. Например, русское *«водитель»* не эквивалентно английскому *driver* в полном объёме (в русском языке существует также *«машинист»* для железнодорожного транспорта). Подобные случаи требуют сопоставительного анализа и объяснения на родном языке студентов.

Ключевым условием успешного обучения терминологии является сотрудничество преподавателей языковых и специальных дисциплин. Преподаватель языка должен понимать, какие термины являются ядерными для данной специальности, в каком контексте они употребляются, какие ошибки наиболее критичны.

Как отмечается в методической литературе, при отборе текстового материала необходимо учитывать его актуальность для студентов в процессе изучения специальных дисциплин, написания курсовых и дипломных работ и дальнейшей профессиональной деятельности [1]. Это означает, что языковая подготовка должна опережать или как минимум следовать параллельно с освоением специальных дисциплин.

Практическим решением в Белорусском государственном университете транспорта явилось создание единого глоссария транспортных терминов, который используется и на занятиях по языку, и

на специальных кафедрах [6]. Такой глоссарий включает термин на русском языке, его определение, английский, немецкий и французский эквивалент.

Обучение транспортной терминологии в вузе не является вспомогательной задачей языковой подготовки. Терминологическая компетенция – это компонент профессиональной компетентности специалиста транспортной отрасли. Неточное понимание термина или его неверное употребление может привести к ошибкам, последствия которых выходят за рамки учебной ситуации.

Работа с терминологией должна вестись систематически, на обоих языковых направлениях (иностранный язык и РКИ), с использованием аутентичных текстов, заданий на объяснение значения термина, сочетаемость и подготовку сообщений. Необходима координация между языковыми и специальными кафедрами, включая совместную разработку глоссариев и учебных материалов.

Список литературы

1 **Багрова, А. Я.** Обучение языку специальности иностранных студентов-бакалавров уровня B1 / А. Я. Багрова // Вестник педагогических наук. – 2021. – № 3. – С. 141–146.

2 Русский язык для железнодорожников : учеб. пособие по русскому языку как иностранному / Т. В. Бронская, О. Н. Касаткина, Е. Г. Князькова, С. Э. Лятии. – Иркутск : ИрГУПС, 2019. – 164 с.

3 **Горев, А. Э.** Организация автомобильных перевозок / А. Э. Горев, Е. М. Олещенко. – М. : Академия, 2019. – 256 с.

4 **Иванова, Е. И.** Наземные транспортно-технологические средства. Вводный курс по языку специальности для иностранных студентов подготовительного факультета / Е. И. Иванова, И. А. Богомолова. – М. : МАДИ, 2014. – 120 с.

5 **Никоненко, О. В.** Русский язык как иностранный для транспортных специальностей : учеб. пособие / О. В. Никоненко, Е. Ю. Семчугова. – Ростов н/Д : ДГТУ, 2020. – 72 с.

6 Терминологический словарь-справочник по транспортной логистике (на рус., англ., нем. и фр. яз.) / И. А. Еловой, Е. В. Малиновский, Л. П. Лазарева [и др.]. – Гомель : БелГУТ, 2011. – 167 с.

7 Transport and Transport Systems : Collection of Scientific Articles / Belarusian National Technical University. – Minsk, 2026. – Vol. 8. – 172 p.

УДК 316.354:378:656

СОВМЕСТНЫЙ СТУДЕНЧЕСКИЙ БИЗНЕС-ИНКУБАТОР КАК ФОРМА ИНТЕГРАЦИИ С ОТРАСЛЬЮ

Н. Н. МАЛАНИЧЕВА
Нижегородский институт путей сообщения – филиал Приволжского государственного университета путей сообщения, г. Нижний Новгород, Российская Федерация

Железная дорога – это отрасль стратегического значения. Формирование кадрового потенциала – это совместная задача как учебных заведений, так и предприятий железнодорожного транспорта.

Одним из проектов по формированию навыков проектной и исследовательской деятельности является студенческий бизнес-инкубатор, созданный Нижегородским институтом путей сообщения совместно с Горьковской железной дорогой.

Актуальность создания студенческого бизнес-инкубатора продиктована несколькими факторами:

– развитие навыков научно-исследовательской и проектной работы у студентов – то, что сегодня становится ключевым требованием к выпускнику;

– развитие инновационного и научного потенциала образовательных организаций – здесь мы опираемся на конкретные пункты Программы взаимодействия ОАО «РЖД» с университетскими комплексами железнодорожного транспорта до 2030 года (далее – Программа), в частности, п. 5.2;

– вовлечение в исследовательскую деятельность молодых учёных – п. 5.4 Программы;

– популяризация научных разработок образовательной организации через участие в Дне инноваций (п. 5.5 Программы).

Таким образом, создание студенческого бизнес-инкубатора – это не локальная инициатива, а прямое исполнение стратегической программы взаимодействия.

Основным документом, регламентирующим работу совместного студенческого бизнес-инкубатора, является Положение о совместном студенческом бизнес-инкубаторе (приказ от 15 января 2022 г. № 11).

За период функционирования студенческий бизнес-инкубатор демонстрирует положительную динамику (таблица 1).

Таблица 1 – **Динамика развития студенческого бизнес-инкубатора**

Показатель	Учебный год		
	2023/24	2024/25	2025/26
Количество проектных команд	5	6	9
Число резидентов	20	25	27
Результат	1 Участие в конкурсе «Новое звено» (2 проекта – выход в полуфинал). 2 Вступление в Совет молодых ученых Нижегородской области	1 Участие в конкурсе «Новое звено» (3 проекта – выход в полуфинал). 2 Участие в Совете молодых ученых Нижегородской области. 3 Получение патента. 4 Разработка и лабораторные испытания опытного образца. 5 Доход от разработки опытного образца	1 Участие в конкурсе «Новое звено» (3 проекта – выход в полуфинал). 2 Участие в Совете молодых ученых Нижегородской области. 3 Разработка и лабораторные испытания опытного образца
Количество полученных патентов	–	1	1

Как видно из таблицы 1, число проектных команд выросло с 5 до 9, число резидентов – с 20 до 27, а количество патентов стабильно поддерживается на уровне одного в год. При этом с 2025/26 учебного года в состав резидентов вошли студенты, получающие не только высшее, но и среднее профессиональное образование.

Жизненный цикл проектов студенческого бизнес-инкубатора удобно проследить на конкретных примерах.

Проект «Ручной стояночный тормоз грузового вагона» (2023/24 г.). Задача – разработать ручной стояночный тормоз грузового вагона из композитного материала. Проект прошёл конкурс «Новое звено» с выходом в полуфинал, результатом стало получение патента на полезную модель. Далее проект прошёл через бизнес-акселератор, был заключён договор на выполнение научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ. Итог – доход от выполнения НИОКР в размере 380 тыс. руб.

Проект «Модель определения места повреждения ВЛ СЦБ» (2023/25 г.). Задача – разработать модель определения места повреждения. Была создана модель для исследования однофазных замыканий на землю в программном комплексе Matlab. Проект вышел в полуфинал конкурса «Новое звено», результатом стала публикация в научном журнале перечня ВАК (К1) и в международном «Белом списке». В дальнейшем научная работа над проектом легла в основу диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук, что обеспечило развитие человеческого капитала: аспирант стал преподавателем филиала и молодым учёным.

Проект «Универсальный шаблон» (2025/26 г.). Задача – разработать универсальный шаблон обходчика вагонов. В рамках проекта выполнена разработка корпуса универсального шаблона и разработка электросхемы. Результат – опытный образец и лабораторные испытания.

Проект «Модернизация станции Моховые горы» (2025/26 г.). Задача – разработать проект модернизации стрелок. Выполнено проектирование исполнительной группы нечётной горловины и наборной группы нечётной горловины. Итог – подготовка проектной документации для перевода ручных стрелок на электрическую централизацию на станции Моховые горы.

Помимо проектной работы резиденты студенческого бизнес-инкубатора активно участвуют в грантовой деятельности. В 2023/24 учебном году проект «Спектр науки» стал победителем конкурса грантов «Молодой Нижний» с размером гранта 100 тыс. руб. Реализация гранта охватила школы Нижнего Новгорода (9–11-й классы) и НИПС (студенты 1-го курса); широта охвата составила 127 школьников и 35 студентов. В 2024/25 учебном году проект «Наука с тобой» также стал победителем конкурса грантов «Молодой Нижний» с размером гранта 70 тыс. руб.; реализация охватила школы Нижнего Новгорода (6–11-й классы), широта охвата – 147 человек.

Принципиально важным треком является переход резидентов студенческого бизнес-инкубатора в аспирантуру, что свидетельствует о формировании кадрового лифта.

Таким образом, совместный студенческий бизнес-инкубатор – это не просто форма научной работы со студентами. Это эффективная форма интеграции университета с отраслью, которая:

– формирует у студентов реальные навыки проектной работы;

– обеспечивает полный жизненный цикл проекта – от идеи до внедрения и дохода;

– создаёт кадровый лифт «студент – резидент – аспирант – преподаватель»;

– напрямую работает на решение задач, поставленных Программой взаимодействия ОАО «РЖД» с университетскими комплексами до 2030 года.

УДК 338.242

КАДРОВЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ВОКЗАЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ

А. В. МИТРЕНКОВА, Е. Д. ЦУКАНОВА
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Современный железнодорожный вокзал перестал быть исключительно пунктом прибытия и отправления пассажиров. Сегодня **вокзальный комплекс – это сложная многофункциональная экосистема**, объединяющая транспортные, логистические, торговые, информационные и социально-культурные сервисы. Интеграция цифровых технологий, появление бесшовных интермодальных маршрутов и рост требований пассажиров к уровню комфорта кардинально меняют подходы к управлению этой инфраструктурой.

В этих условиях главным драйвером эффективности и конкурентоспособности холдинга становится его **кадровый потенциал** [3]. Качество работы персонала вокзалов напрямую формирует клиентский опыт, лояльность пассажиров и имидж всей железнодорожной отрасли.

Под кадровым потенциалом вокзального комплекса понимается совокупность количественных и качественных характеристик персонала, определяющих его способность эффективно решать текущие операционные и перспективные стратегические задачи.

Кадровый потенциал вокзальных комплексов – это совокупность количественных и качественных характеристик персонала (знаний, навыков, уровня образования, опыта и мотивации), которые определяют способность вокзала эффективно обслуживать пассажиров, обеспечивать безопасность и развиваться в условиях современной транспортной системы [1].

Специфика труда на вокзалах обусловлена следующими факторами:

1) *высокая интенсивность контактов*: персонал находится в постоянном взаимодействии с массовым, зачастую стрессовым потоком людей;

2) *многозадачность*: необходимость одновременного контроля транспортной безопасности, технологических процессов и сервисной составляющей;

3) *круглосуточный режим работы*: сменный график накладывает повышенные требования к психофизиологической устойчивости сотрудников.

Таблица 1 – **Ключевые компоненты кадрового потенциала вокзального комплекса**

Компонент	Описание	Требования в современных условиях
Квалификационный	Профессиональные знания, навыки, уровень образования	Знание нормативной базы, владение ИТ-системами вокзала
Личностно-сервисный	Психологические качества, коммуникабельность, эмпатия	Клиентоориентированность, стрессоустойчивость, бесконфликтность
Цифровой	Навыки работы с инновационным оборудованием и ПО	Уверенное использование ИИ-ассистентов, биометрических и навигационных систем
Инновационный	Способность адаптироваться к изменениям и генерировать улучшения	

На современном этапе развития железнодорожная отрасль сталкивается с рядом системных вызовов в области HR.

1 Кадровый голод на линейных позициях. Наблюдается дефицит специалистов массовых профессий (дежурные по вокзалу, сотрудники справочных служб, операторы).

2 Разрыв компетенций (Skills Gap). Происходит стремительное обновление технологий (электронные терминалы, бесконтактные сервисы, геоаналитика), за которыми не всегда успевают навыки возрастных сотрудников.

3 Высокое эмоциональное выгорание. Постоянная работа в условиях повышенной ответственности и конфликтных ситуаций ведет к текучести кадров.

Для минимизации рисков и качественного обновления состава работников вокзальных комплексов необходим комплексный подход.

1 *Практико-ориентированное и опережающее обучение.* Внедрение программ на базе Корпоративного университета и профильных вузов с акцентом на развитие «мягких навыков» (soft skills) и цифровой грамотности. Использование VR-тренажеров для отработки действий в нештатных ситуациях.

2 *Трансформация системы мотивации.* Переход от жестких KPI, ориентированных только на технологические показатели, к комплексной оценке, включающей индекс удовлетворенности пассажиров (CSI). Развитие программ психологической поддержки сотрудников.

3 *Развитие кадрового резерва*. Прозрачная система горизонтального и вертикального лифтинга, позволяющая выявлять и удерживать талантливых лидеров на ранних этапах.

4 *Автоматизация рутины.* Передача линейных, повторяющихся задач (первичная навигация, типовые ответы на вопросы) чат-ботам и цифровым терминалам, что позволяет высвободить человеческий ресурс для решения сложных, нестандартных запросов пассажиров.

Таким образом, эффективное управление кадровым потенциалом вокзальных комплексов – это не просто статья операционных расходов, а стратегическая инвестиция в клиентоориентированность транспортного холдинга. Успех модернизации вокзалов зависит не столько от внедрения новых инженерных систем, сколько от готовности персонала работать по новым стандартам качества, сочетая профессионализм, технологическую гибкость и искреннее гостеприимство

Список литературы

1 **Орлов, С. Н.** Кадровый потенциал предприятий отрасли / С. Н. Орлов, М. С. Литвиненко // Мир транспорта. – 2016. – № 2 (14). – С. 212–221.

2 **Ярилов, Е. В.** Формирование кадрового потенциала для железнодорожной отрасли: практико-ориентированный подход / Е. В. Ярилов // Московский экономический журнал. – 2018. – № 5 (2). – 15047.

3 Положение о кадровом резерве ОАО «РЖД» : утв. Распоряжением ОАО «РЖД» 30.08.2017. – URL: https://gkrfkod.ru/zakonodatelstvo/rasporjazhenie-oao-rzhd-ot-30082017-n-1748r/ (дата обращения: 10.09.2026).

УДК 656.3

ЭТИЧЕСКИЙ АСПЕКТ ПРЕПОДАВАНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ «ОРГАНИЗАЦИЯ ДОСТУПНОЙ СРЕДЫ НА ТРАНСПОРТЕ» ДЛЯ СТУДЕНТОВ ТРАНСПОРТНОГО ВУЗА

Е. А. НАГОРНОВ
Нижегородский институт путей сообщения –
филиал Приволжского государственного университета путей сообщения,
г. Нижний Новгород, Российская Федерация

Дисциплина «Организация доступной среды на транспорте» входит в обязательную часть профессиональной подготовки специалистов транспортного профиля. Обращение к рабочим программам РГУПС, НИПС, ОмГУПС, ПГУПС и других отраслевых вузов показывает, что в качестве основных результатов обучения заявлены способность анализировать состояние доступной среды и разрабатывать программы безбарьерного обслуживания пассажиров из числа инвалидов и маломобильных групп населения. Однако за рамками этих формулировок остается вопрос, который редко становится предметом специального обсуждения: достаточно ли научить студента применять нормативы, чтобы обеспечить подлинную доступность, или необходимо воспитывать этическое отношение к человеку с инвалидностью как к субъекту, а не объекту помощи?

В рабочих программах этический компонент присутствует фрагментарно – в виде темы «Этика общения с маломобильными пассажирами» и установки на толерантное восприятие социальных различий. При таком построении курса этика рискует свестись к набору коммуникативных техник, тогда как глубинная установка будущего специалиста остается неизменной. Между тем именно эта установка определяет, будет ли спроектированный пандус удобен, а не просто соответствовать ГОСТу, будет ли оказанная помощь восприниматься пассажиром как уважение, а не как унижение.

Социальная модель инвалидности как теоретическая основа этического поворота

Ключевым теоретическим основанием для пересмотра преподавания выступает социальная модель инвалидности, сформулированная британским социологом и активистом Майком Оливером в 1983 году. Согласно этой модели инвалидность не является личной трагедией или медицинской проблемой, локализованной в теле человека. Напротив, инвалидность создается обществом – физическими барьерами, институциональными практиками и, что принципиально, отношением людей.

Различие между «моделью индивидуальной трагедии» и социальной моделью имеет прямые педагогические следствия. Если преподаватель транслирует студентам первую, доступность предстает как техническая задача, а человек с инвалидностью – как нуждающийся в снисхождении. Если же в основе лежит социальная модель, доступность становится вопросом справедливости, а специалист – ответственным за устранение барьеров, созданных его предшественниками.

Принцип «Nothing about us without us» («Ничего для нас без нас»), сформулированный в среде активистов с инвалидностью, является практическим следствием социальной модели [1]. Он означает, что решения, затрагивающие жизнь людей с инвалидностью, не могут приниматься без их непосредственного участия [2]. Для образовательного процесса это требование становится методическим ориентиром.

Ограничения существующей практики преподавания

Анализ рабочих программ позволяет выделить несколько системных ограничений. Во-первых, дисциплина преимущественно ориентирована на формирование знаний о нормативно-правовой базе и приемов «ситуационной помощи». Акцент на помощи подразумевает патерналистскую позицию специалиста как активного субъекта и пассажира как пассивного объекта заботы. Это противоречит идее равного доступа и независимой мобильности, закрепленной в Конвенции о правах инвалидов.

Во-вторых, этический компонент носит декларативный характер. Компетенция «толерантно воспринимать социальные различия» не поддается проверке на уровне сформированности, поскольку не предполагает рефлексии и изменения ценностных установок. Толерантность как терпимость к «другому» принципиально отличается от уважения как признания равного достоинства.

В-третьих, в преподавании отсутствует контакт с реальным опытом людей с инвалидностью. Студенты изучают потребности МГН по нормативам, а не через живое общение. Между тем исследования показывают, что именно непосредственное взаимодействие с носителями опыта является наиболее эффективным способом трансформации стереотипов.

Педагогические условия интеграции этического компонента

Для преодоления описанных ограничений необходимо создание комплекса педагогических условий. Первое условие – включение носителей опыта в образовательный процесс [3]. Практика совместного преподавания (co-teaching), когда лекции и семинары проводятся специалистом совместно с человеком с инвалидностью, доказала свою эффективность [4]. Это реализует принцип «Ничего для нас без нас» не декларативно, а институционально. Студент получает возможность задать вопросы, увидеть человека с инвалидностью в роли эксперта, а не объекта изучения.

Второе условие – использование кейс-метода для этических дилемм [1]. Технический кейс («Как спроектировать пандус?») должен дополняться этическим («Что делать, если нормативы соблюдены, но пассажир не может самостоятельно воспользоваться инфраструктурой?»). Исследования в области инженерной этики показывают, что обсуждение реальных дилемм развивает моральное мышление эффективнее, чем изучение кодексов и правил. Студенты должны научиться видеть противоречие между экономической целесообразностью и этическим долгом, между формальным соблюдением норм и реальным качеством жизни пассажира с инвалидностью.

Третье условие – рефлексивные практики. Эссе, дневники наблюдений, обсуждения в малых группах должны сопровождать весь курс, а не завершать его. Рефлексия позволяет студенту осознать собственные установки, выявить скрытые стереотипы и сформулировать личную этическую позицию. Согласно исследованиям, рефлексивные практики являются ключевым компонентом оценки этической компетентности.

Четвертое условие – интеграция этики в предметное содержание, а не параллельное ее существование. Этический аспект не должен быть отдельной темой «Этика общения». Каждая тема – от нормативно-правовой базы до проектирования инфраструктуры – должна содержать этическое измерение. Например, при изучении ГОСТов следует обсуждать, почему некоторые категории пользователей остаются за рамками стандартов и как это связано с доминирующими представлениями об инвалидности.

Этический аспект преподавания дисциплины «Организация доступной среды на транспорте» не является дополнением к технической подготовке. Он составляет ядро профессиональной компетентности специалиста, чья деятельность непосредственно влияет на качество жизни людей с инвалидностью. Переход от нормативно-ориентированного к ценностно-ориентированному преподаванию требует переосмысления целеполагания, содержания и методов обучения.

Теоретической основой такого переосмысления выступает социальная модель инвалидности. Методическим ориентиром – принцип «Ничего для нас без нас», реализуемый через включение носителей опыта в образовательный процесс. Практическим инструментом – кейс-метод, работа с этическими дилеммами и рефлексивные практики. Сформированная этическая позиция выпускника является гарантией того, что технические решения будут служить реальной доступности, а не формальному отчету. В конечном счете вопрос о доступности транспорта – это не только вопрос о пандусах и лифтах, но и вопрос о том, какое общество мы строим.

Список литературы

1 Engineering education must incorporate ethics and professional responsibility // CDIO Proceedings. – 2025. – P. 1–10.

2 **Oliver, M.** The Politics of Disablement / M. Oliver. – Basingstoke : Macmillan, 1990. – 152 p.

3 **Brooks, R. M.** Teaching Ethics for Preparing Transportation Systems and Management Students / R. M. Brooks, K. S. Jothsna, A. Amavasai // ASEE. – 2011. – P. 1–13.

4 **Jorgensen, C.** Co-teaching with individuals with disabilities / C. Jorgensen, K. Bates // Journal of Whole Schooling. – 2011. – № 2. – P. 109–126.

УДК 1.378.14:1:001.895

ИННОВАЦИИ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ФИЛОСОФИЯ» В ТЕХНИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ

О. В. НИЗОВА

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Современное технологическое преобразование в транспортной сфере, подразумевающее также решение проблем её безопасности, во многом зависит от степени образованности её кадров, что требует от технического университета разносторонней подготовки будущих специалистов. Эта подготовка предусматривает качественное обучение не только математике, естественным, техническим наукам, но и философии – дисциплине, создающей общенаучную картину мира, отвечающей за формирование мировоззрения будущего инженера, у которого актуальные знания соотнесены с категориями этики и эстетики.

Поскольку масштабные цели и задачи учебного курса философии по программе должны быть решены в течение одного семестра, то для успешного освоения студентами обширного материала на кафедре «Философия, история и политология» УО «БелГУТ» был разработан электронный учебно-методический комплекс и предложен оригинальный метод обучения философии – использование студентами пособия, объединяющего практикум и рабочую тетрадь. До настоящего момента в Республике Беларусь по данной дисциплине применялись только практикумы [1, 2], которые включали учебно-методический материал, состоящий из фрагментов философских первоисточников, вводной информации об их авторах и вопросов к этим текстам. Инновацию в виде разработки рабочей тетради по философии наряду с теоретическим обоснованием философской инфографики и визуализации – визиософии – реализовал российский учёный А. В. Макулин, преподаватель Северо-Западного медицинского университета (г. Архангельск), за что ему была присвоена учёная степень доктора философских наук [3]. Он поместил учебный материал в такую увлекательную форму, которая стимулирует познавательную деятельность студента: в макет его тетради вошли авторские схемы, шаблоны и таблицы для заполнения, вопросы, проиллюстрированные рисунками, портретами философов, фотографиями различных картин и скульптур, т. е. оригинальные задания по освоению философского материала, «нацеленные на определение логической связи, последовательности явлений и событий», а также на интерпретацию высказываний философов [4, с. 5]; при этом часть заданий автор сформулировал с учётом медицинского профиля университета.

Методические инновации белорусских и российских философов получили дальнейшее развитие при создании проекта учебно-методического пособия «Философия. Практикум. Рабочая тетрадь» на нашей кафедре. Использование в техническом вузе такого пособия актуально, поскольку студенты инженерных специальностей приспособлены к последовательному выполнению заданий на лабораторных и самостоятельных работах по специальным дисциплинам. Практикум в нашем пособии представлен не только заданиями по анализу фрагментов философских текстов, рекомендованных к изучению [5, с. 275–286], но и заданиями по разбору литературных и научных источников, что способствует как закреплению материала лекций, так и углублению полученных знаний. Он дополнен дидактическим материалом рабочей тетради, предусматривающим заполнение пропущенных слов и выражений, таблиц, наличие заданий по описанию и анализу произведений изобразительного искусства и пр. с соответствующими выделенными строками для записи комментария или ответа на поставленные вопросы. В качестве инноваций к видам заданий, использованных в рабочей тетради А. В. Макулина, внесены задания, направленные на расширение спектра самостоятельной работы студентов, например: задания по созданию обучающимися собственных рисунков, схем и таблиц по изучаемым вопросам (в соответствии с методическими инструкциями-подсказками), в том числе презентаций по философским, научным и инженерным идеям разных эпох; в самих заданиях использованы ссылки на фото и видео из интернет-ресурсов, а также предложен список тем для творческих проектов в стиле сайенс-арт. В пособии сделан акцент на взаимодействии философии, искусства и науки, что соответствует международной системе STEAM и играет важную роль в современном инженерном образовании. Автором пособия О. В. Низовой дополнительно решалась психолого-педагогическая задача: часть предложенных заданий способствует развитию у студентов навыков самонаблюдения и самоанализа, которые нужны при ответах на вопросы, касающиеся личных ценностей и принципов, при формулировке собственного отношения к сложному феномену любви, к смысложизненным установкам и др. Кроме того, в пособии отражено взаимодействие западной и восточной культур, что подготавливает студента к межкультурной коммуникации в условиях современного многополярного мира.

Задания из нашего пособия проходили проверку в процессе обучения студентов УО «БелГУТ», дорабатывались с учётом их возможностей и пожеланий. Если среди студентов механического факультета и студентов факультета управления процессами перевозок интерес вызывали задания по презентации инженерных идей Леонардо да Винчи, Г. Галилея, русских философов-космистов, то некоторые студенты факультета промышленного и гражданского строительства были увлечены идеями математических основ красоты и их применением в музыке и архитектуре. При работе с пособием студенты всех специальностей получали новый для них эстетический опыт от тех произведений искусства разных жанров, которые содержали философские метафоры и концепты.

Заметим, что немногие студенты выразили желание оформить свои философские идеи в виде проекта сайенс-арт, требующего фантазии, знания, мастерства, и тем важнее педагогическая поддержка их творческой активности с целью успешного профессионального старта будущих инженеров: новаторами выступили студенты специальности «Архитектура» и строительного факультета. Хорошим примером из этой области стал тот факт, что студентка группы СИ-31 разработала рецепт композитной смеси для реализации своего проекта (рисунок 1).



