

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА И КОММУНИКАЦИЙ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
БЕЛОРУССКАЯ ЖЕЛЕЗНАЯ ДОРОГА
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»

ПРОБЛЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ НА ТРАНСПОРТЕ

МАТЕРИАЛЫ
XIII МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ,
ПОСВЯЩЕННОЙ ГОДУ КАЧЕСТВА
(Гомель, 21–22 ноября 2024 г.)

Часть 2

Под общей редакцией *Ю. И. КУЛАЖЕНКО*

Гомель 2024

УДК 656.08
ББК 39.18
П78

Редакционная коллегия:

Ю. И. Кулаженко (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. О. Шимановский**

Рецензенты:

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

Проблемы безопасности на транспорте : материалы XIII Междунар.
П78 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. – 313 с.

ISBN 978-985-891-184-3 (ч. 2)

Рассматриваются теоретические и организационно-технические основы обеспечения безопасности транспортных систем; пути повышения безопасности и надежности подвижного состава и систем электроснабжения; информационная и функциональная безопасность систем автоматизации, телемеханики и связи; энергетическая 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.

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 978-985-891-184-3 (ч. 2)
ISBN 978-985-891-182-9

© Оформление. БелГУТ, 2024

УВАЖАЕМЫЕ УЧАСТНИКИ КОНФЕРЕНЦИИ!

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

Открывая конференцию, я не могу не отметить внимание, большую помощь, которую оказывают Министерство транспорта и коммуникаций Республики Беларусь, Белорусская железная дорога в проведении ставшей уже традиционной конференции.

Конференция посвящена Году качества. Качество – это важнейший приоритет в нашей стране. 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, учеными университета 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.

В очной и дистанционной формах работы 10 секций конференции принимает участие около 300 докладчиков. Проведение конференции мы рассматриваем как возможность ознакомить участников с творческими достижениями специалистов и ученых вузов 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 нашей конференции и желаю всем успехов в решении научных и производственных задач, личного счастья, крепкого здоровья, безопасного настоящего и будущего!

Ю. И. КУЛАЖЕНКО,
*председатель организационного комитета конференции,
ректор Белорусского государственного университета транспорта,
доктор физико-математических наук*

6 НАДЕЖНОСТЬ И БЕЗОПАСНОСТЬ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

УДК 624.011.2:692.46(476.2)

АНАЛИЗ СРОКОВ ФАКТИЧЕСКОЙ КАРБОНИЗАЦИИ БЕТОНА КЛАССА ПО ПРОЧНОСТИ НА СЖАТИЕ $C^{18}/_{22,5}$ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ УСЛОВИЯХ

К. Э. АГЕЕВА, А. Ю. КРУПОДЁРОВ, М. И. ТКАЧЁВА, А. А. ВАСИЛЬЕВ
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Техническое состояние бетонных и железобетонных элементов и конструкций, которые эксплуатируются в различных воздушных средах, а также его изменение во времени определяются карбонизацией бетона, являющейся его основным видом коррозии [1].

По результатам многолетних исследований в [2] было получено выражение для прогнозирования фактической степени карбонизации (показателя СФК) бетона, а в [3] предложены категории фактической карбонизации бетона (граничные значения СФК и их взаимосвязь с коррозионным состоянием бетона). Это позволило проанализировать возможности использования бетона класса по прочности на сжатие $C^{18}/_{22,5}$ при различных эксплуатационных условиях. Данный бетон выбран как массово применяемый для изготовления железобетонных колонн, которые используются в различных по назначению зданиях и сооружениях. Соответственно, при расчетах изменения во времени показателя СФК использовалось граничное содержание цемента для подвижных смесей (смесей марки по удобоукладываемости П1 (ОК = 4 см)).

В качестве эксплуатационных рассматривались условия сельскохозяйственных зданий (СХ); общественных и промышленных зданий с неагрессивной эксплуатационной средой (ОПЗ); открытой атмосферы (АУ). Результаты проведенного анализа приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Сроки наступления категорий степени карбонизации бетона класса по прочности на сжатие $C^{18}/_{22,5}$ для различных условий эксплуатации

Категория степени фактической карбонизации	Толщина защитного слоя, мм	Условия эксплуатации					
		СХ О	ОПЗ О	А О	СХ У	ОПЗ У	А У
I	10	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
II		4	20	3	1,5	2,5	2
III		26	>100	17,5	9,5	13,5	12
IV		65	>100	48	26	36	32
V		>100	>100	>100	100	>100	>100
I	15	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
II		21	95	14	9	12	11
III		90	>100	65	38	51	46
IV		>100	>100	>100	93	>100	>100
V		>100	>100	>100	>100	>100	>100
I	20	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
II		80	>100	55	38	47	44
III		>100	>100	>100	>100	>100	>100
IV		>100	>100	>100	>100	>100	>100
V		>100	>100	>100	>100	>100	>100
I	25	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
II		>100	>100	>100	>100	>100	>100
III		>100	>100	>100	>100	>100	>100
IV		>100	>100	>100	>100	>100	>100
V		>100	>100	>100	>100	>100	>100

Примечание – СХ; ОПЗ; А – условия соответственно сельскохозяйственных зданий; общественных и промышленных зданий с неагрессивной эксплуатационной средой; открытой атмосферы; О; У – области соответственно обычной и ускоренной карбонизации.