Рисунок 1 – Д. Тимофеева. Инсталляция по теме «Золотое сечение в природе и искусстве»

Подобные инновации в образовательном процессе по дисциплине «Философия» будут оказывать положительное влияние как на подготовку кадров, так и на технологическую безопасность отрасли.

Список литературы

1 Практикум по курсу «Философия» : учеб.-метод. пособие. В 2 ч. Ч. 1 / сост. Ч. С. Кирвель [и др.] ; под ред. В. Н. Глины. – Гродно : ГрГУ, 2005. – 225 с.

2 Философия : практикум для студентов факультета философии и социальных наук БГУ. В 2 ч. Ч. 1. Исторические типы философии / авт.-сост. : Е. В. Хомич, Д. Г. Доброродний. – Минск : БГУ, 2012. – 419 с.

3 **Макулин, А. В.** Социальная визиософия: инфографика, визуализация и графический язык социально-философского познания. – URL: https://www.dissercat.com/content/sotsialnaya-viziosofiya-infografika-vizualizatsiya-i-graficheskii-yazyk-sotsialno-filosofsko. (дата обращения: 28.09.2026).

4 **Макулин, А. В.** Рабочая тетрадь. Философия. Ч. I. История философии / А. В. Макулин. – Архангельск : Северный государственный медицинский университет, 2015. – 234 с.

5 Философия : учеб. пособие / А. И. Зеленков, А. С. Лаптёнок, О. А. Романов [и др.] ; под ред. А. С. Лаптёнка. – 2-е изд. – Минск : РИВШ, 2023. – 324 с.

УДК 62:004:626/628

ПОДГОТОВКА СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ КАК ФАКТОР ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАДРОВОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОГО СЕКТОРА

О. К. НОВИКОВА, А. М. РАТНИКОВА
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Водохозяйственный комплекс, обеспечивающий надежное функционирование городов и промышленных предприятий, требует не просто восполнения кадрового дефицита, но и качественной трансформации профессиональных компетенций специалистов. Современная динамика развития отрасли водопроводно-канализационного хозяйства характеризуется тройственным давлением внешних и внутренних факторов:

1) прогрессирующий износ сетей и насосного оборудования, достигший критических значений в большинстве городов, не позволяет полагаться на планово-предупредительные ремонты по регламенту – требуется предиктивная аналитика;

2) стоимость энергетических ресурсов неумолимо диктует необходимость пересмотра гидравлических режимов, переходя от обеспечения постоянного напора к оптимизации давления в зависимости от фактического водоразбора;

3) ужесточение природоохранного законодательства, особенно в части сбросов и учета забора воды, выводит требования к точности измерений на принципиально иной уровень.

Данные обстоятельства в своей совокупности делают классический подход, базирующийся на статических расчетах и эмпирическом опыте диспетчеров, не просто неэффективным, но и экономически убыточным. Следовательно, назревает объективная необходимость комплексного цифрового преобразования: эволюционный переход к интеллектуальным системам управления, базирующимся на SCADA-системах нового поколения, машинном обучении для прогноза водопотребления и цифровых двойниках сети. Это не дань моде, а единственный инструментарий, позволяющий снизить риски аварий, сократить удельное электропотребление на метр кубический воды и обеспечить экологическую безопасность в условиях жестких лимитов, сохранив при этом баланс между себестоимостью услуги и надежностью водоснабжения потребителей.

В этой связи особую значимость приобретает подготовка специалистов, владеющих не только классическими инженерными знаниями в области водоснабжения и водоотведения, но и компетенциями в сфере цифровых технологий, системной интеграции и информационного моделирования.

Кадровая безопасность отрасли рассматривается как способность системы подготовки специалистов обеспечивать предприятия необходимым кадрами, уровень квалификации которых соответствует актуальным и перспективным требованиям. Водохозяйственный сектор Республики Беларусь, интегрированный в программы цифрового развития, испытывает острую потребность в

инженерах-проектировщиках, владеющих инструментарием искусственного интеллекта и технологиями информационного моделирования. Цифровая трансформация данного сектора, концептуализированная в модели «Цифровой водоканал», предполагает создание единой системы на базе интернета вещей (IoT), предиктивной аналитики и геоинформационных систем, однако внедрение этих технологий сопряжено с рисками, если рынок труда не получает специалистов, способных обслуживать сложные аппаратно-программные комплексы.

Основой успешной реализации кадровой стратегии выступает тесное сотрудничество между университетом и заказчиками кадров. В Белорусском государственном университете транспорта в 2024 году была открыта профилизация «Интеллектуальные инженерные системы». Существенным преимуществом обучения является тесное сотрудничество с заказчиками кадров: ГП «Гомельводоканал», ООО «Гефлис», ОДО «ЭНЭКА», ООО «Технологии управления проектами» ПМтех, а также с проектными институтами, что позволяет осуществлять подготовку специалистов, владеющих не только компетенциями в области проектирования, реконструкции и эксплуатации систем водоснабжения и водоотведения, но и навыками применения цифровых и информационных технологий.

Проведение занятий на филиале кафедры, созданном на базе ГП «Гомельводоканал», позволяет студентам с первых курсов погружаться в реальный технологический контекст, решать прикладные задачи эксплуатации и реконструкции сетей, а также участвовать в командной работе над различными проектами. Данная модель соответствует мировым трендам инженерного образования, где практико-ориентированное обучение и вовлечение в научные исследования с первого курса замещают пассивное лекционное преподавание, формируя не только профессиональные, но и надпрофессиональные компетенции, что в конечном итоге повышает адаптивность выпускников к изменяющимся условиям рынка.

Учебные планы нового поколения по специальности «Инженерные сети, оборудование зданий и сооружений» отражают парадигмальный сдвиг в инженерном мышлении, уделяя внимание технологиям информационного моделирования, искусственного интеллекта и инновационным методам реконструкции систем водоснабжения и водоотведения. Освоение BIM-технологий является важным направлением подготовки современных инженеров-строителей, поскольку проектные компании – резиденты Парка высоких технологий, такие как ПМтех и ОДО «ЭНЭКА», выступают не только как работодатели, но и как методические партнеры, предоставляющие базы для стажировок. Подготовка BIM-проектировщиков, работающих на стыке инженерии и информатики, позволяет выпускникам создавать цифровые библиотеки, управлять данными объектов капитального строительства и координировать процессы в рамках единой информационной среды. При этом содержательная часть образования также предусматривает изучение архитектуры «Цифрового водоканала»: выпускники должны понимать принципы работы распределенных сетей датчиков, SCADA-систем, алгоритмы предиктивного обслуживания и методы цифрового учета ресурсов.

Концепция «Цифрового водоканала» представляет собой стратегический переход от реактивного управления к прогнозно-аналитической модели, предполагающей создание единой цифровой системы, объединяющей все этапы технологического цикла – от водоподготовки и транспортировки воды до учета водопотребления, водоотведения и очистки сточных вод [1]. Основным направлением данной трансформации является развертывание распределенной сети интернета вещей, включающей интеллектуальные датчики давления, расхода, качества воды, акустические корреляторы утечек и автоматизированные узлы учета. Данные с этих устройств в режиме, близком к реальному времени, аккумулируются на централизованной платформе сбора и обработки данных, а их интеграция с геоинформационными системами и системами управления активами формирует цифрового двойника инфраструктуры. На этой основе реализуются прогнозная аналитика и предиктивное обслуживание, оптимизация режимов работы насосных станций, динамическое выявление и локализация потерь, непрерывный мониторинг качества воды, а также прозрачный клиентоориентированный сервис на базе автоматизированных систем коммерческого учета. Внедрение модели «Цифровой водоканал» сопряжено со значительными капитальными вложениями, однако экономический эффект от снижения эксплуатационных расходов, продления жизненного цикла активов и повышения платежной дисциплины абонентов обеспечивает убедительную отдачу на инвестиции в среднесрочной перспективе.

Анализ распределения выпускников специальности «Инженерные сети, оборудование зданий и сооружений» свидетельствует о широком кадровом охвате водохозяйственного сектора и смежных отраслей. Помимо городских водоканалов, таких как Минскводоканал и Гомельводоканал, специалисты востребованы в проектных институтах Гомеля, включая ОАО «Институт Гомельгражданпроект», ЗАО «Институт Гомельпроект», ОАО «Гипроживмаш», а также в высокотехнологичных проектных компаниях – резидентах Парка высоких технологий: ПМтех и ОДО «ЭНЭКА». Значительная доля выпускников трудоустраивается на промышленные предприятия, включая Мозырский НПЗ, в строительные организации, такие как ООО «Гефлис», выполняющее полный комплекс работ по реконструкции очистных сооружений, и ОАО «Гомельпромбурвод», осуществляющее весь цикл от проектирования до строительно-монтажных работ по бурению скважин и автоматизации объектов. Такая диверсификация направлений подтверждает универсальность полученных компетенций: специалист, обученный работе с интеллектуальными инженерными системами, способен эффективно действовать как в специфической среде водоканала, так и в нефтехимии или строительстве, где требования к автоматизации и BIM-моделированию аналогичны.

Обеспечение кадровой безопасности водохозяйственного сектора в эпоху цифровой трансформации требует системных изменений в системе высшего технического образования. Опыт Белорусского государственного университета транспорта демонстрирует, что интеграция науки, образования и инновационного бизнеса, реализованная через сотрудничество с базовыми организациями – заказчиками кадров и создание филиалов кафедры на производстве, позволяет готовить специалистов нового поколения. Углубленное освоение BIM-технологий, искусственного интеллекта и концепций «Цифрового водоканала» формирует кадровый резерв, способный не только эксплуатировать сложные системы, но и обеспечивать их развитие. При этом фундаментальное академическое обучение, развивающее критическое мышление и методологическую дисциплину, остается базой, без которой невозможна эффективная эксплуатация технологических инноваций. Только синергия современных цифровых навыков и классического инженерного фундамента позволит гарантировать устойчивое, ресурсоэффективное и безопасное функционирование водохозяйственного комплекса в долгосрочной перспективе, что в конечном счете составляет сущность стратегии кадровой безопасности отрасли.

Список литературы

1 «Цифровой водоканал»: начало стандартизации / А. Г. Бабий, В. И. Баженов, С. Ю. Путин [и др.] // Наилучшие доступные технологии водоснабжения и водоотведения. – 2024. – № 5. – С. 4–10.

УДК 378

АКАДЕМИЧЕСКАЯ АДАПТАЦИЯ ИНОСТРАННЫХ СТУДЕНТОВ ПОСРЕДСТВОМ СОЗДАНИЯ ЭФФЕКТИВНОЙ ЦИФРОВОЙ СРЕДЫ

Ю. А. ОСИПОВА, Д. П. ХОДОСКИН
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Внедрение цифровых технологий кардинально меняет профессиональную сферу, коммуникационные модели и организацию досуга, воздействуя на систему ценностей и поведенческие установки людей. Современный доступ к значительным информационным массивам служит как в образовательных целях, так и в качестве эффективного инструмента трудовой деятельности. Использование передовых ИТ-решений в образовательной сфере уже не воспринимается как инновация, а представляет собой стандартную практику в большинстве развитых государств. Общество неразрывно связано с процессом информатизации, который сопровождается массовым внедрением цифровых технологий. В этом контексте одним из ключевых направлений выступает интеграция новых цифровых решений в образовательную систему. Главная ценность таких технологий заключается в создании насыщенной мультисенсорной интерактивной учебной среды с практически безграничным потенциалом, доступным и педагогу, и обучающемуся. Объединение цифровых инструментов с

учебным процессом позволило повысить эффективность обучения, а в ряде случаев – наладить его организацию.

Цифровизация трансформирует профессиональную деятельность, способы общения и досуг людей, влияя на их мировоззрение и повседневные привычки. Сегодня доступ к информации с большими объемами данных служит как для выстраивания учебного процесса, так и в качестве рабочего инструмента. Применение современных ИТ-решений в сфере образования давно перестало быть нововведением – это повседневная реальность [1, 2].

Современные глобальные экономические и социальные изменения ставят перед Республикой Беларусь новые задачи, среди которых повышение национальной конкурентоспособности, придание большей устойчивости государству в условиях экономических и социальных трансформаций. Эти задачи не могут быть решены без новых технологий и новых знаний, без создания инновационной экономики, важнейшим институтом развития которой является система образования [6]. Концепция развития системы образования Республики Беларусь до 2030 г. ориентирует на модернизацию высшей школы на основе цифровизации ее материально-технической базы и внедрения цифровых технологий в образовательный процесс (электронные учебники, учебно-методическая документация, онлайн-курсы, дистанционное обучение). Вместе с тем уровень цифровизации в высшем образовании еще недостаточен [3–5].

Цифровые инструменты существенно трансформируют повседневную жизнь современных обучающихся, охватывая все сферы их активности и создавая новые форматы коммуникации в учебном процессе. Цифровизация предоставляет обучающимся дополнительные возможности, например, удаленное обучение и веб-курсы. Это позволяет каждому выстраивать персональный учебный маршрут, развивая самостоятельность и навыки самообразования быстрее и продуктивнее по сравнению с классическими методами. Технологии (переводчики онлайн, учебные платформы, интерактивные модули и средства связи) играют значимую роль в упрощении учебного процесса, устранении языковых преград и формировании комфортной среды, что особенно важно для иностранных студентов, содействуя их академической интеграции в чужую культурную среду.

Вхождение иностранных студентов в инокультурную образовательную среду – сложный многофакторный процесс, который традиционно рассматривался преимущественно с позиций адаптации к новой академической среде и преодоления адаптационных барьеров. Сегодня всё больше обращается внимание и на то, что не меньшую роль играет наличие адаптивной образовательной среды, предоставляющей лицам, имеющим отличия во владении языком обучения и культурные особенности, равные возможности получения качественного образования. Возможности для формирования такой среды открываются как раз с широким и доступным использованием цифровых технологий. На сегодняшний день, применяя в образовательном процессе цифровые технологии, есть возможность значительно повысить эффективность усвоения материала иностранными учащимися. Цифровая среда вуза позволяет широко использовать электронные учебники и учебные пособия, в том числе и те, что созданы специально для иностранных обучающихся. Однако необходимо выделить ряд следующих проблем, с которыми в процессе цифровизации образования могут столкнуться такие обучающиеся (таблица 1) [6].

Таблица 1 – **Проблемы и пути решения при цифровизации образования**

Проблема	Проявления	Пути решения
Техническая	Проблемы с интернетом, оборудованием	Улучшение технической поддержки
Языковая	Сложности с русским языком	Разработка билингвальных материалов
Организационная	Непонимание специфики работы с электронными образовательными ресурсами	Учет многонационального состава студенческих групп при планировании занятий и создании электронных образовательных ресурсов
Цифровая	Низкая цифровая грамотность	Вводные курсы, направленные на развитие навыков владения компьютерными технологиями и работы с электронными образовательными платформами и средствами коммуникации

Иностранные студенты, приезжающие учиться в другую страну, нередко испытывают трудности с адаптацией, особенно в академической сфере. Данный этап имеет решающее значение для их

успеваемости и личностного роста. Сегодня этот процесс дополнительно осложняется повсеместной цифровизацией и внедрением электронных инструментов в обучение. Успешное освоение новых технологий способно свести на минимум у иностранных обучающихся стресс, тревогу, чувство неуверенности и падение мотивации, что в итоге сказывается на общей адаптации.

Очевидно, что цифровая среда как внешний фактор значительно влияет на успешность приспособления. В связи с этим перед педагогической наукой встает задача разработки и внедрения методик поддержки зарубежных студентов, которые бы использовали преимущества цифровых технологий и одновременно снижали их отрицательные последствия. В целом изучение академической адаптации в условиях цифровой среды является базовой задачей для эффективной интеграции иностранных обучающихся в образовательный процесс. Это не только повышает их академические результаты и психологический комфорт, но и помогает университетам улучшать качество обучения и создавать комфортные условия. Учитывая значимость и практическую ценность, данная тема нуждается в дальнейших эмпирических исследованиях.

Список литературы

1 **Иванисова, М. К.** Методики обучения иностранных студентов в вузах / М. К. Иванисова // Парадигма. – 2025. – № 5, Ч. 3. – С. 143–148.

2 **Булатова, Ф. Ф.** Барьеры социальной адаптации иностранных студентов в условиях цифровой трансформации и пути их решения с применением дистанционных технологий / Ф. Ф. Булатова // Педагогическое образование в России. – 2025. – № 2. – С. 262–270.

3 Проблема социокультурной адаптации иностранных студентов в условиях цифровизации образования / А. А. Белоглазов, Л. Б. Белоглазова, Н. А. Антонова, М. Д. Исаева // Вестник МГПУ. Серия «Информатика и информатизация образования». – 2023. – № 2 (64). – С. 73–82.

4 **Константинов, В. В.** Адаптация иностранных студентов в условиях цифровизации образования: теоретический обзор / В. В. Константинов, В. А. Федотова // Педагогика. Вопросы теории и практики. – 2025. – № 10 (10). – С. 1699–1706.

5 **Ермишкина, Е. Н.** Использование цифровых технологий в образовательном процессе военного командного вуза в рамках курса «Иностранный язык» / Е. Н. Ермишкина // Общество: социология, психология, педагогика. – 2024. – № 7. – С. 74–79.

6 О Концепции развития системы образования Республики Беларусь до 2030 года : постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 30 нояб. 2021 № 683 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C22100683 (дата обращения: 10.09.2026).

УДК 378.146

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕЙТИНГОВОЙ СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ ЗНАНИЙ СТУДЕНТОВ

Т. Г. ПОТЁМКИНА
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Рейтинговая система оценки знаний студентов (РСОЗ) по учебной дисциплине – это система, учитывающая результативность образовательной деятельности студента в течение периода изучения дисциплины. Она базируется на непрерывном мониторинге и суммировании баллов, учитывающих посещение занятий, успеваемость, результативность контрольных работ, практических и теоретических заданий, тестирований и пр.

Внедрение РСОЗ в образовательный процесс нацелено на повышение объективности оценки знаний, умений и навыков студентов; росту их мотивированной работы в семестре.

Принципы РСОЗ [1].

1 *Обоснованность* – оцениваемые результаты образовательной деятельности и установленные по ним критерии обоснованы и объективны.

2 *Надежность и последовательность* требований к организации образовательной деятельности по дисциплине, критериев их оценки.

3 *Четкость, доступность и прозрачность* информации об оценке.

4 *Инклюзивность и справедливость* оценочных критериев.

5 *Управляемость* – объем оцениваемой работы должен обеспечивать достоверный профиль результативности работы студента без перегрузки.

6 *Гибкость* позволяет учесть дополнительные параметры, обеспечить корректировку оцениваемых критериев.

6 *Своевременность обратной связи* – способствует совершенствованию РСОЗ.

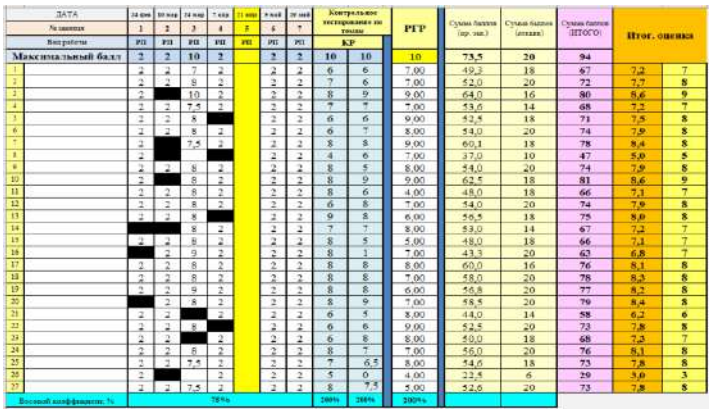
Элементы РСОЗ.

1 Оцениваемые виды образовательной деятельности (посещаемость лекций, практических занятий; результативность работы на практических занятиях, лабораторных работах; количество контрольных работ, тестовых, дополнительных заданий, за которые начисляются баллы).

2 Весовой коэффициент – числовой параметр, учитывающий значимость конкретного оцениваемого вида образовательной деятельности.

3 Программные продукты, используемые для расчета рейтинга.

Пример РСОЗ по дисциплине в EXCEL представлен на рисунке 1.



ДАТА	24 сен	30 сен	14 окт	7 ноя	11 ноя	9 дек	16 дек	Контрольное тестирование по темам		РГР	Сумма баллов (пр. зан.)	Сумма баллов (аттест.)	Сумма баллов (ИТОГО)	Итог. оценка	
№ занятия	1	2	3	4	5	6	7								
Вид работы	РП	РП	РП	РП	РП	РП	РП	КР							
Максимальный балл	2	2	10	2		2	2	10	10	10	73,5	20	94		
1	2	2	7	2		2	2	6	6	7,00	49,3	18	67	7,2	7
2	2	2	8	2		2	2	7	6	7,00	52,0	20	72	7,7	8
3	2	н	10	2		2	2	8	9	9,00	64,0	16	80	8,6	9
4	2	2	7,5	2		2	2	7	7	7,00	53,6	14	68	7,2	7
5	2	2	8	н		2	2	6	6	9,00	52,5	18	71	7,5	8
6	2	2	8	2		2	2	6	7	8,00	54,0	20	74	7,9	8
7	2	н	7,5	н		2	2	8	8	9,00	60,1	18	78	8,4	8
8	2	н	н	н		2	2	4	6	7,00	37,0	10	47	5,0	5
9	2	2	8	2		2	2	8	5	8,00	54,0	20	74	7,9	8
10	2	н	8	2		2	2	8	9	9,00	62,5	18	81	8,6	9
11	2	2	8	2		2	2	8	6	4,00	48,0	18	66	7,1	7
12	2	2	8	2		2	2	6	8	7,00	54,0	20	74	7,9	8
13	2	2	8	н		2	2	9	8	6,00	56,5	18	75	8,0	8
14	н	н	8	2		2	2	7	7	8,00	53,0	14	67	7,2	7
15	2	2	8	2		2	2	8	5	5,00	48,0	18	66	7,1	7
16	н	2	9	2		2	2	8	1	7,00	43,3	20	63	6,8	7
17	2	2	8	2		2	2	8	8	8,00	60,0	16	76	8,1	8
18	2	2	8	2		2	2	8	8	7,00	58,0	20	78	8,3	8
19	2	2	9	2		2	2	8	8	6,00	56,8	20	77	8,2	8
20	н	2	8	2		2	2	8	9	7,00	58,5	20	79	8,4	8
21	2	2	н	2		2	2	6	5	8,00	44,0	14	58	6,2	6
22	2	2	8	н		2	2	6	6	9,00	52,5	20	73	7,8	8
23	2	2	н	2		2	2	6	8	8,00	50,0	18	68	7,3	7
24	2	2	8	2		2	2	8	7	7,00	56,0	20	76	8,1	8
25	2	2	7,5	2		2	2	7	6,5	8,00	54,6	18	73	7,8	8
26	2	н	н	2		2	2	5	0	4,00	23,4	6	29	3,0	3
27	2	2	7,5	2		2	2	8	7,5	5,00	52,6	20	73	7,8	8
Весовой коэффициент, %	70%							200%	200%	200%					

Рисунок 1 – Пример РСОЗ

Информация об условиях, оценочных критериях, возможностях отработки и прочих требованиях, учитываемых в РСОЗ, доводится до сведения студентов на первом занятии по дисциплине и предполагает анализ и контроль образовательной деятельности студента, основными формами которого являются учет посещаемости учебных занятий, письменные контрольные работы, тесты, результаты проверки СУРС, РГР, курсовой работы (проекта) и пр. [1]. Итоговая оценка по дисциплине в РСОЗ рассчитывается делением суммы баллов, набранных студентом за семестр, на максимально возможную сумму баллов по дисциплине и умножается на 10.

Обозначим перспективные направления повышения эффективности и гибкости РСОЗ.

1 Выделение в РСОЗ структурно-логических модулей (например, разделы учебной программы).

2 Уровневый подход к оценке образовательных достижений (обязательный, повышенный и высокий уровни).

3 Дифференциация форм контрольных и самостоятельных заданий.

4 Расширение проектного и командного участия в выполнении коллективных заданий с учетом применения коэффициентов участия каждого студента.

5 Включение в РСОЗ заданий, оценивающих умения студентов использовать средства искусственного интеллекта (навыки работы с технологиями, критическое мышление и пр.).

6 Включение компенсирующих заданий и критериев их оценки, предусмотренных для организации индивидуальной работы со студентами, пропускающими занятия по уважительной причине.

РСОЗ ориентирована стимулировать учебно-познавательную деятельность студентов; мотивировать студентов к системной работе в семестре; повысить объективность оценки текущей успеваемости и пр. [1].

Список литературы

1 **Потёмкина, Т. Г.** Рейтинговая система оценки знаний, умений и навыков студентов: опыт, перспективы развития и мотивация учебной активности / Т. Г. Потёмкина // Инновационный опыт идеологической, воспитательной и информационной работы в вузе : материалы VIII Междунар. науч.-практ. конф. – Гомель : БелГУТ, 2021. – С. 90–92.

УДК 378.147:331.45

УПРАВЛЕНИЕ МОТИВАЦИЕЙ К УЧЕБЕ СТУДЕНТОВ ПЕРВОГО КУРСА ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА: ВЫЗОВЫ, СТРАТЕГИИ И ЗНАЧЕНИЕ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ КУЛЬТУРЫ БЕЗОПАСНОСТИ

Ю. А. ПШЕНИЧНОВ, Т. Н. ЛИТВИНОВИЧ
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Учебная мотивация студентов первого курса является одним из ключевых факторов успешной адаптации к образовательному процессу и профессионального становления будущего инженера. В статье рассматриваются особенности формирования учебной мотивации студентов технического университета, анализируются причины ее снижения в период адаптации к учебе и предлагаются педагогические подходы к поддержанию устойчивого интереса к будущей профессии. Особое внимание уделяется транспортному образованию, где высокий уровень учебной мотивации выступает важным условием формирования профессиональной ответственности и культуры безопасности.

Первый курс технического университета представляет собой наиболее сложный этап обучения, связанный с увеличением объема учебной информации, ростом самостоятельности и высокой интеллектуальной нагрузкой при изучении фундаментальных дисциплин – высшей математики, физики, электротехники и информатики. Именно в этот период формируется отношение студента к будущей профессии, поэтому управление учебной мотивацией следует рассматривать как одну из важнейших задач профессорско-преподавательского состава и необходимое условие качественной подготовки инженерных кадров.

Мотивация студентов неоднородна. Одни ориентированы преимущественно на получение диплома, другие проявляют устойчивый интерес к инженерной деятельности, третьи теряют мотивацию из-за непонимания практической значимости фундаментальных дисциплин.

Главная особенность инженерного образования заключается в том, что профессиональные дисциплины изучаются значительно позже фундаментальных, что затрудняет понимание их взаимосвязи и снижает интерес к обучению [3].

Основными причинами снижения мотивации являются несоответствие ожиданий студентов реальному содержанию обучения, высокая когнитивная нагрузка, отсроченный результат освоения знаний, первые академические неудачи и недостаточная профессиональная идентификация [3, 4].

Повышение мотивации требует системной работы преподавателей, кураторов и администрации университета.

Одним из наиболее эффективных методов является **контекстуализация обучения** – постоянное объяснение практической ценности фундаментальных дисциплин [1]. Например, математические методы могут рассматриваться через задачи оптимизации транспортных потоков, теория вероятностей – при оценке транспортных рисков, а механика – при расчете устойчивости транспортных конструкций.

Не менее важным является **проектное обучение**, позволяющее уже на первом курсе применять знания при выполнении небольших инженерных проектов [2]. Практическая деятельность способствует развитию самостоятельности и профессионального интереса.

Поддержанию мотивации также способствует система последовательных достижений: крупные задания целесообразно разделять на небольшие этапы с регулярной обратной связью [4]. Существенную роль играет и наставничество, при котором старшекурсники помогают первокурсникам адаптироваться к образовательной среде.

Для транспортных университетов учебная мотивация имеет особое значение, поскольку будущие специалисты будут отвечать за безопасность перевозочного процесса.

Уже на первом курсе важно формировать понимание того, что каждая дисциплина является основой будущей профессиональной компетентности. Так, высшая математика необходима для инженерных расчетов, физика – для понимания процессов движения транспортных средств, электротехника – для эксплуатации систем автоматики и сигнализации.

Показательным примером является изучение теоретической механики. Первокурсники нередко считают ее слишком абстрактной, однако анализ причин схода подвижного состава с рельсов показывает, что ошибки в инженерных расчетах могут привести к тяжелым авариям. Осознание связи

между качеством подготовки и безопасностью перевозок значительно усиливает внутреннюю мотивацию к обучению и способствует формированию профессиональной ответственности.

Эффективное управление мотивацией невозможно без ее регулярной диагностики с использованием психолого-педагогических методик, анализа успеваемости и индивидуального сопровождения студентов [3]. Это позволяет своевременно выявлять обучающихся группы риска и предотвращать снижение академической успешности.

Перспективными направлениями являются использование цифровых образовательных платформ, персонализированных образовательных траекторий, технологий проектного обучения и развитие универсальных компетенций – критического мышления, коммуникации, эмоциональной устойчивости и навыков самоорганизации [1, 2, 4].

Для повышения учебной мотивации студентов первого курса рекомендуется:

– демонстрировать практическую значимость фундаментальных дисциплин [1];

– привлекать работодателей и успешных выпускников к образовательному процессу;

– применять накопительную систему оценивания и регулярную обратную связь [4];

– развивать проектную деятельность и наставничество [2];

– создавать образовательную среду, в которой ошибки рассматриваются как естественный этап профессионального обучения;

– формировать понимание личной ответственности инженера за безопасность технических решений.

Управление учебной мотивацией студентов первого курса представляет собой важнейший элемент подготовки будущих инженеров. Комплексное использование современных педагогических технологий, практико-ориентированного обучения и наставничества способствует формированию устойчивой внутренней мотивации и профессиональной идентичности.

Для транспортных университетов развитие учебной мотивации имеет особую значимость, поскольку качество подготовки специалистов непосредственно связано с безопасностью транспортных систем. Осознание студентами взаимосвязи между фундаментальными знаниями, профессиональной компетентностью и безопасностью перевозок формирует ответственное отношение к обучению и будущей инженерной деятельности.

Список литературы

1 **Вербицкий, А. А.** Активное обучение в высшей школе: контекстный подход / А. А. Вербицкий. – М. : Высш. шк., 1991. – 207 с.

2 **Kilpatrick, W. H.** The Project Method: The Use of the Purposeful Act in the Educative Process / W. H. Kilpatrick // Creative Media Partners, LLC. – 2017. – 24 p.

3 **Гордеева, Т. О.** Опросник «Шкалы академической мотивации» / Т. О. Гордеева, О. А. Сычев, Е. Н. Осин // Психологический журнал. – 2014. – Т. 35, № 4. – С. 98–109.

4 **Deci, E. L.** Facilitating Optimal Motivation and Psychological Well-Being Across Life's Domains / E. L. Deci, R. M. Ryan // Canadian Psychology. – 2008. – Vol. 49. – P. 14–23.

УДК 378:37.035.6:656

РОЛЬ ПАТРИОТИЧЕСКОГО ВОСПИТАНИЯ СТУДЕНЧЕСКОЙ МОЛОДЁЖИ В ОБЕСПЕЧЕНИИ КАДРОВОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА

Л. С. СКРЯБИНА

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Приоритетным направлением государственной политики Республики Беларусь является обеспечение национальной безопасности. Наша страна развивается в соответствии с ведущими мировыми тенденциями. Сегодня наше государство осуществляет постепенный переход к экономике знаний, в которой стратегическим ресурсом развития является не энергетический и сырьевой запас, а интеллектуальный капитал.

Формирование нового типа общества, основанного на знаниях, требует обновления целей и содержания такого важнейшего института социализации, как образование. В связи с этим развитие

национальной системы образования, отвечающей мировым стандартам, является одним из ключевых векторов стратегии обеспечения безопасности Республики Беларусь. Так, в Государственной программе «Образование и молодёжная политика» на 2021–2025 годы отмечено, что повышение конкурентоспособности образования с учётом основных тенденций развития мирового образовательного пространства, его соответствие национальным интересам и потребностям инновационной экономики является одним из главных факторов устойчивого развития нашей страны [1].

Чрезвычайно актуальной сегодня является необходимость соответствия содержания общеобразовательного процесса с целями подготовки высококвалифицированных специалистов транспортного комплекса. Важную роль в этом, в рамках университетского образования, играют дисциплины социально-гуманитарного цикла. В частности, многолетний педагогический опыт приобщения студентов Белорусского государственного университета транспорта к историческим наукам позволяет утверждать их теоретическую ценность и, самое важное, практическую значимость в процессе профессионального и гражданско-патриотического становления будущих специалистов технического профиля. Такие дисциплины, как «История белорусской государственности», «Великая Отечественная война советского народа (в контексте Второй мировой войны)», формируют систему ценностей, важнейшей из которых является патриотизм как любовь к Родине, готовность защитить её национальную безопасность.

Совершенствуя методику преподавания, используются разнообразные формы проведения учебных занятий. Эффективной формой учебно-воспитательной работы является проведение диалоговых площадок. Так, в июне 2026 г. проведена диалоговая площадка «Без срока давности: историческая правда и противодействие фальсификации истории геноцида», посвящённая трагической дате – 85-летию со дня начала Великой Отечественной войны. В мероприятии приняли участие студенты факультета «Управление процессами перевозок». Сопереживание и осуждение у студентов вызвали новые факты и обстоятельства, ставшие известными в результате расследования уголовного дела о геноциде белорусского народа, а также общеизвестные факты злодеяний и преступлений, которые совершили в годы Великой Отечественной войны фашисты и их пособники в отношении гражданских лиц и военнопленных [2]. Обсуждение в форме открытого диалога злодеяний нацистов способствует формированию у студентов непримиримой позиции осуждения попыток героизации нацистских преступников и распознаванию способов фальсификации истории.

Неопровержимым доказательством того, что современная молодёжь достойно хранит память о героическом прошлом своей страны, является содержание письменных сочинений студентов БелГУТа на тему «Гордимся прошлым, уверенно смотрим в будущее», где ясно видна гражданская позиция авторов – людей, не равнодушных к событиям былым и настоящим, особенно, если это касается Родины. Содержание некоторых творческих работ свидетельствует о том, что студенты не только учатся у старших поколений, но и пытаются твёрдо определить своё место в современной Беларуси. Приведём выдержки из них.

«Годы Великой Отечественной войны, когда страна воевала от мала до велика, не забудутся никогда. Ведь это наша история, память сердца. Хочется поклониться всем тем, кто воевал и умирал на фронтах Великой Отечественной войны для того, чтобы продолжалась мирная жизнь, спокойно спали дети, радовались, любили и были счастливы люди».

«В великий, светлый, победный майский день многим казалось, что война никогда не вернётся. Но новые времена не принесли человечеству избавления от войн. Сегодня мы видим – трагические уроки войны забыты. Вновь торжествует не сила права, а право силы. Вновь рвутся снаряды, полыхают пожары и гибнут люди. И мир, и Европа приближаются к опасной черте, поэтому сейчас, как никогда, важно помнить уроки Великой Отечественной войны. Помнить об этих уроках должны и политики, и руководители, и народы. Нет ничего ценнее мира. Никакие амбиции, расчёты, интересы не стоят того, чтобы приносить им в жертву человеческие жизни».

«Чтобы жить с честью, надо помнить свою историю, гордиться и почитать тех, кто сражался за всех нас. Эта память священна и благородна. Сейчас это становится актуальным, как никогда. Невозможно поверить, что в XXI веке в некоторых странах Запада, Прибалтике и Украине возрождаются идеи фашизма, поднимают головы последователи бандеровцев и нацистов, марширующие по улицам Риги и Киева при полном попустительстве и даже благосклонности местных властей. Не верится, что в настоящее время это происходит на наших глазах. Нельзя допустить разрастания

этой вакханалии, необходимо задушить это чудовище в зародыше. И я думаю, я уверен, что мы, потомки победителей, сделаем это, не посрамим их и дадим достойный отпор современным варварам и посягателям на самое дорогое для человека – его жизнь. Это наш священный долг перед ветеранами и их светлой памятью» [3].

Важную роль в сохранении исторической памяти и формировании уважения к подвигам, совершенным в годы войны, играет просмотр документальных фильмов. Они охватывают разные аспекты войны: от фронтовых сражений до жизни тыла, от личных историй солдат до воспоминаний о жертвах и героях. Сложно переоценить значение того, как искусство может служить мощным инструментом для формирования гражданской позиции и уважения к истории.

Задачи формирования патриотизма у студенческой молодёжи ставятся, в частности, при проведении научно-практической конференции «Гомельско-Речицкая операция – пролог освобождения Беларуси: взгляд из будущего», посвящённой памяти и исторической значимости событий Великой Отечественной войны. В ходе конференции прозвучали доклады, каждый из которых осветил разные аспекты этого исторического события и его влияние на последующий ход Великой Отечественной войны. Конференция проводится ежегодно, но не теряет своей актуальности.

Ещё одним направлением работы по патриотическому воспитанию стало посещение студентами Гомельского областного музея военной славы. Эта форма работы основана на широком использовании подлинных исторических памятников, обладающих наибольшим эмоционально-психологическим воздействием. Экскурсия в музей – это не только информационно-ознакомительное мероприятие, но и воспитывающее, нравственное, дающее возможность прикоснуться к живой истории.

Все описанные выше формы работы преподавателей кафедры «Философия, история и политология» не только играют важную роль в патриотическом воспитании студенческой молодёжи, но и формируют у студентов ответственное отношение к профессии как служению своей стране.

Таким образом, деятельность и активная жизненная позиция преподавателей кафедры способствует созданию динамичной и ответственной образовательной среды, в которой патриотизм, уважение к истории и профессионализм становятся основополагающими ценностями для будущих поколений.

Список литературы

1 Государственная программа «Образование и молодёжная политика» на 2021–2025 годы // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: https://adu.by/images/2021/02/gos-pr-obrazovanie-molod-politika-2021-2025.pdf (дата обращения: 15.09.2026).

2 Без срока давности. Беларусь: преступления нацистов и их пособников против мирного населения на оккупированной территории БССР в годы Великой Отечественной войны. Гомельская область : сб. архивн. документов и материалов. – Минск : НАРБ, 2021. – 576 с.

3 **Скрябина, Л. С.** Великая Отечественная война советского народа (в контексте Второй мировой войны) : пособие / Л. С. Скрябина. – Гомель : БелГУТ, 2021. – 191 с.

УДК 535.243.25

О НОВЫХ ВЫЗОВАХ В РАЗВИТИИ ОБРАЗОВАНИЯ В СИСТЕМЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАДРОВОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА В УСЛОВИЯХ ВНЕДРЕНИЯ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ПРОГРАММ (ИИ)

С. Г. СТОЮХИН, С. М. КОКИН
Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва

В последние годы в различные области техники, в образовательный процесс, в нашу повседневную жизнь идет активное внедрение нейросетевых программ, условно называемых «Искусственный интеллект» (ИИ). Об этом с гордостью говорят в средствах массовой информации, при устройстве на работу от соискателей уже начинают требовать «быть уверенными пользователями ИИ», приветствуется использование таких программ при создании печатной продукции (статей, докладов, различной документации), музыкальных произведений, фотографий, видеофайлов. Нас убеждают, что

данный подход должен использоваться и в области образования: проводятся специальные курсы повышения квалификации преподавателей, с помощью ИИ формируются рабочие программы различных дисциплин, создаются учебные пособия и так далее. Примеры на тему вхождения ИИ в нашу жизнь можно приводить и приводить, причём, действительно, во многих случаях эта тенденция оправдана.

Здесь мы хотим остановиться на том, как чрезмерное доверие к ИИ может отразиться на кадровой безопасности инженерно-технических работников, в том числе, транспортного комплекса. В основе такой безопасности лежит подготовка грамотных специалистов, в том числе с высшим образованием. Такой работой многие годы занимается РУТ (МИИТ) и, в частности кафедра «Физика».

Очевидно, что специалист с высшим образованием должен свободно владеть всеми доступными инструментами поиска необходимой информации по тем или иным рабочим аспектам. Конечно же, если требуется, он должен уметь проводить типовые расчеты, находить необходимую информацию с помощью различных компьютерных средств. Главное же – он должен уметь не только, получая результаты, оценивать их «разумность», но и быть способным принимать самостоятельные, порой нестандартные решения, в том числе в экстремальных условиях, например, при возможных перебоях связи, интернета, снабжения электроэнергией.

Вопросы использования программ на основе ИИ в учебном процессе широко обсуждаются и в нашей стране, и за рубежом [1]. Обсуждение касается практически всего комплекса изучаемых учащимися (как студентами, так и школьниками) дисциплин (прежде всего – технических и естественнонаучных, в частности, физики) [2, 3].

В этом плане хотелось бы обратить внимание на некоторые типичные особенности работы со студентами, проявившиеся в последние годы в условиях использования обучающимися ИИ. Прошло время: вместо логарифмических линеек, калькуляторов теперь почти все студенты используют установленные на персональных компьютерах и в смартфонах специальные нейросетевые программы, которые можно отнести к ИИ. Процесс вычислений существенно ускоряется, а выход в интернет сокращает время поиска необходимых для решения задач справочных данных. Но если человек не представляет хотя бы приблизительно реальный диапазон значений искомых величин, не понимает физики процесса, о котором идёт речь в задаче, то даже при незначительной ошибке в ходе работы с программой он уткнётся в тупик. В этом случае даже «правильная» программа может выдать неверный ответ. Возможны и другие варианты: программа не работает, произошёл сбой в интернете, сел аккумулятор… А если сама задача такова, что для её решения требуется выдвинуть добавочные предположения? В конце концов и используемая программа сама может дать сбой, выйти из-под контроля, такие ситуации описаны разными авторами см., например, [4, 5]. Во всех этих случаях студент должен обладать навыком использования собственных знаний и умений, который, в частности, и формируется в рамках дисциплины «Физика». На своих занятиях мы учим проводить расчеты без вычислительных устройств, анализировать порядок получаемых значений, критически оценивать их «разумность», вырабатывая у будущих специалистов уверенность в своих силах, а значит, в определенном смысле, обеспечивать безопасность транспортной отрасли, к работе в которой мы готовим своих студентов.

Более серьезную проблему создает использование нейросетей студентами при выполнении домашних заданий, при решении задач в классе (такое тоже встречается: пока, в отличие от средней школы, в вузах нет запрета на использование «гаджетов» на занятиях). Это серьёзная проблема: обучаемые, которые постоянно пользуются программами с ИИ, существенно теряют навыки самостоятельного мышления. Многие не способны не только проанализировать ситуацию, о которой идёт речь в задаче, но и даже просто правильно пересказать её условие. Они сразу обращаются за решением к ИИ, а когда получают готовый ответ, не могут объяснить логику, в рамках которой были проделаны вычисления, поскольку многие выкладки, сделанные программой, могут отражать лишь фрагменты выполненных преобразований. Всё это приводит к тому, что вместо учебы, приобретения навыков анализа различных задач, студент тупеет, превращаясь в «объект для ввода данных в компьютер». Это одна из сторон негативного использования ИИ, преодолеть которую можно только путем индивидуальной работы со студентами, желательно у доски, когда вся аудитория следит за ходом рассуждений, помогая исправлять ошибки, а также сравнивая то, что пишет живой человек и то, что предлагает нейросеть. Такая работа требует времени и соответствующего оборудования (например, для параллельной работы сразу с несколькими студентами нужна большая дос-

ка, но современные аудитории всё в большей мере переоборудуются мультимедийными экранами, размеры которых не позволяют проводить одновременное оформление даже двух задач по теме). Повышению эффективности обучения способствовало бы и уменьшение числа студентов в группе: нередки случаи, когда на первом курсе в группе их более тридцати человек…

Ещё одна негативная черта, связанная с внедрением различных мультимедийных технологий, проявляется в ходе лекционных занятий, при подготовке студентов к экзаменам и к зачётам. Уже со школьных лет обучаемые привыкли к представлению информации в виде визуального ряда, к лекциям-презентациям. Они не готовы работать самостоятельно: читать учебники, создавать конспекты лекций, заучивать излагаемый материал. Часто задаваемый преподавателю вопрос звучит так: «А нужно ли вообще что-то заучивать? Ведь есть интернет, где можно всё посмотреть!» Такой вопрос свидетельствует о заметном в настоящее время изменении отношения вчерашних выпускников школы не только к конкретной учебной дисциплине, но и к образовательному процессу вообще. Это тревожная тенденция, поскольку необходимость обеспечения технологического суверенитета страны, её безопасности и уверенного развития тесно связаны, в том числе, с широким применением программ ИИ, для разработки и использования которых нужны грамотные и самостоятельно мыслящие специалисты, в том числе выпускники транспортных университетов [6].

В заключение отметим, что от внедрения ИИ в образовательный процесс в вузе никуда не деться. Но поскольку это внедрение даёт не только положительные результаты, для минимизации отрицательных приходит пора принятия серьёзных мер как на уровне среднего образования, так и в высшей школе.

Список литературы

1 **Шарков, И.** «Запрещать прогресс бессмысленно и неэффективно»: нейросети стали учиться за студентов – как с этим борются ведущие вузы мира / И. Шарков. – URL: https://mel.fm/ucheba/vuz/2906517-zapreshchat-progress-bessmyslenno-i-neeffektivno-neyroseti-stali-uchitsya-za-studentov--kak-s-etim-b (дата обращения: 11.09.2026).

2 **Фещенко, Т. С.** Потенциал использования технологии искусственного интеллекта при обучении физике в школе / Т. С. Фещенко // Общество: социология, психология, педагогика. – 2024. – № 7. – С. 50–65.

3 **Пурышева, Н. С.** Актуальные проблемы школьного физического образования в Российской Федерации / Н. С. Пурышева, Д. А. Исаев // Педагогическое образование в России. – 2020. – № 6. – С. 8–15.

4 **Акатов, Д.** Ошибки нейросетей: 20 смешных факапов искусственного интеллекта / Д. Акатов. – URL: https://hi-tech.mail.ru/review/109098-oshibki-nejrosetej/#anchor171387989383099782 (дата обращения 11.09.2026).

5 **Гладких, А.** Не только Сбербанк: пять самых эпичных ошибок искусственного интеллекта / А. Гладких. – URL: https://www.forbes.ru/tehnologii/373031-ne-tolko-sberbank-pyat-samyh-epichnyh-oshibok-iskusstvennogo-intellekta (дата обращения: 11.09.2026).

6 **Кокин, С. М.** О физическом образовании в вузах в условиях необходимости обеспечения технологического суверенитета страны / С. М. Кокин // Физическое образование в вузах. – 2022. – Т. 28, № 4.– С. 5–11.

УДК 377.5

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ С ПРЕДПРИЯТИЯМИ – ЗАКАЗЧИКАМИ КАДРОВ КАК КЛЮЧ К ФОРМИРОВАНИЮ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ НАВЫКОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНИКОВ В УСЛОВИЯХ СОВРЕМЕННОГО КОЛЛЕДЖА

И. И. ТАРАСЮК

Брестский колледж – филиал Белорусского государственного университета транспорта

Современная система среднего специального образования Республики Беларусь ориентирована на подготовку высококвалифицированных рабочих и специалистов, готовых к работе в условиях быстрого технологического обновления и цифровизации производства. Для железнодорожной отрасли, которая является стратегически важной для экономики страны, особенно актуален вопрос формирования у будущих железнодорожников устойчивых профессиональных навыков, соответствующих требованиям реального сектора.

В этих условиях решающим фактором становится тесное и системное взаимодействие колледжей железнодорожного профиля с предприятиями – заказчиками кадров (в первую очередь с предприятиями Государственного объединения «Белорусская железная дорога», а также с

транспортно-логистическими и ремонтными организациями). Такое партнерство позволяет обеспечить практико-ориентированное обучение, раннюю профессионализацию и осознанный выбор карьерной траектории выпускников.

В Республике Беларусь взаимодействие учреждений образования с заказчиками кадров закреплено на нормативном уровне. К ключевым положениям относятся:

– государственный социальный заказ на подготовку специалистов;

– целевая подготовка кадров по заявкам организаций;

– практико-ориентированное обучение;

– обязательное прохождение производственной практики на профильных предприятиях.

Предприятия, являясь конечными потребителями кадров, обладают наиболее полным представлением о современных требованиях к профессиональным компетенциям. Поэтому благодаря участию предприятий содержание обучения становится ближе к реальным условиям железнодорожного производства.

Производственное обучение и практика на предприятиях Белорусской железной дороги – ключевой элемент формирования профессиональных навыков. В результате взаимодействия кол-леджа и предприятия учащиеся осваивают реальные рабочие места в дистанциях пути, сигна-лизации и связи, в пассажирских и грузовых службах; получают опыт работы с современным оборудованием и подвижным составом, который не всегда возможно в полном объеме воспроиз-вести в условиях учебных мастерских; учатся соблюдать технологическую дисциплину, правила охраны труда, промышленной и пожарной безопасности в реальных условиях; включаются в производственные бригады, что формирует навыки командной работы, ответственности и профес-сионального общения.

Производственная практика превращается из формальной стадии обучения в полноценный этап профессионального становления.

Одной из наиболее эффективных форм является целевая подготовка кадров по заказу пред-приятий. Ее особенности: абитуриент поступает в колледж по целевому направлению предприятия – будущего работодателя; по окончании обучения выпускник направляется на заранее оговоренное рабочее место.

Такая модель усиливает мотивацию учащихся и обеспечивает предприятиям приток молодых специалистов, адаптированных под конкретные производственные условия.

Это обеспечивает высокую степень соответствия теоретической подготовки реальным запросам отрасли.

Эффективной формой взаимодействия является создание на базе колледжей учебно-произ-водственных полигонов железнодорожной инфраструктуры (учебные участки пути, стрелочные переводы, сигнальные установки, макеты станций); лабораторий автоматики и телемеханики, связи, диагностики подвижного состава; «цифровых двойников» технологических процессов, имитаторов рабочих мест (например, автоматизированных рабочих мест диспетчеров, дежурных по станции, операторов сортировочных горок).

Благодаря тесному сотрудничеству колледжа и предприятия:

– сокращается разрыв между теоретической подготовкой и практикой;

– уменьшается период адаптации молодого специалиста на рабочем месте;

– формируются навыки работы с конкретными типами техники и программного обеспечения, используемыми на Белорусской железной дороге.

Выпускник оказывается готов не только к выполнению базовых операций, но и к участию в инновационных процессах, внедрению новых технологий.

Колледжи, активно взаимодействующие с предприятиями-заказчиками кадров, демонстрируют:

– более высокий процент целевого и гарантированного трудоустройства;

– меньшую текучесть молодых кадров в первые годы работы;

– рост интереса абитуриентов к специальностям.

Предприятия, в свою очередь, получают мотивированных специалистов, уже знакомых с кор-поративной культурой, требованиями руководства и производственными регламентами.

Железнодорожная отрасль традиционно предъявляет повышенные требования к культуре безопасности движения. Взаимодействие с предприятиями позволяет:

– формировать у учащихся устойчивые навыки соблюдения правил безопасности и техноло-гической дисциплины;

– отрабатывать алгоритмы действий в нештатных ситуациях;

– воспитывать личную ответственность за жизнь и здоровье пассажиров, сохранность грузов и инфраструктуры.

Такие навыки эффективнее всего формируются именно в реальной производственной среде под контролем опытных наставников.

Железная дорога играет важную роль в социально-экономическом развитии регионов Беларуси. Взаимодействие колледжа и предприятий:

– способствует закреплению молодежи в регионах;

– создает условия для развития транспортной и логистической инфраструктуры;

– усиливает связь профессионального образования с потребностями местных сообществ и экономики.