Установлено, что в первые месяцы эксплуатации, независимо от ее условий, бетон класса по прочности на сжатие $C^{18}/_{22,5}$ теряет свои защитные свойства по отношению к стальной арматуре (I категория СФК) на глубину до 25 мм (предельная толщина защитного слоя бетона, которая наиболее часто встречается в конструкциях). В соответствующих условиях (СФК = 16 %) гарантированно создается возможность возникновения и развития коррозии стальной арматуры.

Нормальная эксплуатация железобетона (с учетом начала развития коррозионных процессов в стальной арматуре) с условием принятой долговечности железобетона – 50 лет – возможна только при значениях толщины защитного слоя бетона 20 и более мм.

Список литературы

1 **Васильев, А. А.** Карбонизация и оценка поврежденности железобетонных конструкций : [монография] / А. А. Васильев. – Гомель : БелГУТ, 2012. – 263 с.

2 **Васильев, А. А.** Прогнозирование фактической карбонизации с учетом технологических параметров бетона : [монография] / А. А. Васильев, А. М. Нияковский. – Гомель : БелГУТ, 2014. – 206 с.

3 **Васильев, А. А.** Оценка и прогнозирование технического состояния железобетонных конструкций с учетом карбонизации бетона : [монография] / А. А. Васильев. – Гомель : БелГУТ, 2019. – 215 с.

УДК 628.8

ВЕНТИЛЯЦИЯ КАК СРЕДСТВО ОБЕСПЕЧЕНИЯ МИКРОКЛИМАТА ПОМЕЩЕНИЙ

А. В. АСТРЕЛИНА, В. М. ПРАСОЛ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Микроклимат – это тепловое состояние окружающей среды, которое определяется комплексом физических факторов (температура, влажность, скорость движения воздуха и т. д.) в ограниченном пространстве и влияет на тепловой обмен организма. Вентиляция обеспечивает необходимые параметры этих элементов микроклимата.

Основная задача вентиляции – создание оптимальных условий микроклимата (температура воздуха, температура поверхностей, влажность и подвижность воздуха и др.) для комфортного и безопасного пребывания людей в здании. Вентиляция должна обеспечивать достаточное количество свежего, качественно очищенного воздуха с оптимальными температурно-влажностными характеристиками, соответствующими действующим нормам. Без достаточного воздухообмена в помещении с людьми концентрация кислорода снижается, а доля углекислого газа увеличивается.

Воздухообмен – это количественная и качественная характеристика работы вентиляционной системы в закрытом помещении. Кратность воздухообмена – это интенсивность замены воздуха в помещении, определяемая числом его смен за единицу времени.

Чтобы обеспечить необходимую кратность воздухообмена, необходимо иметь доступ к регулированию мощности системы вентиляции и применять оборудование, которое может обеспечить нормируемые характеристики.

Естественная и механическая вентиляция – два основных типа вентиляции, которых различают по движущей силе. Совершенствование каждого типа позволяет повысить комфорт и безопасность нахождения людей в определенном пространстве за счет интенсивности смены воздушной массы.

При проектировании зданий важно учитывать ориентацию по сторонам света и преобладающее направление ветра для оптимизации естественной вентиляции. Для создания правильных условий воздухообмена и сохранения тепла в зимний период совмещают продольную ось здания с господствующим направлением ветра, в летний период – перпендикулярно продольной оси здания, что выгодно с точки зрения энергосбережения и экономики.

Важно решать проблему теплопотерь, связанных с вентиляцией. Для этого здания должны быть максимально герметичными, так как различные неплотности приводят к неорганизованному воздухообмену, который является частой причиной экономических потерь. Также можно использовать рекуперативные системы, позволяющие обменивать тепловую энергию между встречными потоками воздуха в теплообменники, которые называются рекуператорами.

Проектирование систем вентиляции и кондиционирования для высотных зданий существенно отличается от аналогичных систем для многоэтажных домов, учитывая значительное влияние внешних климатических факторов. Скорость движения наружного воздуха меняется по высоте здания. Чтобы избежать движения использованного воздуха на верхние этажи, стоит использовать грамотные компоновки схем кондиционирования и вентиляции воздуха, такие как:

- децентрализованная поэтажная система, которая включает вентиляционное оборудование, расположенное непосредственно на обслуживаемом этаже;
- централизованная система, где оборудование находится на техническом этаже и обслуживает несколько этажей через вертикальные вентиляционные каналы;
- комбинированная система, объединяющая элементы как централизованного, так и децентрализованного типа.