Взаимодействие с предприятиями – заказчиками кадров является ключевым условием формирования профессиональных навыков будущих железнодорожников в условиях современного белорусского колледжа. Такое сотрудничество:

– обеспечивает практико-ориентированный характер обучения;

– делает содержание образования актуальным и соответствующим требованиям реального производства;

– способствует формированию как профессиональных, так и надпрофессиональных компетенций;

– повышает качество подготовки специалистов и их конкурентоспособность на рынке труда;

– укрепляет связь системы образования с потребностями экономики Республики Беларусь.

Развитие партнерства между колледжами и железнодорожными предприятиями, создание современных учебно-производственных полигонов и внедрение цифровых технологий в образовательный процесс являются стратегическими направлениями развития профессионального образования. Именно на этой основе возможно эффективное формирование нового поколения железнодорожников, готовых к работе в условиях модернизированной и высокотехнологичной железнодорожной отрасли Беларуси.

УДК 378.016:130.2

К ВОПРОСУ О ПОВЫШЕНИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРЕПОДАВАНИЯ СОЦИАЛЬНО-ГУМАНИТАРНЫХ ДИСЦИПЛИН В ТЕХНИЧЕСКОМ ВУЗЕ

Н. К. ТЕТЕРЮКОВ, А. Б. БЕССОЛЬНОВ
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Образовательный процесс в техническом вузе направлен не только на профессиональную подготовку инженеров, но и на воспитание политически грамотных, зрелых и преданных своей стране граждан. Важное место в этом процессе занимает изучение социально-гуманитарных дисциплин, особенно, таких как «История белорусской государственности», «Политология», «Философия», «Современная политэкономия» и ряд других. Изучение этих предметов даёт возможность молодым людям «окунуться» в мир политики и идеологии, ознакомиться с политическими системами и режимами, политическими институтами в Республике Беларусь и их функционированием, политическими и идеологическими процессами, протекающими как в Беларуси, так и в мире, с международными политическими и экономическими отношениями, внутренней и внешней политикой Республики Беларусь и другими проблемами.

Изучение данных дисциплин позволяет формировать у студентов предметные операционные и личностные компетенции, умение анализировать политические процессы и оценивать перспективы их развития, принимать участие в формировании политической системы белорусского общества как избиратель, проявляя при этом уровень своей политической культуры и политического сознания; применять полученные знания в своей будущей социально-профессиональной деятельности, осуществляя личностный выбор политической позиции как гражданина, аргументируя его.

Вместе с тем социально-гуманитарное знание способствует формированию у будущих специалистов таких профессионально-личностных качеств, как гражданственность, критическое мышление, способность к социальному взаимодействию и межкультурным коммуникациям, а также готовность к командной работе и научно-исследовательской деятельности.

Значительная роль в организации образовательного процесса, в идейно-политическом воспитании студентов в вузе отводится преподавателям. Рассматривая политические, экономические и социальные процессы, происходящие в обществе и мире, они пытаются донести до молодёжи правду, раскрывая достижения и трудности нашего развития.

В своей работе преподаватели социально-гуманитарных дисциплин стремятся эффективно использовать различные методы и техники обучения. Широко используются проблемное обучение, личностно-ориентированные технологии, основанные на активных (рефлексивно-деятельных) формах и методах обучения, таких как дискуссии, деловые, ролевые и имитационные игры, «мозговой штурм», «круглые столы», пресс-конференции, дискуссионные площадки и др.

Преподаватели кафедры «Философия, история и политология» используют в своей работе современные информационно-коммуникативные технологии, которые позволяют им обеспечивать проблемно-исследовательский характер процесса обучения и активизацию самостоятельной работы студентов. К ним можно отнести структурированные электронные презентации на лекционных занятиях. Учебные аудитории в БелГУТе, оборудованные соответствующей аппаратурой, позволяют применять аудио- и видео поддержку учебных занятий. Применение цифровых технологий и мультимедийных средств в творческих заданиях оптимизирует образовательный процесс. Наряду с традиционными занятиями планируется использовать сетевые инструменты обучения: интернет-форум, онлайн-семинар, онлайн-дискуссия.

Цифровизация образования становится одним из ключевых процессов, и наш вуз не стоит в стороне. Элементы этого процесса у нас внедряются. Однако отношение студентов, являющихся самой технологически активной группой (каждая первая сталкивается с преимуществами и недостатками цифровых инструментов) неоднозначно. Одни считают их удобными и полезными, другие – отвлекающими и усложняющими обучение. На это указывает проведённый студентами вуза социологический опрос группы студентов из 20 человек.

При изучении социально-гуманитарных дисциплин преподаватели кафедры «Философия, история и политология» уделяют большое внимание наиболее эффективным формам и методам организации самостоятельной работы студентов. Это обусловлено сокращением количества часов, выделенных на освоение учебных дисциплин. К таким методам относятся выполнение промежуточных тестов; решение социологических, политологических задач или ситуаций с презентацией результатов; выполнение самостоятельно разработанных творческих заданий; подготовка рефератов; написание эссе и т. д.

Особое значение придаётся оценке уровня знаний студентов. Для этого используется следующий диагностический инструментарий: проведение текущих контрольных опросов по отдельным темам; выполнение студентами индивидуальных заданий; защита СУРС; выступление студентов на конференции с научными докладами и рефератами.

Одной из существенных сложностей обучения предметам социально-гуманитарного цикла является то обстоятельство, что они, в отличие от точных наук, где есть однозначный ответ, содержат зачастую альтернативные точки зрения при анализе и оценке тех или иных исторических событий. В них существуют различные концепции, подходы, взгляды в отношении ключевых проблем жизнедеятельности как современного общества, так и прошлых эпох, пережитых странами и народами мировой цивилизации. Поэтому на занятиях преподаватели-гуманитарии должны учить студентов понимать причинно-следственные связи, объясняющие определённые, иногда резкие, качественные изменения в различных областях жизнедеятельности той или иной страны, народа и т. п.

Революции, войны, реформы, социальные катастрофы, присущие любой стране, государства в переломные исторические эпохи должны быть оценены объективно, с опорой на достоверные факты и источники. В этом отношении преподаватель должен уметь научить студентов методике и приёмам анализа и отбора нужной информации, показать основные приёмы фальсификаторов исторических событий. Ведь электронные носители информации, которыми пользуются молодые люди, в значительной мере оперируют недостоверными сведениями и фактами.

Большое значение в развитии познавательной активности студентов играет эмоциональный интеллект, опирающийся на яркие переживания, чувственное восприятие информации. Активизация этой стороны познавательного процесса молодых людей позволяет опытному педагогу значительно усилить восприятие новой информации и более глубоко усвоить обучаемыми. С этой целью на занятиях следует чаще использовать яркие, убедительные примеры жизни выдающихся людей, героев труда и героев-воинов, проявивших доблесть и героизм при защите своей Родины.

Информация, содержащаяся в социально-гуманитарных науках, позволяет преподавателям использовать и такой эффективный метод поддержки внимания и активности студентов, как сравнительный анализ показателей развития различных стран и регионов в ту или иную историческую эпоху, характеристики экономических и социальных показателей жизни населения определённых стран, их проблемы и достижения. При этом содержание учебных пособий весьма обогащается и легче усваивается студентами.

В заключение нашей темы следует отметить и актуальность регулярного обмена педагогическим опытом представителей различных гуманитарных наук: экономистов, историков, философов, психологов и иных представителей гуманитарного профиля. Ведь именно на стыке родственных наук и рождаются новые знания и новые открытия.

Список литературы

1 **Джуринский, А. Н.** Высшее образование в современном мире: тренды и проблемы : монография / А. Н. Джуринский. – М. : Прометей, 2017. – 240 с.

2 Интеграция принципов образования в интересах устойчивого развития в содержание подготовки специалистов с высшим образованием : учеб.-метод. пособие / авт.-сост. : В. Г. Гаркавая, И. В. Зубрилина, С. И. Невдах, И. В. Титович. – Минск, 2025. – 270 с.

3 **Симонов, В. П.** Педагогика и психология высшей школы. Инновационный курс для подготовки магистров : учеб. пособие / В. П. Симонов. – М. : Вузовский учебник ; НИЦ ИНФРА-М, 2024. – 320 с.

4 Теория и практика формирования универсальных компетенций будущих специалистов / под ред. В. А. Хриптович. – Минск : РИВШ, 2023. – 172 с.

УДК 614.8

ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАДРОВОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В АСПЕКТЕ МЕЖВУЗОВСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПРИ ПОДГОТОВКЕ СПЕЦИАЛИСТОВ

В. Ф. ТИМОШКОВ
Филиал «Институт профессионального образования» Университета гражданской защиты, г. Гомель

Практическая направленность образования призвана решать вопросы, связанные с профессиональным становлением и ростом специалистов различных отраслей, а также обеспечением кадровой безопасности. Многое делается в этом направлении непосредственно в учебных заведениях. Это разработка новейших учебных программ с увеличением количества часов на практические занятия, совершенствование планов учебных практик и т. д. Современный, многогранный подход при планировании и реализации образовательного процесса способствует появлению качественных специалистов в своем деле [1, с. 347]. Нет большой тайны в том, что организовать учебные занятия на высоком педагогическом уровне возможно с привлечением различных педагогических технологий. Такой подход позволяет задействовать на практических занятиях следующие форсайты:

– здоровьесберегающие педагогические технологии (Н. Н. Ефименко);

– технология личностно-ориентированного взаимодействия педагога с обучаемым (И. С. Якиманская);

– технология исследовательской деятельности;

– технологии портфолио обучаемого и педагога;

– информационно-коммуникационные технологии;

– технология развивающего обучения (Д. Б. Эльконина, В. В. Давыдова, направленная на развитие индивидуальных познавательных способностей каждого обучаемого, на познание себя личностью, на самоопределение и самореализацию в процессе обучения);

– игровые технологии (к примеру, технология ТРИЗ (Г. С. Альтшуллер, А. М. Страунинг), направленная на развитие творческих способностей);

– технология проблемного обучения (Дж. Дьюи);

– технология проектной деятельности (Л. С. Киселёва).

Для реализации учебных целей и задач на практических занятиях необходимо наличие учебно-тренировочной базы. Порой с этим возникают определенные «трудности», очень часто из-за экономических соображений либо по другим причинам. Решить данный вопрос возможно с помощью межвузовского взаимодействия в плане проведения совместных семинаров.

В данной статье рассматривается проведение межвузовского семинара на тренировочном полигоне филиала «Институт профессионального образования» Университета гражданской защиты МЧС Беларуси по теме «Тушение пожаров на железнодорожном транспорте, организация взаимодействия подразделений МЧС и работников железнодорожного транспорта при ликвидации последствий аварийных ситуаций». Организаторами семинара от института выступила кафедра «Профессиональной подготовки», от Белорусского государственного университета транспорта – кафедра «Управление эксплуатационной работой и охрана труда». Этот межвузовский семинар проводился во второй раз. Цель межвузовского семинара осталась неизменной – практическая отработка навыков взаимодействия работников железной дороги (в их роли выступили студенты группы УД-31) и подразделений МЧС по ликвидации чрезвычайных ситуаций на объектах железнодорожного транспорта. Студенты, профессорско-преподавательский состав кафедры «Управление эксплуатационной работой и охрана труда» и работники научно-исследовательской лаборатории «Управление перевозочным процессом» наблюдали за действиями по реализации программы межвузовского семинара, развернувшимися на трех учебно-боевых участках тренировочного полигона [2, с. 308].

По легенде на первом учебно-боевом участке в результате дорожно-транспортного происшествия на переезде произошло столкновение железнодорожного подвижного состава и легкового автомобиля. В моторном отсеке транспортного средства возникло возгорание, а в салоне заблокирован пострадавший водитель. Возникшая ситуация произошла на глазах дежурного по переезду, далее по цепочке начался строго регламентированный процесс оповещения: дежурный по переезду – дежурный по железнодорожной станции – дежурная служба МЧС. Дежурный по переезду, не дожидаясь прибытия подразделений спасательного ведомства, приступила к тушению возгорания первичным средством пожаротушения – огнетушителем. Но ликвидировать возгорание не удалось. На помощь прибыл автомобиль МЧС быстрого реагирования, укомплектованный аварийно-спасательным инструментом и оборудованием. Личный состав отделения обеспечил деблокирование пострадавшего и его эвакуацию в безопасную зону с последующей передачей медицинским работникам.

События на втором учебно-боевом участке стали следствием чрезвычайной ситуации на первом. В результате дорожно-транспортного происшествия в пассажирском вагоне возникло задымление. Проводник вагона обесточил вагон, организовал эвакуацию пассажиров и приступил к тушению задымления огнетушителем. Параллельно начальник поезда действовал согласно установленному регламенту: оповестил машиниста, который, в свою очередь, информировал дежурного по железнодорожной станции, а дежурный вызвал подразделения МЧС. После завершения эвакуации пассажиров выяснилось, что двое пострадавших не способны передвигаться самостоятельно и ожидают помощи в эвакуации. На помощь в ликвидации задымления помещений вагона и спасения пострадавших прибыло следующее подразделение МЧС со звеном газодымозащитной службы. С использованием средств защиты органов дыхания (аппаратов на сжатом воздухе) звено провело эвакуацию из вагона пострадавших пассажиров, передало их медицинским работникам и ликвидировало задымление.

Практической отработке навыков на третьем учебно-боевом участке была посвящена ликвидации аварийной ситуации, связанной с течью опасного груза из цистерны. По легенде во время проследования грузового поезда дежурный по переезду обнаружила течь груза из цистерны и вновь стала первым звеном цепочки оповещения: дежурный по переезду – машинист локомотива – дежурный по железнодорожной станции – дежурная служба МЧС. Прибывшее подразделение МЧС приняло меры по недопущению возгорания: при помощи пенных стволов на всю площадь разлива была подана воздушно-механическая пена.

События на учебно-боевых участках определили, что насколько оперативно и слажено будут взаимодействовать работники железной дороги и подразделения МЧС, зависит быстрота ликвида-

ции аварийных ситуаций, минимизация их последствий, жизнь и здоровье пассажиров и работников, сохранность перевозимых грузов. Отличительной особенностью была обозначена высокая практикоориентированность образовательного процесса на факультете «Управление процессами перевозок» Белорусского государственного университета транспорта и отмечено, что спасатели и студенты подробно изучили и отработали действия работников железной дороги, МЧС при возникновении аварийных ситуаций, требующих вызова спасательных подразделений. Организация и проведение межвузовских семинаров позволяет обучаемым в полной мере проникнуться интересами своей профессии. Соответственно качество подготовки специалистов будет осуществляться только на высоком уровне. Такой подход позволит будущим работникам быстрее стать на путь профессионального совершенствования и роста, что в свою очередь обеспечит кадровую безопасность производственной отрасли. Для профессорско-преподавательского состава такая форма организации и проведения практических занятий позволит осуществить наполняемость и реализацию задействованных педагогических технологий. Межвузовский семинар отлично дополнил практический компонент обучения, потому что практики много не бывает [2, с. 310].

Список литературы

1 **Даутова, О. Б.** Традиционные и инновационные технологии обучения студентов : учеб. пособие : в 2 ч. / О. Б. Даутова, О. Н. Крылова, А. В. Мосина; под ред. А. П. Тряпицыной. – СПб., 2010. – 135 с.

2 **Тимошков, В. Ф.** Развитие системы непрерывного профессионального образования на примере организации тематических семинаров / В. Ф. Тимошков // Современные тенденции в дополнительном образовании взрослых : сб. материалов VI Междунар. науч.-метод. конф. – Минск : РИВШ, 2022. – С. 307–311.

УДК 331.5:656.07

ОПЕРЕЖАЮЩЕЕ ОБРАЗОВАНИЕ КАК ИНСТРУМЕНТ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАДРОВОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ТРАНСПОРТЕ

Е. О. ФРОЛЕНКОВА
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Транспортная отрасль является кровеносной системой экономики, обеспечивающей территориальную целостность, обороноспособность и торговые связи государства. В условиях геополитической нестабильности и стремительной цифровизации всех процессов, включая интеллектуальные транспортные системы, беспилотные технологии и логистику 4.0, традиционная модель подготовки кадров перестает отвечать вызовам времени. Кадровая безопасность на транспорте представляет собой не только защиту от диверсий и утечек данных, но и способность отрасли бесперебойно функционировать при любых сценариях, что напрямую зависит от качества и своевременности подготовки специалистов. Разрыв между скоростью технологических изменений и инерционностью образовательных программ создает угрозу кадрового голода и технологического отставания.

Под кадровой безопасностью транспортного комплекса предлагается понимать состояние защищенности отрасли от внутренних и внешних угроз, связанных с человеческим фактором. Это состояние обеспечивается наличием достаточного количества квалифицированных кадров всех уровней, высокой профессиональной надежностью и лояльностью персонала, адаптивностью системы подготовки к технологическим сдвигам, а также минимизацией рисков, связанных с ошибками персонала, старением кадров и утечкой интеллектуального капитала. Кадровая безопасность носит системный характер и не может рассматриваться изолированно от технологической и экономической безопасности отрасли.

Традиционная система подготовки кадров для транспорта демонстрирует ряд уязвимостей. Прежде всего, речь идет об инерционности: цикл разработки и утверждения образовательных стандартов занимает 3–5 лет, что сопоставимо или превышает цикл смены технологий на транспорте. Возникает дисбаланс спроса и предложения: учреждения высшего и среднего специального образования готовят специалистов по вчерашним профессиям, тогда как рынок требует компетенций в области управления беспилотниками, кибербезопасности транспортных сетей, мультимодальной

логистики и предиктивной аналитики. Дополнительной проблемой является отрыв от производства, выражающийся в недостаточной практической подготовке, слабой интеграции с реальными транспортными предприятиями и отсутствии сквозных практик.

Опережающее образование представляет собой не просто обучение на перспективу, а системную модель, при которой содержание, методы и технологии подготовки ориентированы на прогнозируемые технологические и социально-экономические тренды, а также на формирование у обучающихся способности к непрерывному самообразованию и работе в условиях неопределенности. Ключевым принципом выступает прогностичность, предполагающая мониторинг различного рода исследований и дорожных карт отрасли для корректировки учебных планов в режиме реального времени. Междисциплинарность обеспечивает синтез транспортных, информационных, правовых, экономических и психологических знаний, что особенно важно для подготовки операторов интеллектуальных систем. Практикоориентированность реализуется через создание филиалов кафедр на предприятиях, учебно-производственных лабораторий, фабрик процессов и цифровых двойников транспортных систем. Непрерывность означает переход от модели образования на всю жизнь к модели образования через всю жизнь, включая корпоративные университеты и микростепени.

Внедрение опережающего образования требует комплекса взаимосвязанных механизмов. Центральным элементом должно стать создание отраслевой платформы прогнозирования компетенций, предполагающей регулярный процесс предвидения и прогнозирования с участием Министерства транспорта транспорта и коммуникаций, крупных перевозчиков, Белорусской железной дороги, автотранспортных организаций и информационно-технологических компаний. Результатом такой работы становится перечень профессий будущего и исчезающих профессий на 5- и 10-летнюю перспективу. Гибкие образовательные стандарты предполагают введение вариативной части до 40–50 %, которая обновляется ежегодно без потери базового ядра. Сетевое взаимодействие учреждений высшего и среднего специального образования и предприятий реализуется через создание филиалов кафедр, где теоретическая подготовка сочетается с работой над реальными проектами, например разработкой маршрутов для беспилотных грузовиков. Опережающая переподготовка преподавателей становится обязательным условием, поскольку без преподавателей, владеющих актуальными технологиями, невозможно опережающее образование; необходимы стажировки на высокотехнологичных транспортных объектах. Цифровые инструменты, включая искусственный интеллект, современные тренажеры для отработки внештатных ситуаций, таких как разгерметизация, кибератака или отказ навигации, позволяют существенно повысить качество подготовки. Оценка качества через призму безопасности предполагает введение квалификационных экзаменов, включающих проверку навыков работы в условиях неопределенности и стресса.

Реализация модели опережающего образования позволяет снизить риск критических ошибок персонала за счет подготовки к работе с новыми системами до их массового внедрения. Уменьшается зависимость от внешних рынков труда, включая иностранную рабочую силу, благодаря опережающей подготовке национальных кадров. Повышается устойчивость транспортной системы к гибридным угрозам, таким как кибератаки и логистические диверсии, через формирование своеобразного иммунитета у специалистов. Формируется кадровый резерв, способный к быстрой адаптации при смене технологических укладов. В конечном счете укрепляется экономическая безопасность государства в целом.

Для Белорусской железной дороги эта модель опережающего образования особенно актуальна в контексте реализации подпрограммы «Железнодорожный транспорт» Государственной программы «Транспорт Беларуси» на 2026–2030 годы, которая направлена на повышение эффективности железнодорожного транспорта, его безопасности и конкурентоспособности, развитие цифровых технологий и укрепление материально-технической базы. Стратегия развития отрасли разделена на три этапа: первый этап (2025–2030 годы) направлен преимущественно на модернизацию инфраструктуры и увеличение объемов перевозок, второй (2031–2035 годы) предполагает технологическое обновление и цифровую трансформацию, третий (2036–2040 годы) завершает процесс модернизации и адаптации железнодорожного транспорта под новые экономические вызовы [1].

В 2026 году коллектив Белорусской железной дороги пополнили более тысячи молодых специалистов, из которых 865 человек окончили профильные учебные заведения железнодорожной отрасли, что свидетельствует о сохранении интереса молодежи к отрасли при условии создания привлекательных условий труда и возможностей профессионального роста [2].

Таким образом, кадровая безопасность на транспорте в современных условиях не может обеспечиваться только за счет догоняющего образования; требуется переход к опережающей модели. Необходимо законодательно закрепить понятие опережающего образования в отраслевых документах и стратегиях развития транспорта. Целесообразно создать национальный или отраслевой координационный центр по прогнозированию компетенций и синхронизации образовательных программ с технологическими дорожными картами. Учреждениям высшего и среднего специального образования транспорта следует внедрить практику ежегодного обновления вариативной части учебных планов с участием работодателей и организаций – заказчиков кадров. Предлагается разработать систему ключевых показателей эффективности для образовательных организаций, оценивающую вклад в кадровую безопасность, включая долю выпускников, трудоустроенных на критически важные объекты, уровень их адаптивности и надежности.

Опережающее образование является стратегическим инструментом, который превращает человеческий капитал из потенциальной угрозы, связанной с ошибками, некомпетентностью и утечкой, в главный фактор безопасности и конкурентоспособности транспортной отрасли. Только системный подход, объединяющий государство, бизнес и образование, способен обеспечить кадровый суверенитет и бесперебойную работу транспорта в условиях любых вызовов.

Список литературы

1 Методические рекомендации по разработке стратегий развития отраслей сферы услуг (видов экономической деятельности) до 2035 года / М-во экономики Респ. Беларусь ; Научно-исследовательский экономический институт М-ва экономики Респ. Беларусь. – Минск, 2024. – 35 с.

2 В 2026 году коллектив Белорусской железной дороги пополнили более тысячи молодых специалистов. – URL: https://www.rw.by/corporate/press_center/corporate_news/ 2026/09/v-2026-godu-kollektiv-belorusskoy-zheleznoy-dorogi-popolnili-bolee-tysyachi-molodykh-spetsialistov/ (дата обращения: 10.09.2026).

УДК 372.862

РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОЕКТНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ДЛЯ МОТИВИРОВАНИЯ ОСВОЕНИЯ БАЗОВЫХ ИНЖЕНЕРНЫХ ДИСЦИПЛИН

Е. А. ЧАБАН
Красноярский институт железнодорожного транспорта – филиал Иркутского государственного университета путей сообщения, Российская Федерация

В условиях активной трансформации системы высшего образования России вопрос подготовки инженера для выполнения линейных работ в железнодорожной отрасли остается ключевой стратегической задачей. Средний балл ЕГЭ зачисленных на первый курс обучающихся по специальности 23.05.06 «Строительство железных дорог, мостов и транспортных тоннелей» специализации «Управление техническим состоянием железнодорожного пути (СЖД.2)» практически во всех российских университетах путей сообщения за 2025 год, как правило, не превышает 50 баллов несмотря на достаточно высокую востребованность инженеров данной специализации на территории Российской Федерации [1]. Учитывая невысокую школьную подготовку студентов первого курса по естественнонаучным дисциплинам [2, 3], особенно в региональных вузах и филиалах, для формирования общепрофессиональных компетенций у обучающегося необходимо обеспечить его фундаментальную подготовку, основанную на существующих межпредметных связях между такими базовыми инженерными дисциплинами (БИД), как «Инженерная графика», «Теоретическая механика» и «Сопротивление материалов», а также связь с будущей профессиональной деятельностью.

С целью повышения мотивированности студентов КрИЖТ ИрГУПС к освоению БИД для обучающихся 2-го курса по специализации СЖД.2 было организованно вовлечение в проектную деятельность [3], в результате которой планировалось создание инженерного объекта железнодорожной инфраструктуры – ферменной конструкции. Реализация такого проекта представляет собой комплексную задачу, для решения которой необходимы знания из всех БИД [2, 4]. Процесс выполнения проекта состоял из четырех основных этапов: подготовительный, проектировочный, технологический и контролирующий. Каждый этап направлен на формирование конкретных компетенций и

поддержание высокого уровня мотивации к обучению за счет наглядности полученного результата.

1 Подготовительный этап. Изучение технологического процесса создания инженерной конструкции, поиск существующих эксплуатируемых ферменных конструкций, принятие решения о виде создаваемой ферменной конструкции.

Согласно Учебному плану специализации СЖД.2 расчет плоской фермы различными методами студенты осваивают в рамках освоения дисциплины «Теоретическая механика». В качестве мотивационного 1 аспекта для обучающегося выступает возможность самопроверки правильности выполнения расчета, путем применения разных методов расчета – как аналитических, так и графических.

2 Проектировочный этап. Разработка чертежа ферменной конструкции, деталировка, выбор материала конструкции. На этом этапе студенты принимают решение об основных геометрических характеристиках фермы, о статических свойствах фермы, выбирается материал, из которого ферма будет изготовлена. На основе принятых технических решений студентами был разработан чертеж сборно-разборной модели ферменной конструкции (рисунок 1). Для разработки чертежа студент должен обладать навыком работы в САПР, который он получает при освоении дисциплины «Инженерная графика», статические свойства и выбор материала конструкции – «Сопротивление материалов».

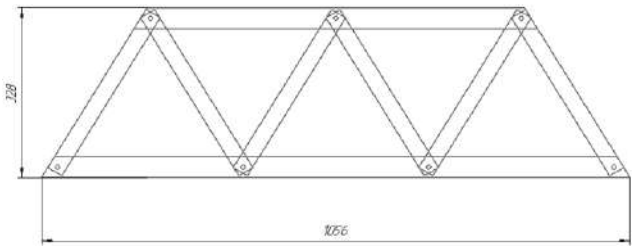


Рисунок 1 – Чертеж сборно-разборной модели ферменной конструкции

3 Технологический этап. На этом этапе происходит изготовление деталей и сборка конструкции (рисунок 2). Перед непосредственной сборкой конструкции студентами была выполнена подготовка стержней – калибровка, зачистка и покраска поверхностей каждого стержня (см. рисунок 2, *а*).

4 Контролирующий этап. После сборки ферменная конструкция (см. рисунок 2, *г*) проверяется на геометрическую точность и геометрическую неизменяемость при ее нагружении.

В данном случае мотивационным аспектом является возможность «доработать» конструкцию после предварительного осмотра преподавателем, имитирует реальный производственный процесс, где технический контроль является обязательным этапом перед эксплуатацией инженерного объекта.

а)



б)



в)



г)



Рисунок 2 – Сборно-разборная модель ферменной конструкции моста:
а – деталировка элементов фермы; *б* – сборка нижнего пояса фермы; *в* – сборка боковой части фермы; *г* – модель ферменной конструкции моста

Таким образом, для реализации проекта – создания ферменной конструкции – обучающиеся применили свои знания в части БИД. Проведенная рефлексия по результатам данного проекта показала, что студентами была выявлена связь между знаниями, получаемыми при освоении «Инженерной графики», «Теоретической механики» и «Сопротивлением материалов» и реальными инженерными проблемами. Также в процессе выполнения проекта были выявлены образовательные дефициты, связанные с недостаточным уровнем фундаментальной подготовки, который выражается в разрыве между теоретическими знаниями, полученными в рамках базовых дисциплин, и способностью применить их для решения конкретных инженерно-технических задач.

Список литературы

1 **Чабан, Е. А.** Профориентационная роль практики в подготовке инженерных кадров для транспортной отрасли / Е. А. Чабан, И. С. Григорьев, И. Г. Кириченко // Вестник ПривГУПС. – 2026. – Т. 2, № 1 (71). – С. 144–150.

2 **Богомаз, И. В.** Механика как основа преемственности школьного и высшего инженерно-технического образования / И. В. Богомаз, Е. А. Чабан // Вестник Томского государственного педагогического университета. – 2026. – № 2 (244). – С. 108–116.

3 **Богомаз, И. В.** Инженерно-техническая направленность проектной деятельности обучающихся как основа профессионального самоопределения / И. В. Богомаз, Е. А. Чабан // Crede Experto: транспорт, общество, образование, язык. – 2025. – № 3 (46). – С. 243–257.

4 **Чабан, Е. А.** Особенности использования профессионально адаптированных графических заданий для студентов железнодорожных специальностей / Е. А. Чабан, Н. В. Стрикалова // Научно-педагогическое обозрение. – 2024. – № 1 (53). – С. 32–38.

УДК 378:37.035.6:342.9

ВОСПИТАНИЕ ПАТРИОТИЗМА И ГОСУДАРСТВЕННОСТИ У СТУДЕНЧЕСКОЙ МОЛОДЁЖИ – ВАЖНЕЙШИЙ ПРИНЦИП КАДРОВОЙ ПОЛИТИКИ ГОСУДАРСТВА

Г. М. ЧАЯНКОВА
Белорусский государственный университит транспорта, г. Гомель

Вопросы кадровой безопасности в Республике Беларусь сейчас актуальны как никогда. Ведь кадровая безопасность – это состояние защищённости государства, отраслей экономики и сфер деятельности, в т. ч. и транспортного комплекса, регионов и организаций, от внутренних и внешних рисков, вызовов и угроз, связанных с кадрами и их потенциалом. И не случайно в 2024 г. Президент Республики Беларусь А. Г. Лукашенко издал Указ № 1 «О концепции государственной кадровой политики Республики Беларусь». В ней, в частности, отмечается, что государственная кадровая политика основывается на ряде принципов, среди которых патриотизм и государственность.

В формировании патриотизма и государственности в образовательном процессе высшей школы важной составляющей является изучение социально-гуманитарных дисциплин, таких как «История белорусской государственности», «Великая Отечественная война советского народа (в контексте Второй мировой войны)».

Так, изучение курса «История белорусской государственности», на наш взгляд, оказывает значительное влияние на патриотическое воспитание студенческой молодёжи, способствует пониманию, уважению и сохранению нашего историко-культурного наследия. На лекциях и практических занятиях рассматриваются как героические, так и трагические моменты нашего прошлого, достижения и противоречия, что позволяет показать объективно нашу историю, избежать всевозможных манипуляций историческими фактами.

В направлении героико-патриотического воспитания большое внимание уделяется историческим личностям, внесшим значительный вклад в развитие нашей государственности, культуры, прославившим наши земли своей государственной, религиозной и героической деятельностью. У белорусского народа много таких знаменитостей и молодёжи обязательно знать и помнить их. Это Евфросиния Полоцкая, Кирилл Туровский, Всеслав Чародей, Франциск Скорина, Лев Сапега, Янка Купала, Якуб Колос, Пётр Машеров и др.

Богатейший воспитательный потенциал содержит в себе тема «Великая Отечественная война – ключевое событие новейшей истории». События Великой Отечественной войны – одна из самых

героических и трагических страниц белорусской истории. Поэтому одной из важнейших задач при изучении этого периода истории белорусской государственности является воспитание патриотизма и любви к родине на примере событий и героев Великой Отечественной войны, чувства гордости за великий подвиг нашего народа в годы войны, за Великую Победу. Очень важно, чтобы студенческая молодёжь понимала, что она родилась и выросла в стране-победительнице, в республике с гордым названием «Беларусь», в республике-партизанке, как её принято называть за значительный вклад в разгром фашизма.

И ещё один очень важный воспитательный аспект в преподавании дисциплины «История белорусской государственности» – доведение до студенческой молодёжи понимания того, что современная Беларусь – это динамично развивающееся государство и нам есть чем гордиться. Сегодня Беларусь – промышленно развитая страна, которая, несмотря на ограниченность собственных топливно-энергетических ресурсов и важнейших видов сырья, смогла существенно нарастить свой производственный потенциал. В мировом рейтинге по индексу конкурентно-способности промышленность Беларуси находится сейчас на 47-й позиции из 152 стран мира. Входит в число лидеров среди мировых производителей грузовых автомобилей, тракторов, дорожно-строительной и коммунальной техники.

Беларусь является атомной, космической и биотехнологической державой.

Отличительной чертой белорусской модели развития стало сохранение существующих и формирование новых социальных стандартов и благ. Беларусь сегодня является, по сути, единствнной страной в мире, где имеется бюджетная медицина. У нас не только сохранилась, но и была глубоко модернизирована инфраструктура здравоохранения.

Особой гордостью страны является семейная политика. В Беларуси самый большой в мире декретный отпуск. У нас выплачиваются пособия в связи с рождением и воспитанием детей, разработаны и выполняются программы семейного капитала, производится социальное обслуживание семей с детьми, осуществляется государственная поддержка при строительстве или реконструкции жилья.

В Беларуси проводится целенаправленная политика недопущения чрезмерного неравенства. Курс на всеобщую занятость населения привёл к одной из самых низких безработиц в мире – 0,8 %.

В индексе социального прогресса по показателю «Доступ к базовым знаниям» Беларусь занимает 17-е место среди 169 стран. Наше образование сохранило лучший советский опыт и традиции, обогатив их передовыми достижениями. В стране реализуются государственные программы поддержки одарённых учащихся и талантливой молодёжи.

Благодаря своей социально-экономической модели наша страна добилась колоссальных успехов на всех направлениях. Сегодня она – равная среди равных в мировом сообществе.

Такая информация, как правило, воспитывает у молодёжи позитивное отношение к своей стране, своему трудолюбивому народу, гордость за её успехи и достижения.

Важную роль в воспитании студенческой молодёжи при преподавании дисциплины «История белорусской государственности» играет и сам преподаватель, который должен обладать высокоразвитым мышлением, передавать будущим специалистам не только знания, но и показывать свою активную гражданскую позицию, позитивное отношение к экономической ситуации в стране в современных условиях, социальной защищённости населения, традициям государства.

Значителен воспитательный потенциал форм и методов преподавания дисциплины «История белорусской государственности». Эффективное использование новых педагогических технологий способствует проявлению нравственной и гражданской позиции студенческой молодёжи по важным вопросам истории и развития белорусского общества. Особую роль в этом плане играет организация самостоятельной управляемой работы студентов по отдельным темам курса «История белорусской государственности». Так, студенты самостоятельно изучают тему «Государственные символы Беларуси». С помощью преподавателя, рекомендуемой литературы, интернет-источников студенты изучают материалы об истории и символическом значении Государственного флага, Государственного герба и его смысловой трактовке, о Государственном гимне и его истории, государственных праздниках Республики Беларусь и их значении. У студентов складывается понимание того, что герб, флаг и гимн – это главные символы независимости, которые отображают национальные особенности белорусских граждан, передают историческое и культурное наследие народа. Эта работа, как правило, воспитывает у студентов уважительное отношение к государственной символике, которое подкрепляется такими важными мероприятиями воспитательного характера в университете, как акция «Споём гимн вместе» в День народного единства. Гимн наполнен глубоким

патриотическим смыслом, обладает большой силой воздействия на чувства людей и служит важнейшим фактором идеологического и эстетического воспитания студенческой молодёжи.

Освоение дисциплины «Великая Отечественная война советского народа (в контексте Второй мировой войны)» и осмысление беспримерного подвига советского народа, в т. ч. и белорусов, способствуют формированию у студентов гражданственности, патриотизма и ответственности за будущее государства и мирового сообщества.

В рамках изучения курса «Великая Отечественная война советского народа (в контексте Второй мировой войны)» студенты не только слушают лекции, но и смотрят документальные фильмы, пишут доклады и рефераты. Значительная часть студентов занимается поисковой и исследовательской работой. Так, ребята готовят доклады о своих родственниках, участвовавших в войне или переживших военное лихолетье. Это позволяет им узнать свою семейную историю и гордиться своими предками. Многие рефераты посвящены углубленному изучению истории своих деревень, посёлков, районов, городов в период Великой Отечественной войны, партизанскому и подпольному движению в своих регионах. Это помогает ближе познакомиться с малой родиной и открыть неизвестные страницы её истории. Такая работа молодёжи – это духовный памятник благодарных потомков, внуков и правнуков тем, кто приближал Победу, кто, не жалея самого дорогого – жизни, сознательно и смело шёл на борьбу с врагом.

Таким образом, изучение социально-гуманитарных дисциплин в значительной степени способствует воспитанию патриотизма и гражданственности у студенческой молодёжи, формирует у неё социальную ответственность, готовит к добросовестному отношению к будущей работе на благо своей Родины – Республики Беларусь.

УДК 656.25+06

РОЛЬ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ФАКТОРА В ОБЕСПЕЧЕНИИ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ И НАПРАВЛЕНИЯ ПОДГОТОВКИ КАДРОВ

Е. А. ЧЕБОТАРЕВА, И. А. СОЛОП, Е. В. РЯЗАНОВА
Ростовский государственный университет путей сообщения, Российская Федерация

При анализе вопросов безопасности железнодорожного транспортного комплекса особое внимание уделяется таким направлениям, как оценка роли человеческого фактора в обеспечении безопасности движения поездов, а второй аспект, который неразрывно влияет на первый, в целом связан с обеспечением кадровой безопасности транспортного комплекса. В исследовании [1] наиболее наглядно показано, как процессы подготовки и обеспечения кадров (вершина когнитивной карты V5) на примере припортовой транспортно-технологической системы (ПТТС) влияет на другие аспекты работы железнодорожной отрасли. Так, простейшая когнитивная карта показывает, как положительные/отрицательные изменения в вершине V_i вызывают отрицательные/положительные изменения в вершине *Vj* (рисунок 1).

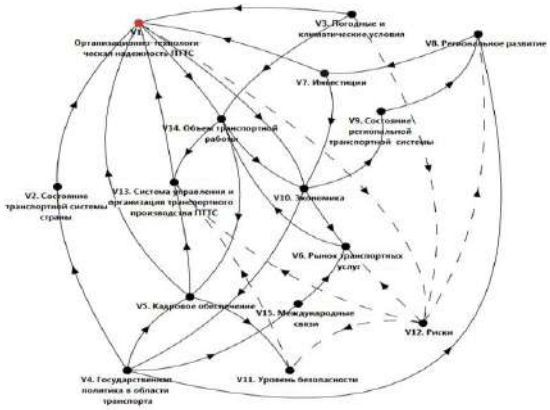


Рисунок 1 – Когнитивная карта G_k = <*V, S*> с анализом влияния кадрового обеспечения

Текущие и стратегические задачи развития железнодорожной отрасли определяют несколько базовых целей для системы подготовки кадров: с одной стороны – обеспечение транспортной системы квалифицированным персоналом для ее устойчивой и бесперебойной работы, а с другой – формирование образовательной среды и инструментов, отвечающих изменениям в отрасли.

Тенденции развития образования в системе обеспечения кадровой безопасности транспортной отрасли в условиях появления в современный период достаточно большого количества угроз и чрезвычайных ситуаций должны отвечать ряду требований, среди которых:

– переход к опережающей подготовке кадров, цифровизация и тесная интеграция образовательных организаций с транспортными предприятиями;

– постоянная переподготовка и повышение квалификации персонала для нейтрализации профессиональных рисков;

– внедрение искусственного интеллекта и цифровых инструментов как в области обучения кадров, так и для моделирования компетенций, оценки рисков дефицита кадров.

При рассмотрении данных аспектов с позиций оценки роли человеческого фактора в обеспечении безопасности движения поездов определены причины нарушений безопасности движения, для которых высокую долю влияния оказал человеческий фактор (таблица 1).

Рассмотрим проявления человеческого фактора на примере станции «Л».

Случай 1. Дежурный по сортировочной горке не остановил роспуск вагонов при нагоне отцепа. Человеческий фактор: отсутствие взаимоконтроля между работниками, участвующими в процессе роспуска.

Случай 2. Регулировщик скорости движения вагонов установил тормозной башмак под движущийся отцеп с перекосом. Человеческий фактор: нарушение требований инструкции.

Случай 3. Составитель поездов не принял мер к остановке состава после отсутствия подтверждения от машиниста. Человеческий фактор: нарушение регламента переговоров.

Таблица 1 – **Причины нарушений безопасности движения**

Причина	Доля, %
1 Несоблюдение инструкций. Нарушение работниками инструкций и технологий	До 65
2 Недостаток взаимодействия между сотрудниками при выполнении технологического процесса. Нарушение регламента служебных переговоров	До 20
3 Низкий уровень контроля между работниками за производимым процессом. Отсутствие проверок руководителей выполнения работниками должностных обязанностей. Отсутствие взаимоконтроля между работниками станций	До 15

Для повышения профессиональных компетенций работников, поддержания необходимого уровня знаний для безопасного выполнения должностных обязанностей в дирекции организована работа по трем направлениям: профессиональное развитие в учебных центрах; профессиональное развитие с использованием системы дистанционного обучения (СДО); техническая учеба.

Нужно отметить, что сегодня система технической учебы должна выстраиваться на принципах индивидуальных траекторий развития и предоставления работнику возможности поддержания уровня своих знаний за счет имеющихся систем обучения и тренажеров, т. е. создания доступной среды. Кроме того, для реализации производительности труда в дирекции движения реализуются мероприятия по совмещению профессий [2], что также требует высокого уровня подготовки персонала. Поэтому дальнейшее развитие технической учебы в дирекции должно выстраиваться с учетом снижения рисков некачественного и формального подхода к проведению технических занятий путем разработки инструментов объективной оценки уровня знаний и навыков для формирования индивидуального подхода в обучении, а также методов проведения практических занятий, включая развитие тренажеров. В качестве одного из этапов повышения эффективности организации технической учебы рассмотрен вопрос внедрения технологий искусственного интеллекта при создании годового плана техучебы и организации теоретической части технической учебы. Ключевой особенностью работы нейросети является адаптация годового плана технической учебы под индивидуальные признаки группы. В случае занесения работника в группу риска по результатам работы в отчетный период нейросеть задействует индивидуальные признаки работника и формирует индивидуальный план развития. Данный план закрепляется в личном кабинете на сервисном портале. Предусматривается формирование режима собеседника для ответов на вопросы и подготовки отче-

тов (по изъятым талонам по охране труда, нарушениям в границах ДЦС и прочее). Теоретическая учеба дополняется практическими занятиями на учебных тренажерах с возможностью передачи отчетов в имеющиеся системы технической учебы ОАО «РЖД». Развитие данной концепции отвечает запросам транспортной отрасли, вызванным изменениями в подходах к организации образовательного процесса и внедрением новых образовательных технологий.

Список литературы

1 **Горелова, Г. В.** Припортовые транспортно-технологические системы, когнитивное моделирование / Г. В. Горелова, Е. А. Чеботарева // Системный анализ в проектировании и управлении : сб. науч. тр. XXVIII Междунар. науч.-практ. конф. : в 2 ч., Санкт-Петербург, 27–29 июня 2024 года. – СПб. : Политех-Пресс, 2024. – С. 353–362. – DOI: 10.18720/SPBPU/2/id24-470. – EDN MKKOPG.

2 Расчет эффективности внедрения новых профессий на опорной станции «К»: составитель поездов (универсал) и оператор информационных систем / В. Н. Зубков, Н. Н. Мусиенко, Е. В. Рязанова, Н. А. Рязанов // Транспорт: наука, образование, производство : сб. науч. тр. Междунар. науч.-практ. конф., Ростов-на-Дону, 20–21 апр. 2026 г. – Ростов н/Д : РГУПС, 2026. – С. 129–133. – EDN ZEIMZR.

УДК 316.354:378:656

УПРАВЛЕНИЕ НАСТАВНИЧЕСКИМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕМ В ТРАНСПОРТНОМ ВУЗЕ: РАСПОЗНАВАНИЕ, СООБЩЕНИЕ И РАССМОТРЕНИЕ ЗАТРУДНЕНИЯ

В. А. ЧИСТЯКОВ, Л. Ю. КАТАЕВА
Нижегородский институт путей сообщения –
филиал Приволжского государственного университета путей сообщения, Российская Федерация

Тема наставничества с недавнего времени снова введена в социально-образовательный контекст. Ее актуальное трактование во многом перекликается с традиционным советским пониманием роли «старшего опытного товарища-коллеги». Однако наставничество в условиях современной высшей школы выполняет более широкие задачи. В транспортном вузе, где практикоориентированное обучение занимает большую долю учебного времени, наставническое взаимодействие не сводится к передаче профессиональных знаний и оценке результата. Оно включает координацию учебных действий, уточнение оснований решения и организацию содержательной обратной связи. Особую проблему образует ситуация, когда студент, выполняя научно-образовательную задачу, вдруг самостоятельно обнаруживает ограничение вывода, но не сообщает о нём наставнику. Такое молчание не удостоверяет ни незнания, ни согласия: познавательное действие может быть совершено, тогда как управленческое значимое взаимодействие не состоится. Поэтому предмет исследования – связь статусных отношений и взаимных обязательств с переходом от распознавания затруднения к его рассмотрению, а не личная смелость обучающегося, способного принимать самостоятельные управленческо-организационные решения.

Авторы, работающие в социологической парадигме [1, с. 94], рассматривают доверие через взаимно ожидаемые результаты. В [2, с. 354–355] А. Эдмондсон связывает обсуждение ошибок с представлениями участников о межличностном риске, отличая безопасность обсуждения от вседозволенности. Ресурсная концепция университетского управления обращает внимание на время и коммуникации преподавателей [3, с. 82–83]. Однако признанное право уточнить вывод по результату исследования не устанавливает, кто, когда и как должен рассмотреть итоговое конкретное сообщение.

Авторы [4, с. 5–6] рассматривают проверку соответствия математического результата исходной ситуации и коммуникационные действия при моделировании. Это дидактическое основание для анализа уточнений, но не объяснение статусного взаимодействия. В настоящем исследовании умение обнаружить ограничение отделяется от возможности предъявить его наставнику и получить содержательный ответ.

Цель исследования – попытка разработать модель перехода от распознавания ограничения к содержательному ответу. Методы – сопоставление источников, разделение событий и конструирование примера. Единица наблюдения – один заранее определенный эпизод проверки решения каждым студентом. Ситуации и числа условны; полевые измерения не проводились.

В учебном проекте анализируется опрос пассажиров, проведенный только утром в будние дни. В задании предлагается вывод обо всех поездках за неделю. Студент до обсуждения письменно отмечает, что вечерние и выходные поездки не представлены, но на встрече замечание не предъявляет. Познавательное действие совершено, а управленчески значимое взаимодействие не состоялось. Причиной могут быть отсутствие времени, неясный адресат, представление о бесполезности обращения либо ожидание негативной реакции. Ни одно объяснение нельзя приписывать студенту без исследования.

Разделяются распознавание ограничения в самостоятельной записке, сообщение наставнику и рассмотрение довода с объяснением решения. Руководство обеспечивает время и замещение; наставник рассматривает аргумент, студент обосновывает уточнение. Предполагаемый механизм состоит в изменении ожиданий еще до обсуждения: понятный порядок обращения и известная обязанность ответить дают основание рассчитывать на содержательную реакцию. Последующий ответ в том же эпизоде не может объяснять уже совершенное сообщение; он показывает исполнение обязательства.

Рассмотрение не означает обязательное согласие. В нашем примере наставник может принять ограничение и сузить вывод до утренних поездок по будням. Он может также показать дополнительные данные, позволяющие сохранить более широкий вывод. Формальное «принято к сведению» без разбора аргумента не считается содержательным ответом. Факт сообщения и качество ответа устанавливаются независимо, по записи обсуждения и экспертной оценке.

В каждом условном режиме 20 студентов проверяют по одному ограничению. Распознали его по 12, сообщили 3 и 9 из распознавших: 25 и 75 % (таблица 1). Ответ получили 2 из 3 и 8 из 9 сообщивших. Это разные переходы; их различия не являются установленным эффектом управления.

Таблица 1 – **Условный пример**

Событие / показатель	Условный режим	
	А	Б
Распознали ограничение	12 из 20	12 из 20
Сообщили из распознавших	3 из 12 (25 %)	9 из 12 (75 %)
Получили содержательный ответ из сообщивших	2 из 3	8 из 9
Примечание – Данные не являются результатом исследования.		

Гипотеза: при сопоставимой подготовке известная до обсуждения обязанность наставника рассмотреть довод связана с более частым предъявлением уточнений. Сравниваются несколько команд на равнозначных задачах. Способность распознавать ограничение измеряется письменно до назначения дополнительных мер. Ожидания участников фиксируются до встречи. Обычное сопровождение сохраняется для всех; причинный вывод требует обоснованного сравнительного дизайна. Анализ по всем исходно включенным проводится отдельно от условных долей среди распознавших.

Сопоставляются записи обсуждений, отдельные интервью и качество продукта; учитываются опыт наставника и сложность задания. Неизвестное сообщение не приравнивается к его отсутствию. Ответ оценивается после обсуждения как самостоятельный результат. Если при достаточно точном сравнении заранее введенный порядок не связан с ожидаемой реакцией и предъявлением уточнений, гипотеза не получает поддержки.

Авторы, рассматривавшие подобную управленческую проблему в условиях реального предприятия [5, с. 71], отмечают дублирование планирования и возможное рассогласование действий подразделений транспортной организации. Здесь это иллюстрирует отраслевой пример проблемы координации, а не доказательство недостатков подготовки в транспортном вузе. Для развития концепции наставничества проверяется, сохраняются ли адресат и обязанность ответить при передаче вопроса руководителю подразделения.

Организационная мера включает время разбора, замещение и мотивированное решение. Если данные о выходных поездках недоступны, наставник обращается к руководителю; тот согласует их получение либо изменение задачи. Обязанность студента сообщить дополняется обязанностью наставника рассмотреть, а обязанность наставника – возможностью получить решение руководителя. Таким образом, проверяется реальное взаимодействие, а не число отчетных форм.

Для диагностики отдельно рассчитываются распознавание, сообщения среди распознанных ограничений и ответы среди сообщений; время ответа измеряется в рабочих днях. Единица счета –

эпизод. Рост сообщений сам по себе не означает ухудшения подготовки. Интервью добровольны, не используются для учебных оценок и не передаются руководителю для индивидуальных санкций. Причины молчания проверяются отдельно от пропусков данных.

Практическая значимость модели состоит в создании условий, при которых уточнение вывода становится не актом личной решимости того или иного субъекта, а нормальным элементом наставнического взаимодействия. Разделение познавательной готовности, действия в статусном взаимодействии и организационной реакции при взаимной ответственности происходят на двух уровнях: «студент – наставник» и «наставник – руководитель». Социальные механизмы взаимодействия университета и студенческой молодежи играют важную роль в формировании траектории профессионального развития студента, но требуют постоянного сопровождения и контроля в вузе.

Список литературы

1 **Зборовский, Г. Е.** Доверие в высшем образовании как социологическая проблема / Г. Е. Зборовский, П. А. Амбарова // Социологический журнал. – 2018. – Т. 24, № 4. – С. 93–112. – DOI: 10.19181/socjour.2018.24.4.6099.

2 **Edmondson, A.** Psychological Safety and Learning Behavior in Work Teams / A. Edmondson // Administrative Science Quarterly. – 1999. – Vol. 44, № 2. – P. 350–383. – DOI: 10.2307/2666999.

3 **Зборовский, Г. Е.** Мобилизация ресурсности научно-педагогического сообщества в российских вузах: от проблемы к концепции / Г. Е. Зборовский, П. А. Амбарова // Социологический журнал. – 2023. – Т. 29, № 1. – С. 78–96. – DOI: 10.19181/socjour.2023.29.1.4.

4 **Архаров, Е. В.** О некоторых теоретических аспектах прикладной направленности обучения высшей математике студентов / Е. В. Архаров, Л. Ю. Катаева // Современные проблемы науки и образования. – 2019. – № 6. – DOI: 10.17513/spno.29433. – URL: https://s.science-education.ru/pdf/2019/6/29433.pdf (дата обращения: 27.09.2026).

5 **Неумоин, В. А.** Оптимизация управления технологическими процессами инфраструктурного комплекса Российских железных дорог / В. А. Неумоин, Л. Ю. Катаева, Е. Г. Неумоина // Современные наукоемкие технологии. – 2024. – № 3. – С. 69–75. – DOI: 10.17513/snt.39948.

УДК 378.096

НЕКОТОРЫЕ РИСКИ ВНЕДРЕНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В УЧЕБНЫЙ ПРОЦЕСС

С. В. ШАПИРО
Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Значимость транспортной сферы для народного хозяйства требует комплексных решений для надежной и устойчивой работы, так как пространство транспортной инфраструктуры является зоной повышенной опасности и рисков. «Железнодорожный транспорт – не просто отрасль экономики, а ключевой элемент национальной инфраструктуры, от которого зависит, в том числе, качество жизни миллионов граждан. Железнодорожный транспорт обеспечивает как социально-экономическое развитие регионов, так и обороноспособность и безопасность государства» [4, с. 55].

Обеспечение безопасного функционирования таких сложных технических систем как транспортный комплекс включает множество составляющих. Это и производственно-техническая база, и нормативное оснащение эксплуатации, и правовой фундамент, и кадровое обеспечение. Фундаментальным социальным капиталом, обеспечивающим существование общества, его стабильность и развитие, является человек. Именно человек – и цель, и основной мыслящий актив любых экономических и производственных отношений, включая транспортную отрасль.

Современным вызовом для персонала практически во всех видах хозяйственной деятельности становятся «насыщенность цифровыми технологиями и возрастающая степень автоматизации» [2, с. 25], что требует соответствующей информационной грамотности. Кадровая надежность в настоящее время предполагает вдумчивое и осмотрительное отношение сотрудников к возможностям искусственного интеллекта и нейросетей.

Использование искусственного интеллекта обусловливает ускорение и удешевление многих технологических и производственных процессов. Искусственный интеллект незаменим для обработки больших массивов данных во всех областях науки и практики. Эти реалии современности

одновременно облегчают деятельность человека, делают ее более комфортной, но вместе с тем формируют новые цивилизационные риски.

Применение искусственного интеллекта в обучении вызывает у педагогического сообщества вопросы, связанные с возможными проблемными эффектами этих технологических новшеств. Потенциал внедрения искусственного интеллекта в учебный процесс не вызывает сомнений. Однако зачастую, обращаясь к помощи искусственного интеллекта, пользователь получает готовый ответ на свой запрос, не имея необходимости изучать механизмы достижения требуемого результата.

В высшем образовании, которое нацелено на овладение учащимися профессиональными компетенциями, это процедурное облегчение учебы может привести к поверхностным представлениям о профессиональной специфике, о внутреннем наполнении трудовых задач. Результатом может стать ухудшение уровня профессиональной подготовки, снижение кадрового потенциала производства, в том числе, в транспортном образовании. «Ключевой приоритет – безопасность пассажиров и персонала» [2, с. 26] окажется под угрозой.

В теории образования указанные феномены на текущий момент недостаточно осмыслены. Интеграция информационных технологий в учебный процесс и преподавателями, и учащимися стала данностью. Однако есть опасения относительно возможных последствий внедрения искусственного интеллекта в учебный процесс в долгосрочной перспективе.

Так, искусственный интеллект как полезный, быстродейственный, удобный инструмент может применяться преподавателями для разработки и проверки выполненных учащимися тестов, для первичного анализа сделанных учащимися ошибок и выявления наиболее частых из них. Подобные наработки позволяют снизить рутинную педагогическую нагрузку, сэкономить время и силы. Таким образом, даже представителям педагогического сообщества нелегко избежать соблазна использовать готовые решения для облегчения труда.

Учащиеся же используют подсказки искусственного интеллекта для гораздо более широкого спектра задач. Это и выполнение типовых учебных заданий (например, тестов), и написание работ, предполагающих личностную вовлеченность, таких как эссе, сочинения, творческие проекты. Из-за делегирования подобных видов обучения машинным алгоритмам учащиеся меньше и хуже думают сами, не развивают критические и аналитические способности. Может сформироваться бездумное доверие к информации, полученной от нейросетей, хотя последние могут генерировать фактически неверные, неточные ответы. Большим риском становится отсутствие необходимости развивать собственные когнитивный потенциал.

Таким образом, отказаться от искусственного интеллекта в процедурно-дидактическом оснащении учебы уже невозможно, но важно сразу же стараться нейтрализовать возможные негативные моменты. Данная дилемма является новым цивилизационным вызовом для системы образования. Разрабатываются предложения и рекомендации для подготовки специалистов, настойчиво акцентирующие необходимость практико-ориентированных образовательных программ [3].

Одновременно (возможно, даже несколько парадоксальным образом) усиливается внимание к предметам, «непрофильным» для технических, в том числе транспортных, вузов. Это учебные дисциплины, связанные с социальными и гуманитарными науками, нацеленные на обогащение кругозора и формирование базовой культуры, такие как «Социальное взаимодействие», «Навыки личной эффективности», «Русский язык и деловые коммуникации».

Актуализируется понимание, что профессиональное становление – это не только передача конкретной технологической информации, но личностное развитие, которое позволит гибко и адаптивно реагировать на эволюцию пространства трудовой деятельности. Именно личностные («универсальные» в терминологии федеральных государственных стандартов высшего образования) компетенции – залог эффективного решения реальных профессиональных задач.

Компетентностная парадигма в образовании в целом ориентирована на гуманистические ценности, на внутренний мир и личностные свойства начинающего профессионала [5]. Владение не только актуальными цифровыми компетенциями, но и так называемыми «гибкими» навыками обусловливает стабильную работу специалиста [1] и, следовательно, надежность трудовых кадров.

Повсеместная цифровизация и использование искусственного интеллекта для самого широкого спектра задач человеческой жизнедеятельности позволяет «передать» информационным технологиям множество рутинизируемых, не требующих авторского творческого начала и субъектного отно-

шения функций. Конечно, совершенно автоматизированных сфер, функционирующих полностью без участия человека, пока нет. Также сформировать и сформулировать жизненные отношения и цели деятельности, прожить насыщенную, интересную, содержательную, яркую и осмысленную жизнь остается исключительно человеческой проблемой.

Список литературы

1 **Бердникова, К. Э.** Роль формирования мягких навыков при обучении студентов вуза / К. Э. Бердникова // Инновационная наука. – 2024. – № 10–1. – С. 155–158.

2 **Гончарова, Л. А.** Системные решения по актуализации и развитию нормативного обеспечения безопасности эксплуатации высокоскоростного железнодорожного транспорта / Л. А. Гончарова, А. Н. Белоус, С. Цзэн // Проблемы безопасности на транспорте : материалы XIV Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. пятилетке качества. В 2 ч. Ч. 2 / Белорус. гос. ун-т трансп. ; под общ. ред. Н. Н. Казакова.– Гомель, 2025. – С. 25–26.

3 Об утверждении Концепции технологического развития на период до 2030 года : распоряжение Правительства РФ от 20.05.2023 № 1315-р // Собрание законодательства РФ. – 2023. – № 22. – Ст. 4012.

4 **Посохов, С. С.** Власть и общество: соработничество в железнодорожном строительстве / С. С. Посохов, О. В. Самылов // Железные дороги в мировой истории (к 200-летию отрасли) : сб. ст. Междунар. науч.-практ. конф. / Петербургский гос. ун-т путей сообщения Императора Александра I. – СПб., 2026. – С. 54–58.

5 **Хуторской, А. В.** Методологические основания применения компетентностного подхода к проектированию образования / А. В. Хуторской // Высшее образование в России. – 2017. – № 12 (218). – С. 85–91.

УДК 378.147.88:378.6:656

УСИЛЕНИЕ ПРАКТИКО-ОРИЕНТИРОВАННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ТРАНСПОРТНОГО УВО И ОРГАНИЗАЦИЙ – ЗАКАЗЧИКОВ КАДРОВ: ПОТЕНЦИАЛ И МЕХАНИЗМЫ РЕАЛИЗАЦИИ

С. Л. ШАТРОВ, М. О. ДОЛБИКОВА

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Современная быстроменяющаяся экономическая ситуация, высокий уровень цифровизации, а также мировые тенденции развития системы образования диктуют свои условия, что формирует особые направления развития системы высшего образования в Республике Беларусь.

Текущая образовательная парадигма в Республике Беларусь, в соответствии с нормами Кодекса об образовании, базируется на компетентностной модели. Данный подход кардинально меняет вектор организации учебного процесса, смещая акцент с усвоения теоретической информации на достижение конкретных практических результатов [1]. Ключевыми принципами такого подхода являются практическая направленность обучения, активное участие обучающегося и индивидуализация процесса его подготовки, а также формирования модели «непрерывности образования».

Практико-ориентированный подход, получивший свое развитие в данных условиях, базируется на тесной синхронизации двух факторов успешного освоения профессиональных компетенций: теоретических знаний и практических навыков. Важным условием является смещение фокуса с простого усвоения знаний на формирование навыков применения полученной информации на практике.

Особую значимость практико-ориентированный подход в обучении получает при подготовке специалистов для транспортного комплекса, представляющего собой одну из важнейших отраслей в национальной экономике страны. Технологическая сложность и непрерывность перевозочного процесса требуют повышенного внимания к кадровой безопасности транспортных организаций. Вследствие этого важной задачей университета транспорта как основной «кузницы кадров» для транспортного комплекса страны является реализация практико-ориентированного подхода для формирования у студентов прикладных навыков и профессиональных компетенций, а также адаптации будущих специалистов к производственным задачам. Это позволит существенно снизить риск возникновения ошибок на начальном этапе трудовой деятельности, сократить период интеграции в организационную структуру и социализацию молодого специалиста.

Важно определить, что успешное внедрение практико-ориентированного подхода в обучение студентов невозможно без участия базовых организаций – заказчиков кадров. На сегодняшний день

в условиях цифровизации и изменения демографической структуры общества бизнес проявляет всё большую заинтересованность к деятельности университета в целях обеспечения компетентными специалистами. В связи с этим возникает востребованность выпускников транспортного вуза не только со стороны соответствующих отраслевых организаций, но и со стороны организаций иных отраслей народного хозяйства.

В сложившейся ситуации необходимость внедрения практико-ориентированного подхода и повышенный интерес со стороны организаций формирует потребность в идентификации механизмов реализации практико-ориентированного подхода посредством усиления взаимодействия учреждения высшего образования и организаций – заказчиков кадров.

Таблица 1 – **Механизмы реализации практико-ориентированного подхода**

Объект воздействия	Механизм реализации	Потенциал
Аудиторные учебные занятия	Активное участие организаций в разработке учебных планов	Разработка актуальных учебных планов с необходимыми для современного специалиста компетенциями
	Внедрение в учебный процесс практических заданий, напрямую завязанных на производственные процессы ключевых организаций – заказчиков кадров	Формирование у студентов реальных практических навыков, понимание общего производственного процесса и изучение особенностей организации, актуализация знаний
	Привлечение к проведению занятий (лекций и семинаров) реальных практиков, сотрудников организаций	
Внеаудиторная деятельность	Проведение профориентационных бесед со специалистами организаций	Знакомство студентов с организациями – заказчиками кадров, возможность раннего привлечения молодых специалистов на практику, а в дальнейшем – на работу
	Открытые экскурсии (не во время практики) для учебных групп в организации – заказчики кадров	
Производственная практика	Разработка прикладного производственного плана практики для студентов – список практических навыков для отработки при прохождении практики	Повышение качества прохождения производственной практики, формирование реальных практических навыков
	Раннее распределение – студент уже на 2–3-м курсах определяет место будущей работы, закрепляется за ним, внедряется в процессы, изучает свой будущий «участок» работы	Сокращение сроков освоения трудовых функций при трудоустройстве, быстрая адаптация в коллективе, минимизация ошибок
	Определение «наставника» от организации для адаптации будущего молодого специалиста на практике и при трудоустройстве на первых порах	

Реализация представленных выше механизмов при взаимном сотрудничестве университета и заинтересованных организаций формирует практико-ориентированный комплекс, служащий основой для формирования реального практического опыта на этапе обучения в вузе и ускоренной адаптации при устройстве на работу.

В рамках современных образовательных тенденций развитие практико-ориентированного подхода является одной из ключевых целей, а значит, выступает важным направлением в совместной работе заинтересованных сторон в качественном образовании будущих специалистов транспортного комплекса и иных отраслей народного хозяйства. Это формирует необходимость идентификации и реализации механизмов внедрения практико-ориентированного подхода, что позволит высшим учебным заведениям повысить качество образования и развить в студентах практические навыки, а организациям получить уверенных в себе молодых специалистов, обладающих всеми необходимыми компетенциями, и обеспечит кадровую безопасность организации.

Список литературы

1 **Шатров, С. Л.** Цифровые компетенции в транспортном образовании / С. Л. Шатров // Проблемы безопасности на транспорте : материалы XIV Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. пятилетке качества (Гомель, 20–21 ноября 2025 г.) : в 2 ч. / под общ. ред. Н. Н. Казакова. – Гомель : БелГУТ, 2025. – Ч. 2. – С. 410–412.

УДК 331.108

КОРПОРАТИВНОЕ ОБУЧЕНИЕ КАК СРЕДА ПОВЫШЕНИЯ КАДРОВОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ

Н. А. ШОБОНОВ
Нижегородский институт путей сообщения – филиал Приволжского государственного университета путей сообщения, г. Нижний Новгород, Российская Федерация

Кадровая безопасность организации является одним из главных условий ее стабильной и эффективной работы. Низкая адаптивность к инновациям, современным технологиям в условиях возрастающей неопределенности, дефицит высококвалифицированного персонала являются серьезными угрозами кадровой безопасности [1]. Решение этой проблемы зависит в большой степени от развития системы профессионального непрерывного образования. Корпоративное обучение как стратегический инструмент развития персонала, на наш взгляд, может обеспечить кадровую безопасность и конкурентоспособность организации в современных условиях.

Современная система корпоративного образования представляет собой целостную экосистему, интегрированную в бизнес-процессы и нацеленную на формирование компетенций, необходимых для достижения стратегических целей организации.

Основная цель корпоративного обучения в современной организации заключается в систематическом развитии персонала для повышения производительности труда, трудовой адаптации, преадаптации к изменениям и достижении стратегических бизнес-результатов. Очевидно, что эффективное обучение должно быть не набором разрозненных мероприятий, а управляемой системой, производной от бизнес-стратегии.

Отметим *стратегические цели* корпоративного обучения.

1 Формирование компетенций, необходимых для реализации бизнес-стратегии и инноваций, когда корпоративное обучение становится фактором обеспечения кадровой безопасности в организации.

2 Развитие кадрового резерва и обеспечение преемственности на ключевых позициях.

3 Формирование и поддержание корпоративной культуры и ценностей организации.

4 Повышение гибкости организации и ее способности адаптироваться к изменениям рынка, формирование преадаптации персонала в условиях неопределенности (цифровизация, новые технологии, кризисы).

Операционные цели.

1 Повышение производительности труда и качества персонала через развитие профессиональных (hard skills) и надпрофессиональных (soft skills) компетенций.

2 Снижение операционных рисков (например, через обучение безопасности).

3 Ускорение адаптации новых сотрудников и снижение текучести кадров.

4 Рост вовлеченности и лояльности персонала через инвестиции в его развитие.

Задачами системы корпоративного обучения, как правило, являются:

а) диагностика потребностей бизнеса и сотрудников;

б) проектирование релевантных образовательных программ;

в) выбор эффективных форматов, обеспечение психолого-педагогической, посттренинговой поддержки;

г) оценка влияния на бизнес-результаты.

Ключевая проблема в организации корпоративного обучения, на наш взгляд, – это разрыв между обучением и реальными бизнес-процессами, когда программы не соответствуют актуальным задачам или не применяются на практике из-за отсутствия поддержки руководителей.

Эффективность процесса корпоративного обучения напрямую зависит от учета принципов андрагогики – науки об обучении взрослых. Взрослый обучающийся является активным, мотивированным субъектом процесса, обладающим жизненным и профессиональным опытом [2].

Ключевые принципы, которые необходимо учитывать при проектировании образовательных программ.

1 Опора на опыт. Взрослые учатся, соотнося новую информацию с имеющимся багажом знаний и практики (использование кейсов, разбор рабочих ситуаций, обмен опытом).

2 Ориентация на проблему. Повышение мотивации к обучению достигается при реализации образовательных программ, направленных на решение конкретных проблем и задач и карьерный рост персонала.

3 Самоуправление. Обучающиеся становятся субъектами образовательного процесса, самостоятельно выбирая пул курсов, тем самым обеспечивая персонализацию образовательной деятельности.

4 Практикоориентированность. Формирование практических навыков, используемых в реальной трудовой деятельности.

Для развития ключевых компетенций пассивные методы (лекции) малоэффективны. Требуются активные и практико-ориентированные форматы.

Тренинг – групповой интерактивный формат, эффективный для первичной отработки навыков коммуникации, обратной связи, решения конфликтов. Однако без последующего закрепления компетенций его эффект быстро исчезает. Для развития персонала наиболее ценны тренинги, насыщенные ролевыми играми и кейсами из реальной практики компании.

Рабочие (проектные) группы (обучение действием) – мощный метод развития стратегического мышления, лидерства и командной работы. Участники работают над решением реальной, актуальной для организации проблемы (например, обучение бережливому производству через реализацию реальных проектов оптимизации), одновременно анализируя групповую динамику и собственный стиль управления.

Супервизия и группы – это еще один формат группового анализа сложных рабочих ситуаций (кейсов). Особенно эффективна эта форма для развития компетенций руководителей разного уровня. Обучающиеся под руководством опытного фасилитатора (супервизора) учатся рефлексии, получают обратную связь от коллег, находят неочевидные решения, тем самым развивая свою эмоциональную компетентность.

Оценка эффективности soft skills – одна из самых сложных задач в исследовании развития персонала. Традиционные методы (тесты) здесь малорелевантны. Необходим комплексный подход, ориентированный на изменение поведения и бизнес-результаты [3].

Критерии эффективности включают:

– изменение поведения на рабочем месте: оценка 360 градусов до и после программы, наблюдение руководителя, анализ конкретных рабочих ситуаций (например, как руководитель проводит совещания или дает обратную связь);

– влияние на бизнес-показатели: связь развития конкретных навыков с метриками подразделения (например, рост производительности команды, снижение текучести, улучшение клиента). В процессе корпоративного обучения, на завершающем его этапе, у мастеров, бригадиров чаще всего оценивается динамика показателей безопасности и текучести;

– качественные изменения: увеличение количества инициатив от сотрудников, улучшение психологического климата в коллективе, успешное внедрение изменений. Сбор обратной связи от коллег и подчиненных;

– самооценка и рефлексия: способность руководителя анализировать и корректировать собственные модели поведения, что является ключевым признаком развитой коуч-позиции.

Заметим, что для оценки soft skills критически важна роль непосредственного руководителя организации и интеграции обучения с системой мотивации и карьерного роста.

Таким образом, современная среда корпоративного обучения как среда повышения кадровой безопасности организации эволюционирует в сторону гибкости, интеграции с бизнес-процессами, активного использования практико-ориентированных методов и системного внедрения инновационных инструментов развития персонала, его лидерского потенциала.

Список литературы

1 **Петров-Рудаковский, А. П.** Непрерывное образование и методы обучения персонала как фактор обеспечения кадровой безопасности транспортного комплекса / А. П. Петров-Рудаковский, Р. С. Егеров, Н. В. Мельниченко // Проблемы безопасности на транспорте : материалы XIV Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. пятилетке качества. В 2 ч., Гомель, 20–21 ноября 2025 года. – Гомель : БелГУТ, 2025. – Ч. 2. – С. 390–392.

2 **Попова, Е. В.** Моделирование педагогического процесса в системе дополнительного профессионального образования / Е. В. Попова, Г. А. Степанова // Современное педагогическое образование. – 2025. – № 8. – С. 244–248.

3 **Корепанова, Д. В.** Подходы к оценке эффективности обучения персонала // УПИРР. – 2015. – № 1. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/podhody-k-otsenke-effektivnosti-obucheniya-personala (дата обращения: 10.09.2026).

УДК 378.1

ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ВОСПИТАНИЕ СТУДЕНТОВ КАК ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА КАДРОВОГО ПОТЕНЦИАЛА ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА

Т. В. ШОРЕЦ
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Транспортный комплекс Республики Беларусь является важнейшим звеном экономико-социальной инфраструктуры страны, который призван качественно и своевременно обеспечивать как потребности населения в перевозках, так и хозяйственную деятельность предприятий всех отраслей экономики, а также национальную безопасность государства. Фактически транспортный комплекс республики имеет особое значение в жизнеобеспечении многоотраслевой экономики и реализации социальной политики государства.

Транспортный комплекс республики достаточно обширен и включает в себя такие виды транспорта, как автомобильный, железнодорожный, водный, воздушный, трубопроводный, городской электрический и метрополитен. Кроме того, он включает транспортную инфраструктуру, к которой отнесены транспортные коммуникации (автомобильные дороги, железнодорожные и водные пути сообщения, трубопроводные трассы, троллейбусные и трамвайные линии, линии метрополитена, транспортные и аэронавигационные системы); инженерные сооружения, обеспечивающие деятельность транспорта. Всё это предопределяет широкую инфраструктуру и большую численность работников, задействованных в обеспечении устойчивой работы транспорта.

Сегодня главными задачами развития транспортного комплекса являются:

– создание благоприятных условий для внедрения инноваций в транспортной деятельности;

– повышение качества и доступности транспортных услуг;

– обеспечение транспортной безопасности;

– повышение скорости доставки грузов и перевозки пассажиров;

– обеспечение доступности услуг транспорта общего пользования для маломобильных граждан;

– сбалансированное развитие различных видов транспорта и транспортной инфраструктуры;

– повышение эффективности функционирования транспортной отрасли;

– рост валового национального дохода от транзита по территории республики и услуг отечественных перевозчиков на международном рынке [2].

Для выполнения поставленных задач транспортный комплекс нуждается в необходимых для этого ресурсах. Одним из важнейших стратегических ресурсов повышения эффективности работы транспортного комплекса является качественный кадровый потенциал. От качества кадрового потенциала транспортного предприятия и уровня управления им зависят эффективность всех бизнес-процессов субъектов хозяйствования, а также уровень достижения поставленных плановых показателей и конечные финансовые результаты.

Важная роль в подготовке высококвалифицированных специалистов для транспортного комплекса принадлежит высшим учебным заведениям. В процессе обучения профессии студенты приобретают не только знания и навыки, необходимые им для осуществления трудовой деятельности. Обучение в вузе также направлено и на формирование личностных качеств будущего специалиста, с помощью которых он будет востребован на рынке труда и станет впоследствии частью профессионального сообщества.

Профессиональное воспитание представляет собой процесс целенаправленного взаимодействия студентов и педагогов, в процессе которого формируются нравственный облик будущего специалиста, профессиональные интересы, ценности, мотивация к профессиональному саморазвитию, профессиональная культура и этика, которые обеспечивают высокое качество трудовой деятельности, успешность адаптации в коллективе, и в конечном итоге – конкурентоспособность на рынке труда.

По нашему мнению, основными задачами, стоящими перед профессиональным воспитанием в вузе, являются:

– ознакомление студентов с формальными квалификационными характеристиками, дополнительными компетенциями и личностными качествами, характерными для их будущей профессиональной деятельности;

– развитие осознанного отношения к выбранной специальности, профессиональному долгу;

– формирование профессиональных интересов, ценностей и идеалов у будущих специалистов, приобщение студентов к традициям и ценностям профессионального сообщества;

– формирование навыков коммуникации в трудовом коллективе и организации коллективной работы;

– ознакомление с нормами профессиональной этики;

– развитие понимания ответственности за уровень своих профессиональных знаний и формирование осознанной необходимости постоянного профессионального саморазвития [4].

В современных условиях профессиональное воспитание студентов становится одним из важнейших инструментов, используемых в процессе подготовки обучающихся к будущей трудовой деятельности. Несмотря на важность объема и содержание знаний, умений и навыков у будущих специалистов, не менее актуальным является и развитие профессиональных личностных качеств [3].

Таким образом, формирование профессиональных качеств в сочетании с профессиональными знаниями, умениями и навыками, с профессиональными компетенциями, с формированием современного экономического мышления и составляет содержательную основу профессионального воспитания личности [1].

В современных условиях перед профессиональным воспитанием ставится задача развития у обучающихся таких качеств, как социальная и профессиональная ответственность, способность к взаимодействию в коллективе, самостоятельность при принятии решений, творческий подход к делу, а также навыков самообразования и саморазвития. В процессе профессионального воспитания происходит осознание студентами своих возможностей в рамках будущей профессиональной деятельности, выстраиваются пути их дальнейшего развития и карьерного роста. При этом успешная профессиональная адаптация предоставляет специалисту возможность успешного включения в процесс трудовой деятельности, а также обеспечивает высокий уровень профессиональной мобильности в течение всей жизни.

Особенностью процесса профессионального воспитания является то, что он осуществляется одновременно и в рамках образовательного процесса, и во внеучебной деятельности. В рамках обучения в вузе профессиональное воспитание осуществляется путем проведения учебных практик, производственных экскурсий, организации встреч с представителями выбранной профессии, участие в конкурсах профессионального мастерства различных уровней и пр.

В целом следует отметить, что значение профессионального воспитания в качественной подготовке будущих специалистов огромно: путем формирования у обучающихся профессиональных личностных качеств оно раскрывает в них трудовой потенциал будущего специалиста. Помимо этого, благодаря мероприятиям в рамках профессионального воспитания у студентов формируется ощущение, что обучение в вузе является первым этапом их профессиональной деятельности. Профессиональное воспитание развивает различные трудовые навыки, такие как упорство, трудолюбие, ответственность, командная работа, адаптивность, критическое мышление, взаимопомощь, коммуникация, что является проявлением профессиональных качеств и способностей специалиста. Сегодня профессиональное воспитание обучающихся играет важную роль, выступая не только условием, которое повышает качество приобретенных знаний и навыков трудовой деятельности в вузе, но и является базой, которая обеспечивает транспортный комплекс республики специалистами-профессионалами.

Список литературы

1 **Корчак, Т. А.** Педагогические условия профессионального воспитания: методические рекомендации для руководящих работников профессиональных образовательных организаций Свердловской области / Т. А. Корчак. – Екатеринбург : ГАОУ ДПО СО «ИРО», 2019. – 79 с.

2 О государственной программе «Транспорт Беларуси» на 2026–2030 годы : постановление Совета министров Респ. Беларусь от 29 декабря 2025 г. № 778 // ООО «ЮрСпектр». – Минск, 2026.

3 **Тома, Ж. В.** Проблемное поле профессионального воспитания студентов / Ж. В. Тома, А. А. Пашин, С. С. Пашковская // Современные проблемы науки и образования. – 2022. – № 4. – С. 77–84.

4 **Шорец, Т. В.** Место и роль профессионального воспитания в формировании личности специалиста / Т. В. Шорец // Инновационный опыт идеологической, воспитательной и информационной работы в вузе : материалы VIII Междунар. науч.-практ. конф. – Гомель : БелГУТ, 2021. – С. 129–132.

УДК 378.1

РАЗВИТИЕ ЦИФРОВЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ СТУДЕНТОВ КАК ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА КАДРОВОГО ПОТЕНЦИАЛА ТРАНСПОРТНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Т. В. ШОРЕЦ, Д. А. СОЛОДОВНИКОВА
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Текущий этап развития общества и развития производственно-хозяйственных связей характеризуется глубоким проникновением цифровых устройств и технологий в абсолютно все сферы деятельности. Вследствие этого сегодня меняется процесс взаимодействия человека с человеком и человека с окружающим миром, которое осуществляется через призму цифровых устройств и понятий цифрового мира. Сегодня большинство процессов, в том числе производственных, стало более автоматизированным, и по этой причине работники в ходе осуществления своей профессиональной деятельности вынуждены взаимодействовать с определенными цифровыми инструментами.

Электронный документооборот, облачные технологии, технологии искусственного интеллекта, нейросети, блокчейн, большие данные, технологии обеспечения безопасности информации, корпоративные информационные системы – все эти современные инструменты и решения значительно упрощают и повышают эффективность осуществления бизнес-процессов. Они позволяют предприятиям повысить эффективность хозяйственной деятельности, сократить время на обработку данных и минимизировать риски, связанные с ошибками или разглашением информации, относящейся к коммерческой тайне. Сегодня их внедрение необходимо для поддержания конкурентоспособности на товарных рынках, а также для адаптации к быстро меняющимся условиям внешней среды [2].

Таким образом, одной из основных и перспективных задач, стоящих перед современным образованием, стало формирование у студентов цифровых компетенций, способных, с одной стороны, обеспечить выпускникам высокую востребованность на рынке труда, с другой – обеспечить базу для устойчивого развития транспортного комплекса республики в перспективе.

Помимо определенных профессиональных знаний, которые в условиях использования цифровых технологий становится получить гораздо легче, сегодня от работников требуется наличие у них новых «цифровых» навыков и компетенций. Сегодня персоналу предприятий важно обладать умениями, формирующими возможности быстрой адаптации к происходящим ситуациям. Существует два основных типа навыков: гибкие и профессиональные. Первые подразумевают заинтересованность в развитии, умение широко мыслить, умение развивать качества личности и навыки общения и пр. Профессиональные навыки зависят от сферы трудовой деятельности человека.

На базе классификации необходимых навыков можно сделать вывод, что сегодня работникам необходимо обладать базовыми цифровыми и профессиональными цифровыми компетенциями.

В целом цифровые компетенции представляют собой набор способов и навыков деятельности по отношению к информации в профессиональных областях, а также в окружающем мире.

К базовыми цифровым компетенциям, по нашему мнению, относятся:

– понимание общих принципов и механизмов развития цифровых технологий в республике и мире;

– умение работать с цифровыми средствами организации коммуникаций;

– понимание процессов и умение работать со средствами цифровой идентификации;

– осознание рисков и наличие навыков их идентификации в процессе применения цифровых технологий;

– умение использовать цифровые технологии для саморазвития и самообразования;

– адаптивность к быстрому развитию цифровых технологий;

– наличие навыков обеспечения безопасности в цифровом пространстве.

Профессиональные цифровые компетенции зависят от профессиональной деятельности сотрудников, но мы можем выделить ряд из них, которые характерны для всех направлений трудовой деятельности:

– умение использовать цифровые государственные и специализированные сервисы для профессиональной деятельности;

– умение работать с большими данными;

– наличие навыков работы с инструментами визуализации;

– умение применять современные цифровые технологии для повышения результативности своей профессиональной деятельности и постановки задач для разработки новых цифровых ресурсов.

Сегодня большинство исследователей отмечают, что развитие цифровой компетентности происходит не только на этапе обучения в университете, но и в течение всей последующей профессиональной деятельности человека [1].

Отметим тот факт, что перечень актуальных цифровых компетенций не является постоянной категорией, поскольку он изменяется вместе с изменениями в цифровой среде и в соответствии с потребностями информационного общества. Необходимо помнить, что цифровые компетенции включают в себя не только умение пользоваться информационно-коммуникационными технологиями, но и способность критически оценивать получаемую информацию, умение организовать эффективную и безопасную работу с информацией, возможности быстрой адаптации к постоянным изменениям в информационном обществе.

Стоит отметить, что для формирования оптимального уровня владения информационными технологиями не нужно вычислять, какие навыки потребуются в ближайшем будущем. Нужно научиться правильно анализировать внезапно возникшую ситуацию и принимать соответствующие решения в режиме реального времени. Тщательный анализ и поиск новых навыков и возможностей для повышения эффективности выполнения работ позволят соответствовать современным требованиям рынка и поддерживать конкурентоспособность предприятия. А имеющиеся возможности ежедневного развития смогут помочь выделиться работнику среди других и попробовать себя в чем-то новом.

Развитие цифровых компетенций имеет не только практическое значение, но и влияет на интеллектуальное развитие обучающихся. Используя в процессе обучения современные информационно-коммуникационные технологии, студенты развивают математические, логические навыки и навыки анализа данных. Использование компьютеров и цифровых инструментов позволяет творчески подходить к решению задач, что чрезвычайно важно не только при решении профессиональных задач на рабочем месте, но и в повседневной жизни.

Необходимо отметить, что развитие цифровых компетенций у студентов – это не разовый процесс. Цифровые технологии постоянно развиваются, а это значит, что студентов необходимо ориентировать на необходимость постоянного совершенствования своих навыков в рассматриваемой области не только в процессе обучения в университете, но и в процессе дальнейшей трудовой деятельности [3]. При этом при подготовке специалистов, обладающих высоким уровнем цифровых компетенций, важно учитывать, что в условиях высоких темпов информатизации общества цифровыми компетенциями должны обладать все выпускники вузов независимо от профиля подготовки, будь то инженер, экономист, логист или программист.

В целом следует отметить, что в результате активной цифровизации процессы, происходящие в обществе, характеризуется высокой динамичностью изменений, что влечет за собой изменения в социально-экономической ситуации и вызывает потребность в формировании новых направлений и приоритетов в развитии транспортного комплекса республики. Сегодня экономике страны требуются высококвалифицированные специалисты, обладающие не только профессиональными знаниями, но и соответствующими цифровыми компетенциями. Таким образом, на учреждения высшего образования ложится дополнительная ответственность в подготовке высококвалифицированных кадров, которые станут основным движущим фактором, влияющим на рост экономики страны. Именно они помогут обеспечить конкурентоспособность государства на мировом рынке, его экономический рост и прогрессивное развитие.

Список литературы

1 **Брусницына, Г. Г.** Построение карты цифровых компетенций для обеспечения качества подготовки будущих юристов в условиях цифровой экономики / Г. Г. Брусницына, Н. В. Коржавина, С. Н. Петрова // Вестник Ленинградского государственного университета им. А. С. Пушкина. – 2023. – № 4. – С. 252–269.

2 **Солодовникова, Д. А.** Развитие профессиональных компетенций бухгалтера в условиях цифровых трансформаций экономики / Д. А. Солодовникова // Профессиональное образование – условие успешной социализации будущих специалистов в современных экономических условиях : сб. материалов IX Всерос. студ. науч.-практ. конф. – Борисоглебск, 2024. – С. 287–290.

3 **Челнокова, Т. А.** Развитие цифровых компетенций у студентов-логистов как условие успешности их профессиональной деятельности / Т. А. Челнокова, А. А. Рабазанова // Профессиональное образование в России и за рубежом. – 2023. – № 3. – С. 62–67.

УДК 316.354:378:656

РАЗВИТИЕ КАДРОВОГО ПОТЕНЦИАЛА И КАДРОВАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА

Н. В. ЯШКОВА
Нижегородский институт путей сообщения –
филиал Приволжского государственного университета путей сообщения, Российская Федерация

Кадровая безопасность транспортного комплекса является условием устойчивого функционирования отрасли. Одним из ключевых инструментов её обеспечения выступает развитие кадрового потенциала, ядром которого является формирование кадрового резерва.

Транспортный комплекс, и прежде всего железнодорожный транспорт, относится к отраслям с высокой зависимостью от человеческого фактора. Бесперебойность перевозок, безопасность движения, надёжность инфраструктуры определяются не только техническим состоянием основных фондов, но и качеством персонала. В этих условиях кадровая безопасность становится неотъемлемой частью экономической безопасности предприятия.

Одним из направлений обеспечения кадровой безопасности является развитие кадрового потенциала, а его ядром – формирование кадрового резерва. Однако практика показывает, что существующие критерии отбора в резерв не в полной мере учитывают задачи кадровой безопасности: они ориентированы преимущественно на квалификацию и не учитывают ценностно-поведенческие характеристики (лояльность, вовлечённость, приверженность).

Кадровая безопасность транспортного комплекса во многом зависит от имеющегося кадрового потенциала, в связи с чем развитие кадрового потенциала является основополагающей задачей обеспечения кадровой безопасности.

В научной литературе уделяется большое внимание вопросам развития персонала. Так, В. М. Маслова под развитием персонала понимает «совокупность мероприятий, направленных на развитие человеческого потенциала предприятия» [5], А. П. Егоршин считает, что это «комплексный и непрерывный процесс всестороннего развития личности работников предприятия с целью повышения эффективности их деятельности» [5].

Подход В. М. Масловой акцентирует инструментальный аспект (мероприятия), подход А. П. Егоршина – процессный и личностный. Для целей нашего исследования важно, что оба подхода рассматривают развитие как управляемое воздействие, результат которого – повышение эффективности. Это позволяет увязать развитие персонала с кадровой безопасностью: развитие снижает риски, связанные с дефицитом компетенций и текучестью.

Кадровый резерв имеет разную трактовку в трудах ученых. Так, Т. Ю. Базаров и Б. Л. Еремин под кадровым резервом понимают «работников предприятия, способных в нужный момент выполнять обязанности на новом участке работы» [5]. Л. И. Иванкина под кадровым резервом понимает «специально сформированную на основе установленных критериев группу перспективных работников, обладающих необходимыми для выдвижения профессионально-деловыми, личностными и морально-этическими качествами, положительно проявивших себя на занимаемых должностях, прошедших необходимую подготовку и предназначенных для замещения определенных должностей» [2]. А. Д. Петерцева под кадровым резервом понимает некий перечень работников организации, лица из которого являются потенциальными замещающими для некоторых должностей [3], а Н. С. Рычихина полагает, что это лишь одна из частей кадрового резерва, а именно внутренняя [4].

Считаем, что под кадровым резервом необходимо понимать «специально сформированную на основе установленных критериев группу перспективных работников, каждый из которых обладает необходимыми профессиональными компетенциями, личностными качествами и лояльностью к организации, прошёл соответствующую подготовку и предназначен для замещения определённых должностей в установленные сроки».

При формировании кадрового резерва на предприятиях железнодорожного транспорта необходимо руководствоваться «Положением о кадровом резерве ОАО «РЖД», утвержденным Распоряжением ОАО «РЖД» от 26.10.2022 г. № 2780/р [1].

Согласно п. 6 данного положения при формировании кадрового резерва необходимо учитывать

следующе основополагающие принципы: объективности; открытости; приоритетности развития; релевантности; преемственности (таблица 1).

Таблица 1

Принцип	Содержание	Связь с авторским подходом
Объективности	Предполагает использование единого унифицированного подхода к отбору кандидатов по системе ЕКТ	Отбор сотрудников в кадровый резерв осуществляется на основе установленных критериев
Открытости	Предполагает доступность для работников ОАО «РЖД» информации о подходах и порядке формирования кадрового резерва в целях их вовлеченности в решение корпоративных задач	–
Приоритетности развития	Предполагает целевое инвестирование в обучение работников	Соответствует авторскому критериям «участие в проектной и рационализаторской деятельности»
Релевантности	Предполагает поддержание состава сформированного кадрового резерва и его численности в актуальном состоянии	Соответствует авторским критерия «участие в проектной и рационализаторской деятельности» и «участия в корпоративных конкурсах»
Преемственности	Использование базового резерва в качестве приоритетного источника формирования корпоративного резерва	Обеспечивается стажем

Одним из направлений развития кадрового потенциала является формирование кадрового резерва. Для того чтобы кадровый резерв способствовал развитию кадрового потенциала, необходимо правильно определить критерии, на основании которых работник отрасли будет включаться в кадровый резерв.

В современных условиях кандидат на включение в кадровый резерв должен не только обладать профессиональными компетенциями, но и иметь навыки проектной, исследовательской работы. Рационализаторской деятельности. С учетом вышеизложенного большую актуальность приобретает необходимость корректировки критериев по отбору кандидатов в кадровый резерв.

Считаем, что такими критериями должны стать:

– стаж работы не только показывает на наличие сформированных профессиональных компетенций, но и указывает на наличие сформированной лояльности сотрудника по отношению к организации, что является одним из показателей кадровой безопасности;

– участие в корпоративных конкурсах – позволит оценить у сотрудника навыки командной работы, а также сформированную лояльность;

– участие в проектной и рационализаторской деятельности;

– уровень образования.

Список литературы

1 Положения о кадровом резерве ОАО «РЖД» : распоряжение ОАО «РЖД» от 26 окт. 2022 г. № 2780/р. – 17 с.

2 **Иванкина, Л. И.** Управление человеческими ресурсами : учеб. пособие / Л. И. Иванкина. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 189 с.

3 **Питерцева, Д. А.** Инновационные технологии формирования кадрового резерва на государственной гражданской службе / Д. А. Питерцева // Новая экономика России: от адаптации к росту : материалы Всерос. (национальной) науч.-практ. конф. с международным участием, Москва, 30 нояб. 2023 г. – М. : Московский университет им. С. Ю. Витте, 2023. – С. 476–483.

4 **Рычихина, Н. С.** Инновационные технологии формирования резерва управленческих кадров / Н. С. Рычихина // Известия высших учебных заведений. Серия: Экономика, финансы и управление производством. – 2021. – № 1 (47). – С. 79–86.

5 **Шендель, Т. В**. Кадровый резерв как направление развития персонала: практика исследования и совершенствования на промышленном предприятии / Т. В. Шендель // Наука Красноярья. – 2020. – Т. 9, № 2. – С. 255–276.

СОДЕРЖАНИЕ

Приветствие участникам конференции ... 3

7 БЕЗОПАСНОСТЬ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК

Бик-Мухамедова О. И. Проблемы безопасности пребывания пассажиров на станции Витебск и их комплексное решение на основе инфраструктурных преобразований узла ... 4
Вакуленко С. П. Модель процессов обслуживания пассажиров железнодорожного транспорта как многозвенная цепь трансфера ... 6
Вакуленко С. П. Применение проектных шаблонов искусственного интеллекта при проектировании зонных и пассажирских станций ... 10
Власюк Т. А. Анализ инфраструктуры железнодорожного транспорта как фактора маятниковой мобильности ... 12
Власюк Т. А. Сравнительный анализ инфраструктуры железнодорожного транспорта для пассажирского сообщения в крупных городах Беларуси в XX и XXI веках ... 16
Власюк Т. А., Сосновский И. И., Старостенко Н. Д. Особенности оперативного управления взаимодействием различных видов транспорта в транспортно-пересадочном узле ... 19
Головнич А. К., Михальченко А. А., Зимовская А. И. Эффективность скоростного рельсового транспорта в агломерациях: опыт России и Беларуси ... 21
Гончарова Л. А., Власюк Т. А., Житникова Я. В. Зарубежный опыт взаимодействия видов транспорта в агломерации на примере технологических моделей S-BAHN и HUB-AND-SPOKE ... 25
Гончарова Л. А., Житникова Я. В., Белоус А. Н., Горбач Р. Н. Сравнительный анализ зарубежных технологических моделей взаимодействия видов транспорта в агломерации ... 27
Довгулевич О. А., Иваненко А. Ю. Повышение безопасности пассажирских перевозок автомобильным транспортом: анализ аварийности и пути совершенствования ... 30
Житникова Я. В., Кобзарь В. А., Фролова А. А., Фалейчик А. В. «Цветочные маршруты» как новый вектор развития экологического туризма на Белорусской железной дороге ... 32
Иванов-Толмачев И. А., Яникеев К. С. Обслуживание пассажирского движения на железнодорожном транспортном коридоре ... 36
Килочицкая М. А., Морозов М. В. Соответствие маршрутной сети и режима движения фактическому спросу как условие эффективности городских и региональных автобусных перевозок пассажиров ... 38
Кузнецов В. Г., Килочицкая М. А., Литвинова И. М. Методологический подход к формированию риск-модели проекта ВСМ Минск – Москва ... 40
Кузнецов В. Г., Литвинова И. М., Килочицкая М. А. Параметры ВСМ Минск – Москва при оценке системных риск-факторов реализации проекта ... 42
Ларченко И. А. Роль республиканского фонда гражданской авиации в обеспечении безопасности гражданских перевозок в Республике Беларусь ... 45
Литвинова И. М., Терещенко О. А., Науменко А. А., Килочицкая М. А. Обеспечение системной устойчивости маршрутной сети городских железнодорожных перевозок Минской агломерации на базе микроскопического моделирования ... 47
Марченко М. А., Покровская О. Д. Совершенствование диспетчерского управления высокоскоростным пассажирским движением ... 49
Мельников И. П., Сидраков А. А. Интеграция железнодорожного транспорта с воздушным в Центральном транспортном узле ... 54
Михальченко А. А. Особенности прогнозирования рисков при выполнении пассажирских перевозок в региональном сообщении в Республике Беларусь ... 58
Михальченко А. А. Особенности учета факторов неопределенности и рисков при выполнении перевозок в региональном пассажирском сообщении железнодорожным транспортом ... 61
Михальченко А. А., Яннис Н. Г. Особенности транспортной политики государства в условиях санкций и ограничений при выполнении пассажирских перевозок ... 63
Морозов М. В., Килочицкая М. А. Маршрутный подход к оценке целесообразности применения электробусов на автобусных маршрутах ... 65
Никифорова Г. И. Комплексная оценка взаимодействия железнодорожного и морского транспорта в контейнерной логистической системе ... 67

Носов Н. Р., Гринь Е. Н. Мероприятия по предупреждению отказов промежуточных рельсовых скреплений на линиях высокоскоростного движения ... 71
Семченко А. С., Килочицкая М. А. Повышение безопасности пассажирских перевозок на основе топографического анализа аварийности ... 74
Сидраков А. А., Иванов-Толмачев С. И., Сидракова А. Н. Инфраструктурные и эксплуатационные аспекты безопасности развития межрегионального пассажирского железнодорожного сообщения ... 77
Скирковский С. В., Бугаёва Д. Л. Оценка влияния средств персональной мобильности на безопасность дорожного движения в городе Минске ... 80
Скомаровский Ф. Р., Молчан С. И., Пухтеев М. И. Информационная поддержка маломобильных пассажиров в структуре доступной транспортной среды ... 82
Солоп И. А., Чеботарев В. В., Куренков П. В. Мероприятия, направленные на обеспечение безопасности пассажирских перевозок в Южном регионе России ... 84
Ходоскин Д. П., Довгулевич О. А. Исследование социального риска как относительного показателя аварийности на примере г. Гомеля и Гомельской области ... 86
Ходоскин Д. П., Довгулевич О. А., Юхтикова К. С. Анализ проблематики уязвимых участников движения в структуре мировой дорожно-транспортной аварийности ... 89
Шевко Н. М. Роль безопасности общественного транспорта в обеспечении прав людей с инвалидностью: международно-правовой аспект ... 91

8 ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ В ОБЕСПЕЧЕНИИ БЕЗОПАСНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

Абдукадиров Ф. Э., Хасанов Т. М. Экспериментальное исследование критического сечения опоры эстакады метрополитена и верификация локальных расчетных моделей ... 93
Абдусаттаров А., Абдукадиров Ф. Э., Хожахматов С. Ш. Модели упругого и физически нелинейного деформирования трёхслойных плит – дорожных покрытий ... 95
Абдусаттаров А., Рузиева Н. Б. Разработка моделей физически нелинейного деформирования магистральных трубопроводов при циклических нагружениях с учетом повреждаемости ... 97
Абдусаттаров А., Хожахматов С. Ш. Моделирование расчета деформирования упругих трехслойных стержней при пространственном нагружении ... 100
Аксенов А. В., Рабинский Л. Н., Мартиросов М. И. Численное исследование концентрации напряжений в пластинах из углепластика с двумя отверстиями различных диаметров ... 102
Астапов А. Н., Брыкин В. А., Диденко А. А., Окорокова Н. С. Разработка композитов C_f/C–HfB_2–SiC, C_f/C–ZrB_2–SiC и исследование их стойкости к абляции при 2300 °C в скоростном высокоэнтальпийном потоке воздуха ... 104
Ахраменко Н. А. Оценка сопротивления движению переднего крыла велосипеда ... 106
Бабайцев А. В. Нестационарное контактное взаимодействие неравномерного давления на изотропные и ортотропные пластины ... 108
Бабайцев А. В., Куделя Т. М. Идентификация параметров деформационного упрочнения и разрушения металлических сплавов при сложном напряженном состоянии на базе оптических измерений ... 108
Блинкова О. В., Кондратов Д. В. Моделирование и исследование динамики трехслойной композитной виброопоры с вязкой сжимаемой жидкостью ... 109
Бобылева К. А., Вахтерова Я. А. Применение физически информированных нейронных сетей для моделирования нестационарной теплопроводности в элементах транспортных систем ... 111
Большаков Р. С. Использование интегральных преобразований при определении параметров жесткости и демпфирования грузового вагона ... 113
Большаков Р. С., Бойко Д. А. Современное состояние разработок в области вибрационного упрочнения длинномерных деталей авиационных транспортных средств ... 115
Большаков Р. С., Дунаев М. А. Особенности интеграции прикладного программного обеспечения в автоматизированные системы железнодорожного транспорта ... 117
Будникова Д. А. Динамическое нагружение пятислойного стержня погонной нагрузкой ... 119
Вахтерова Я. А., Кобцев В. Е., Федотенков Г. В. Идентификация параметров двумерной модели теплопроводности Максвелла – Каттанео с использованием физически информированных нейронных сетей и автоматического подбора гиперпараметров ... 121
Вахтерова Я. А., Федотенков Г. В. Моделирование нелинейной динамики стержневых элементов транспортных систем на основе физически информированных нейронных сетей ... 122
Вестяк К. В., Вахтерова Я. А. Применение физически информированных нейронных сетей к моделированию прямоугольной мембраны ... 124
Вестяк В. А., Мартиросов М. И., Занина Э. А. Сопоставление аналитических и конечно-элементных моделей ударного нагружения панелей из композиционного материала инденторами различной формы ... 125
Волохов И. В., Вахтерова Я. А., Кананадзе С. С. Применение гибридных нейро-нечетких моделей для автоматизированной оценки технического состояния руля высоты ... 127

Вятлев А. П., Ремизова Н. Н. Математическое и физическое моделирование динамического нагрева терморегулирующих покрытий космических аппаратов ... 129
Гафуров У. С., Пшеничнов С. Г. Неодномерные волны в цилиндрическом слое из упругого функционально-градиентного материала ... 130
Говряков П. С., Вахтерова Я. А. Устойчивость нейросетевой идентификации коэффициента теплопроводности Грина – Нагди III типа по зашумлённым показаниям температурных датчиков ... 132
Голиков А. В., Голикова О. В., Маркелова О. В. Осесимметричное термоупругое моделирование многослойной катушки с оптическим волокном ... 134
Гордеев С. В., Рабинский Л. Н. Исследование динамических характеристик толстостенных наномодифицированных полимерных композиционных материалов ... 136
Градсков С. А., Локтева Н. А. Решение стационарной задачи о движении трёхслойной пластины в акустической среде с учётом особенностей материала заполнителя ... 137
Далдыбеков Н. Р., Локтева Н. А. Колебания трехслойной пластины под воздействием гармонической нагрузки, приложенной в различных направлениях и при различных вариантах крепления ... 138
Дамарад П. А., Журавков М. А., Николайчик М. А. Логистическая модель управления качеством рудного потока в транспортной сети калийного рудника ... 140
Евдокимович В. Е., Задорожнюк Е. А. Лабораторные работы по математической статистике для студентов инженерно-технических специальностей ... 141
Егорова М. С., Тушавина О. В. Волновая динамика пористой градиентной среды: обобщённая модель, дисперсия и эффект запирания ... 143
Жаворонок С. И. Уравнения аналитической динамики нетонких поверхностно-упругих оболочек ... 144
Заторкина К. В., Рабинский Л. Н. Методы визуализации и регистрации деформаций при послойном определении остаточных напряжений в композиционных материалах ... 146
Земсков А. В., Тарлаковский Д. В. Распространение волн Рэлея в ортотропном термоупругом полупространстве ... 147
Зябков П. С., Жаворонок С. И. Решение задачи статики линзовидного тела на упругом основании на базе обобщенных уравнений Рауса теории оболочек N-го порядка ... 149
Иванов Д. А. Сравнение методов машинного обучения для прогнозирования остаточного ресурса композитных конструкций ... 151
Исаченко И. А., Курбатов А. С., Жаворонок С. И. Уравнения безмоментной теории оболочек из сплава с памятью формы при конечных деформациях и перемещениях ... 153
Казимиров Д. О., Земсков А. В. Моделирование волновых процессов тепломассопереноса в полом цилиндре при объемном нагружении ... 154
Карпович И. Н., Николайчик М. А. Оценка распределения температурного поля в трубопроводе в условиях перепада температур с внешней средой ... 156
Киргинцева С. В., Можаровский В. В. Влияние физико-механических характеристик двухслойных ортотропных труб на параметры гидроудара ... 158
Кондратов Д. В., Плаксина И. В., Кондратова Ю. Н. Использование разных систем параллельных вычислений в задаче моделирования трубы кольцевого профиля с тонкими внешними шпангоутами при воздействии давления ... 160
Королёнок К. С., Николайчик М. А., Журавков М. А. Численное моделирование вентиляционных сетей калийных рудников с использованием метода Харди – Кросса ... 162
Кузнецова Е. Л., Глумова У. С. Моделирование теплофизических и термомеханических процессов в теплозащитных композиционных материалах при высоких температурах ... 164
Куницкая А. С., Вахтерова Я. А. Идентификация коэффициента теплопроводности в модели Максвелла – Каттанео с использованием PINN и Optuna ... 165
Кущенкова Л. С. Коррозионная стойкость железнодорожных металлических конструкций мостов и путепроводов в условиях климатических зон России ... 167
Лачугина Е. А. Вынужденные колебания пятислойной круговой пластины, несимметричной по толщине ... 169
Леоненко Д. В. Свободные колебания сэндвич-стержня с учетом внутреннего трения в заполнителе ... 170
Лопатин С. С., Бабайцев А. В. Моделирование деградации свойств многослойных композиционных материалов и её влияния на динамическое поведение балки ... 171
Лэн Ми. Вариационная модель накопления повреждений с учетом диссипации энергии в механике деформируемых сред ... 172
Манун М., Рабинский Л. Н. Развитие вариационной модели повреждённости при многоцикловом нагружении ... 173
Матуляк А. И., Астапов А. Н. Структурно-фазовые исследования жаростойких покрытий, полученных из порошковых композиций в системах $HfSi_2$–$MoSi_2$–SiB_4–(HfB_2) и $HfSi_2$–$MoSi_2$–B_4C–(HfB_2)–(HfC) на УККМ ... 175
Мир-Салим-заде М. В. Частичное закрытие трещин в перфорированной стрингерной пластине ... 176
Михайлин И. С., Рабинский Л. Н. Моделирование напряженно-деформированного состояния композитных подкрепленных пластин, работающих в условиях динамического нагружения ... 178

Можаровский В. В., Кузьменков Д. С., Киргинцева С. В. Обработка результатов износа покрытия по методике многофакторного эксперимента ... 179
Мозалевская А. К. Подход к построению предиктивных моделей при наличии сложного закона распределения исследуемых статистических данных ... 181
Мозалевская А. К., Большаков Р. С. Использование интегральных преобразований при определении остаточных напряжений ... 183
Най Х. А. Исследование динамического поведения материалов, полученных методом селективного лазерного спекания. ... 185
Наумик Д. А., Николайчик М. А., Журавков М. А. Моделирование напряжённо-деформированного состояния породного массива при его подработке очистными забоями с частичной закладкой выработанного пространства бутовыми полосами ... 186
Никифоров А. В., Сердюк Д. О., Федотенков Г. В. Нестационарное напряженно-деформированное состояние неограниченных анизотропных цилиндрических оболочек, основанных на гипотезах Чоу ... 188
Николайчик М. А., Карпович И. Н., Кобусь К. А. Численное моделирование плазменного напыления с защитным кожухом при различных расходах топливной смеси и мощностях источника ионизации ... 190
Олешко В. С. Использование информационной энтропии в неразрушающем контроле деталей машин методом контактной разности потенциалов ... 192
Орехов А. А., Рабинский Л. Н., Ли Цзэхуа. Математическое моделирование температурных напряжений в многослойных конструкциях в процессе синтеза методом послойного лазерного плавления ... 194
Пирназаров Г. Ф., Нуманов О. Р., Абдусаттаров А. К расчетной модели деформирования гибких пологих оболочек при упруго-пластическом нагружении ... 195
Плескачевский Ю. М. Деформирование металлополимерной трехслойной пластины на упругом основании ... 199
Попов В. С., Могилевич Л. И., Попова А. А., Попова М. В. Моделирование гидродинамического демпфирования стенки кольцевого канала при несимметричном торцевом истечении ... 201
Рабинский Л. Н., Йе М. Н., Най Х. А. Динамическое поведение сложных структур из стали PH1, получаемых по технологии послойного лазерного плавления ... 203
Рабинский Л. Н., Мартиросов М. И., Дедова Д. В. Экспериментальное исследование трехслойных панелей с сотовым заполнителем ... 203
Рабинский Л. Н., Мартиросов М. И., Рожков С. Ю. Различие между первым разрушением слоя и разрушающим напряжением углепластикового ламината в задачах обоснования безопасности ... 205
Раскачаев В. В., Рабинский Л. Н. Численно-экспериментальное исследование тонкостенных наномодифицированных композиционных материалов на основе углепластика ... 207
Расулмухамедов М. М., Абдусаттаров А., Мирзаева З. М. Разработка расчетных моделей упругого деформирования трехмерного тела с применением методов конечных разностей ... 208
Салицкий В. С. Напряжения в круговой симметричной по толщине пятислойной пластине ... 210
Сасновская М. П. Опыт работы преподавателя химии и биологии в обучении учащихся колледжа для обеспечения безопасности транспортных систем ... 212
Смагин Е. И., Вестяк В. А., Мартиросов М. И. О влиянии изгиба в испытаниях на односрезное и двухсрезное смятие с зенкованными отверстиями ... 214
Старовойтов Э. И. Прогиб упругопластического трехслойного стержня под действием синусоидальной нагрузки ... 216
Старовойтов Э. И., Тарлаковский Д. В., Федотенков Г. В. Изгиб трехслойной ортотропной прямоугольной пластины ... 217
Стасюк Д. А., Киселевский О. С. Виброакустические методы диагностирования агрегатов и машин ... 219
Тарлаковский Д. В., Рязанцева М. Ю., Фарманян А. Ж. Функции влияния для круговых упругих моментных цилиндрических оболочек ... 221
Тренёв М. В., Вахтерова Я. А. Применение PINN для моделирования процессов теплопроводности в задачах тепловой безопасности транспортных систем ... 223
Тушавин Н. А., Колесник С. А. Численная верификация термоупругого состояния ортотропной композитной пластины при нестационарном тепловом воздействии ... 225
Тушавина О. В. Методология разработки тепловой защиты теплонапряженных элементов конструкций высокоскоростных летательных аппаратов ... 226
Тушавина О. В., Шипневская Е. А. Динамика движения вращающихся реактивных снарядов-пробойников в грунте ... 227
Шумкин С. В., Колесник С. А. Аналитическое моделирование теплопереноса в плоской пластине ... 228
Шумская С. А., Новиков А. С. Стенд для верификации математических моделей теплопереноса в составных телах под действием импульсного нагрева ... 228
Юхновская О. В. Автоматизация выделения областей интереса в графических данных стационарных систем оптического мониторинга для обеспечения безопасности дорожного движения средствами Wolfram Mathematica ... 229
Яровая А. В., Поддубный А. А. Сравнительный анализ параметров напряженно-деформированного состояния трех-, четырех- и пятислойных панелей для изотермических фургонов ... 230

9 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

Ахламов М. А. Анализ современного состояния городского транспорта ... 233
Быкадоров С. А. Крупномасштабные железнодорожные проекты востока России и экономическая безопасность транспортных систем ... 235
Быченко О. В., Быченко О. Г. Стратегические направления обеспечения безопасности перевозок на Белорусской железной дороге ... 236
Виниченко В. А., Владимирова Т. А. Оценка уровня конкурентоспособности хозяйствующих субъектов транспортной системы на современном этапе ... 238
Верниковская О. В. Цифровая и экономическая безопасность транспортных систем: проблемы и риски ... 240
Галкина И. В., Анзин А. С. Влияние фрагментации мировой экономики на развитие логистики ... 241
Герасимчик М. Ю. Цифровизация транспортных систем как фактор повышения экономической безопасности ... 243
Гизатуллина В. Г., Гарасюк Д. Н. Цена и качество пассажирских перевозок: теория и практика, искусственный интеллект в пассажирских перевозках ... 245
Гизатуллина В. Г., Красненко В. Н. Системность и методология оценки финансового состояния по уровням управления железной дороги ... 246
Данилкова С. А. Проблемы выбора организационной формы внутреннего аудита для достижения экономического суверенитета ... 247
Данилкова С. А. Проблема оценки качества внутреннего аудита с целью обеспечения экономического суверенитета ... 249
Дубина Ю. В., Осипенко Л. В. Оценка эффективности формирования парка вагонов разных собственников ... 251
Езерская Т. А. Финансовая безопасность транспортных систем как фактор устойчивого развития национальной экономики ... 253
Еловой И. А., Потылкин Е. Н., Петрачков С. А. Оптимизация погрузки готовой продукции из производства в перевозочные средства с использованием принципов логистики ... 255
Ефремова Е. Н., Толмач Д. А. Экономическое воспитание как основа экономической безопасности государства ... 257
Жигалов В. Н., Еловой И. А., Осипенко Л. В. Обоснование рентабельности транспортного хозяйствующего субъекта в современных условиях ... 259
Жураханов М. И. Экономическая безопасность транспортных систем в Узбекистане ... 261
Затолгутская Н. Н., Мелешко Е. С., Патапейка И. Д. Таможенное регулирование транспортных потоков как фактор обеспечения экономической безопасности Республики Беларусь ... 264
Кекиш Н. А. Стратегия развития парка подвижного состава для контейнерных перевозок ... 266
Коришева О. В. Анализ рисков устойчивого развития транспортной отрасли при внедрении цифровых проектов ... 268
Кравченко А. В. Переход от фискальной к аналитической модели отчетности: новые требования к детализации финансовых потоков ... 271
Куренков П. В., Боковня Д. Р., Иванов А. П. Концептуальные подходы к развитию единой транспортной системы Российской Федерации ... 272
Курьян Е. В. Финансовая безопасность транспортного сектора Республики Беларусь: ключевые индикаторы и пороги устойчивости ... 274
Липатова О. В. Формирование механизма управления дебиторской задолженностью транспортных компаний ... 276
Митренкова А. В., Сугако С. Д. Экономическая безопасность и многофункциональность вокзальных комплексов: современные подходы и вызовы ... 277
Митренкова А. В., Медведев Н. М. Международная цепь поставок как объект экономической безопасности . 279
Мищенко Л. В. Экономическая безопасность транспортных систем: индикаторы, угрозы и направления укрепления в современных условиях ... 281
Мищенко Л. В., Мелешко Е. С., Патапейка И. Д. Таможенный контроль озоноразрушающих веществ как элемент экологической безопасности Республики Беларусь ... 282
Орешкин Д. В. Обеспечение экономической безопасности при планировании использования собственного парка грузовых вагонов ... 284
Панова О. Н., Бальчюнас Д. Р. Исследование отечественного и зарубежного опыта способов переработки контейнерных потоков ... 286
Потёмкина Т. Г. Оценка ресурсного потенциала участников цепи поставок предприятий строительного комплекса ... 288
Саттакулова Г. А. Экономическая безопасность транспортных систем в условиях высокой плотности населения: проблемы и перспективы Андижанской области ... 289
Солодовникова Д. А. Финансовая устойчивость и экономическая безопасность транспортных предприятий Республики Беларусь: взаимосвязь и приоритеты ... 291

Филютчик Т. А. Финансовая стратегия как инструмент обеспечения экономической безопасности организации в условиях развития информационно-коммуникационных технологий 293
Фроленкова Е. О., Бросалин Р. Н., Абрамцов Р. С. Автоматизация инвестиционной деятельности на железнодорожном транспорте как фактор обеспечения экономической безопасности отрасли 295
Ходоскина О. А., Лаптев В. А. Использование элементов ИИ как фактор повышения экономической безопасности локальных транспортных систем..... 297
Ходоскина О. А., Марданова И. А. Современные интеллектуальные системы и возможности их применения в деятельности структурных подразделений железнодорожного транспорта..... 299
Чубарова Н. Э. Оборачиваемость оборотного каптала как ключ к финансовой устойчивости организации . 301
Шатров С. Л., Долбикова М. О. Исследование и идентификация теоретико-методологических основ устойчивости микроэкономических систем транспортной отрасли..... 302
Шестак О. Н. Женское лицо белорусской таможни: на страже экономической безопасности государства . 304
Шорец Т. В. Цифровизация внутреннего контроля как инструмент повышения экономической безопасности предприятия 306
Якубук Ю. П. Мировая практика введения ограничений для иностранных поставщиков транспортно-логистических услуг 308

10 ТРАНСПОРТНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПРИ УГРОЗЕ И ВОЗНИКНОВЕНИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

Абибак Н. В., Смалюга А. С. Оценка уязвимости транспортной инфраструктуры при техногенных авариях на химически опасных объектах 311
Аврамцев А. Д., Валетка А. С., Мятликов В. А. Активные системы безопасности автомобиля: научный обзор и анализ эффективности..... 312
Аниськов В. И., Ефремова А. С., Шатилов Ю. С. Перспективные технические решения для охлаждения тяговых аккумуляторных батарей при пожарах легковых электромобилей..... 314
Бобрицкий С. М. Методика индивидуального проектирования временных мостов на основе численного моделирования и оптимизации 315
Бондарик В. А., Домашкевич М. В. Угрозы, действующие на железнодорожные мосты. Примеры, методы предотвращения угроз 319
Бреус Р. А. Определение расчетных показателей при строительстве больших и средних мостов на обходе при проведении технического прикрытия объектов транспортной инфраструктуры 320
Быстров К. А. Пассивные защитные мероприятия для объектов путевой железнодорожной инфраструктуры 323
Гирс В. А. Карта рассрочки как инструмент защиты ее держателя в чрезвычайных ситуациях 326
Гладкий Д. В., Махаев А. С., Павлючек Д. О., Шугаев Е. М. Беспилотные летательные аппараты, используемые для уничтожения искусственных сооружений, и методы борьбы с ними 328
Гладкий Д. В., Шутов Я. В. Развитие системы межведомственного взаимодействия экстренных служб при транспортных авариях 330
Гончаров И. Н., Працукевич Н. В. Мобильный складной резервуар для охлаждения тяговых аккумуляторных батарей электромобилей 332
Горохов А. Ю. Обеспечение безопасности на военных мостах и дорогах..... 334
Григорьев С. А., Копылов А. С., Сахаров И. А. Определение характера воздействия противника по объектам транспортной инфраструктуры при подготовке и содержании путей движения и маневра войск 335
Демидович И. С., Акиншев Я. Н., Богданович М. В., Терещенко Е. П. Особенности обеспечения пассивной и активной безопасности электромобиля в условиях дорожно-транспортных происшествий и чрезвычайных ситуаций 340
Демидович И. С., Кацубо П. А., Печенев Е. В. Разработка прототипа лазерного прогибомера 342
Долматов А. В. Обеспечение транспортной безопасности..... 344
Доломанюк Р. Ю. Применение фундаментов на винтовых сваях при возникновении чрезвычайных ситуаций... 347
Доломанюк Р. Ю., Гаев Д. А., Коба Я. В. Транспортная безопасность в условиях угроз и чрезвычайных ситуаций: интегрированные подходы к предупреждению, ликвидации последствий и восстановлению инфраструктуры 350
Дробышевский К. В., Войтов Е. В. Модель единого центра управления при инцидентах с опасными грузами на железнодорожном узле 351
Дубовик В. В., Прецкайло К. Ю., Фролов Е. П. Разработка и внедрение автоматизированных систем мониторинга психофизиологического состояния операторов транспортных средств для предотвращения ЧС..... 353
Кирик С. В. Совершенствование условий службы караулов по сопровождению воинских грузов при перевозке железнодорожным транспортом 355
Киркиж А. П., Кулаго Ю. В. Обеспечение безопасности людей при пожарах в автодорожных тоннелях 356
Клименок М. В., Харько Н. А., Шепелевич Н. Д. Внедрение систем искусственного интеллекта в автомобильный транспорт для предотвращения дорожно-транспортных происшествий 357
Климович С. Г., Козырев Д. П., Нахайчук Д. А. Особенности управления, распределения и защиты электрических цепей автомобиля и их диагностика 359

Коваль А. С., Паднюк В. Л., Сарнацкий И. И. Безопасность автомобиля при столкновении: конструктивные решения и современные технологии ... 360
Кузнецов В. К., Лях А. С. Обеспечение транспортной безопасности при угрозе и возникновении чрезвычайных ситуаций ... 362
Ляпоров Д. В., Демидович И. С., Печенев Е. В., Славников Е. В. Разработка наземного робототехнического комплекса «Жук» ... 364
Ляпоров Д. В., Титовец Г. С. Транспортная безопасность при террористических актах и диверсионных действиях ... 366
Пархомчик Э. А., Романенко Я. А. Превентивные меры противодействия беспилотным летательным аппаратам ... 367
Петрусевич В. В., Томашов В. В., Доломанюк Р. Ю., Грищенков Я. М., Михальков А. О. Анализ работоспособности композиции для выполнения ямочного ремонта асфальтобетонного покрытия в дворовых территориях ... 369
Писаренко М. И., Ярмолик М. Ю. Проблемы обеспечения транспортной безопасности при воинских перевозках ... 372
Примак И. А. Система обеспечения транспортной безопасности при угрозе возникновения чрезвычайных ситуаций ... 374
Савин В. А., Куранда Д. В. Применение беспилотных летательных аппаратов для обеспечения безопасности транспорта при угрозе чрезвычайных ситуаций ... 376
Савин В. А., Суханов З. В., Цейко М. В. Использование беспилотного летательного комплекса для мониторинга состояния железнодорожной инфраструктуры при угрозе диверсии и чрезвычайных ситуаций 377
Славников Е. В., Гузанов М. П., Эверс А. А. Автомобильная техника при угрозе и возникновении чрезвычайных ситуаций при гололеде ... 379
Тимашков С. Н. Тактика комбинированного передвижения войск: оптимизация перехода подразделений от железнодорожной перевозки к маршу ... 380
Томашов В. В., Деревяшкин С. М. Факторы разрушения дорожных покрытий нежесткого типа ... 382
Хоршунов Н. С., Чирва А. Ю. Обеспечение безопасности транспортной инфраструктуры при весенних паводках и подтоплениях ... 384
Шипилёв А .С. Анализ основных причин возникновения транспортных аварий в Республике Беларусь ... 385
Шипилёв А. С., Бобрович М. И. Транспортная безопасность при угрозе и возникновении чрезвычайных ситуаций ... 387
Шипилёв А. С., Дашук К. Д. Камеры видеонаблюдения с искусственным интеллектом при возникновении ЧС: от распознавания к автоматическому вызову экстренных служб ... 388

11 ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ОБРАЗОВАНИЯ В СИСТЕМЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАДРОВОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА

Акрушко Е. А. Основные направления патриотического воспитания при подготовке высококвалифицированных специалистов на железнодорожном транспорте Республики Беларусь: от колледжа до УВО ... 391
Батурина Е. Л. Использование художественных фильмов в обучении иностранному языку студентов экономического и технического профиля ... 392
Беленькая О. С. Качество научных и квалификационных работ в эпоху ИИ: новые инструменты для преподавателя и исследователя ... 394
Быченко О. Г., Быченко О. В. Экономика знаний и её влияние на использование новых возможностей оценки достижений интеллектуального труда ... 396
Галкина И. В. Воспитательный потенциал дисциплины «Современная политэкономия» ... 398
Еловой И. А., Гедрис К. И. Проблемы и перспективы развития инженерного образования в области железнодорожного транспорта и логистики в Республике Беларусь ... 400
Ефремова Е. Н., Юнчиц Ю. М. Использование иммерсивных технологий обучения в подготовке транспортных кадров ... 402
Зенкевич А. Г. Основные направления психологического обеспечения работы с кадровым резервом руководителей ГО «Белорусская железная дорога» ... 404
Игнатьев А. М. Особенности подготовки персонала транспорта к чрезвычайным ситуациям, связанным с тушением горящего человека ... 406
Карпович В. В. Целевая подготовка в колледже как базовый инструмент минимизации дефицита рабочих кадров на предприятиях Белорусской железной дороги ... 408
Каспаров И. В. Применение интерактивных обучающих курсов по информационным технологиям при повышении квалификации работников железнодорожного транспорта ... 410
Кекиш Н. А. Управление изменениями в региональной системе подготовки инженерных кадров: инструменты интеграции образовательной и производственной среды ... 413

Кириченко Е. Г. Инновационный потенциал философско-методологической подготовки будущих специалистов в рамках магистратуры 415
Ковригина И. В., Большаков Р. С. Анализ тенденций развития образования на основе статистических данных о подготовке кадров 417
Кравченко А. В. Цифровая трансформация высшей школы: баланс между технологической доступностью и защитой академического фундамента 418
Липская М. Н., Кулаженко Н. В. Терминология на занятиях по иностранному языку в транспортном вузе как важный фактор обеспечения безопасности на транспорте 420
Маланичева Н. Н. Совместный студенческий бизнес-инкубатор как форма интеграции с отраслью 422
Митренкова А. В., Цуканова Е. Д. Кадровый потенциал вокзальных комплексов 424
Нагорнов Е. А. Этический аспект преподавания дисциплины «Организация доступной среды на транспорте» для студентов транспортного вуза 425
Низова О. В. Инновации в образовательном процессе по дисциплине «Философия» в техническом университете 427
Новикова О. К., Ратникова А. М. Подготовка специалистов в области интеллектуальных инженерных систем как фактор обеспечения кадровой безопасности водохозяйственного сектора 429
Осипова Ю. А., Ходоскин Д. П. Академическая адаптация иностранных студентов посредством создания эффективной цифровой среды 431
Потёмкина Т. Г. Повышение эффективности рейтинговой системы оценки знаний студентов 433
Пшеничнов Ю. А., Литвинович Т. Н. Управление мотивацией к учебе студентов первого курса технического университета: вызовы, стратегии и значение для формирования культуры безопасности 435
Скрябина Л. С. Роль патриотического воспитания студенческой молодёжи в обеспечении кадровой безопасности транспортного комплекса 436
Стоюхин С. Г., Кокин С. М. О новых вызовах в развитии образования в системе обеспечения кадровой безопасности транспортного комплекса в условиях внедрения нейросетевых программ (ИИ) 438
Тарасюк И. И. Взаимодействие с предприятиями – заказчиками кадров как ключ к формированию профессиональных навыков железнодорожников в условиях современного колледжа 440
Тетерюков Н. К., Бессольнов А. Б. К вопросу о повышении эффективности преподавания социально-гуманитарных дисциплин в техническом вузе 442
Тимошков В. Ф. Обеспечение кадровой безопасности в аспекте межвузовского взаимодействия при подготовке специалистов 444
Фроленкова Е. О. Опережающее образование как инструмент обеспечения кадровой безопасности на транспорте 446
Чабан Е. А. Реализация проектной деятельности для мотивирования освоения базовых инженерных дисциплин 448
Чаянкова Г. М. Воспитание патриотизма и государственности у студенческой молодёжи – важнейший принцип кадровой политики государства 450
Чеботарева Е. А., Солоп И. А., Рязанова Е. В. Роль человеческого фактора в обеспечении безопасности движения поездов и направления подготовки кадров 452
Чистяков В. А., Катаева Л. Ю. Управление наставническим взаимодействием в транспортном вузе: распознавание, сообщение и рассмотрение затруднения 454
Шапиро С. В. Некоторые риски внедрения искусственного интеллекта в учебный процесс 456
Шатров С. Л., Долбикова М. О. Усиление практико-ориентированного взаимодействия транспортного УВО и организаций – заказчиков кадров: потенциал и механизмы реализации 458
Шобонов Н. А. Корпоративное обучение как среда повышения кадровой безопасности организации 460
Шорец Т. В. Профессиональное воспитание студентов как инструмент повышения качества кадрового потенциала транспортного комплекса 462
Шорец Т. В., Солодовникова Д. А. Развитие цифровых компетенций студентов как инструмент повышения качества кадрового потенциала транспортных предприятий 464
Яшкова Н. В. Развитие кадрового потенциала и кадровая безопасность транспортного комплекса 466

Научно-практическое издание

ПРОБЛЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ НА ТРАНСПОРТЕ

Материалы XV Международной научно-практической конференции,
посвященной пятилетке качества
(Гомель, 19–20 ноября 2026 г.)

Ч а с т ь 2

Издается в авторской редакции

Технический редактор *В. Н. Кучерова*
Корректоры: *А. А. Павлюченкова, Е. Г. Привалова, Д. В. Марцинкевич*
Компьютерная верстка: *Т. М. Маруняк, С. В. Ужанкова, Т. Л. Федькова*

Подписано в печать 16.11.2026 г. Формат 60×84$^{1}/_{8}$.
Бумага офсетная. Гарнитура Times New Roman. Печать на ризографе.
Усл. печ. л. 55,34. Уч.-изд. л. 54,05. Тираж 30 экз.
Зак. №. 1603. Изд. № 42.

Издатель и полиграфическое исполнение:
Белорусский государственный университет транспорта.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий
№ 1/361 от 13.06.2014.
№ 2/104 от 01.04.2014.
№ 3/1583 от 14.11.2017.
Ул. Кирова, 34, 246653, Гомель

ISBN 978-985-891-287-1