Системы приточно-вытяжной противодымной вентиляции в высотных зданиях играют ключевую роль в обеспечении безопасности во время пожара. Такие системы предназначены для предотвращения распространения дыма и токсичных газов, а также для создания безопасных условий для эвакуации людей.

Приточно-вытяжные системы обеспечивают подачу свежего воздуха в эвакуационные пути и удаление загрязненного воздуха из зон задымления. Это достигается с помощью автоматических вентиляторов и дымоудаляющих устройств, которые активируются при возникновении пожара.

Важно, чтобы системы были спроектированы с учетом высоты здания и его архитектурных особенностей. Например, лестничные клетки и коридоры должны быть оборудованы незадымляемыми зонами, где будет поддерживаться чистый воздух. Эффективность работы систем зависит от правильной компоновки воздуховодов и наличия датчиков, которые контролируют уровень дыма и температуру.

Регулярное обслуживание и тестирование систем приточно-вытяжной вентиляции необходимы для обеспечения их надежности в экстренных ситуациях. Таким образом, данные системы становятся важным элементом пожарной безопасности в высотных зданиях.

При проектировании естественной вентиляции в многоквартирных домах предполагается, что загрязненный воздух будет удаляться через вентиляционные каналы на кухне и в санузлах, а приток свежего воздуха будет происходить через неплотности оконных проёмов. Однако установка окон ПВХ приводит к прекращению естественного притока воздуха из-за их высокой герметичности, что останавливает работу данной системы. Поэтому при установке вентиляционных систем следует учитывать тип окон. В случае установки ПВХ окон в уже готовую систему вентиляции рекомендуется применять микрощелевое проветривание или использовать окна с вентиляционными клапанами, которые позволяют регулировать объем поступающего воздуха через щель.

Из-за неравномерной заполненности помещений в течение дня, например, для общественных зданий, система вентиляции требует дистанционного управления. Для того чтобы управлять работой систем вентиляции и кондиционирования вне помещения, используются мобильные приложения, которые представляют собой беспроводной универсальный пульт дистанционного управления. При установке систем в шкаф автоматики внедряются модули Wi-Fi или Bluetooth, устанавливаются бесплатные приложения из Google Play или App Store, с помощью которых можно включить систему кондиционирования, настроить режим, задать скорость вентилятора, температуру и влажность воздуха. Также приложения присылают на почту информацию о текущей ошибке с детализацией по отдельным узлам системы, что в будущем позволяет произвести корректировку.

Правильное проектирование систем вентиляции необходимо для обеспечения комфортных условий в помещениях и защиты здоровья людей. Эффективные системы вентиляции не только улучшают качество воздуха, но и способствуют экономии энергоресурсов за счет рационального использования энергии. Оптимизация вентиляционного процесса позволяет снизить затраты на отопление и кондиционирование, что делает его более экономичным. Таким образом, грамотное проектирование и управление вентиляцией обеспечивают как комфорт, так и экономическую целесообразность, что является важным аспектом в современных строительных практиках.

Список литературы

1 СанПиН. Требования к микроклимату рабочих мест в производственных и офисных помещениях : утв. постановлением М-ва здравоохранения Респ. Беларусь от 30 апр. 2013 г. № 33.

2 СН 4.02.03-2019. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. – Введ. 2019-12-16. – Минск : Минстройархитектуры, 2020. – 69 с.

3 Методы исследования и гигиеническая оценка параметров микроклимата жилых помещений и общественных зданий : учеб.-метод. пособие / Т. И. Борщенская [и др.]. – Минск : БГМУ, 2021. – 30 с.

4 СН 2.02.05-2020 Пожарная безопасность зданий и сооружений. – Введ. 2020-11-12. – Минск : Минстройархитектуры, 2021. – 65 с.

5 Ческис, В. Ю. Минимизация теплотерьер при организации вентиляции в зданиях с малой инфильтрацией [Электронный ресурс] / В. Ю. Ческис // Молодой ученый. – 2022. – № 50 (445). – С. 52–55. – Режим доступа : <https://moluch.ru/archive/445/97634/>. – Дата доступа : 30.08.2024.

6 Инженерное оборудование высотных зданий / под общ. ред. М. М. Бродач. – 2-е изд., испр. и доп. – М. : АВОК-ПРЕСС, 2011. – 458 с.

УДК 528.4:69

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОЧНОСТИ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ НАБЛЮДЕНИЯХ ЗА ОСАДКАМИ ПРОМЫШЛЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ

Е. К. АТРОШКО, И. П. ДРАЛОВА

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

В процессе строительства и эксплуатации высотных зданий и промышленных сооружений возникает необходимость в наблюдениях за их стабильностью в плане и по высоте. Под давлением веса сооружения происходит оседание подстилающих фундаменты грунтов и осадка сооружения.

Для определения числовых характеристик величин осадок сооружений выполняют геодезические измерения и наблюдения, целью которых является получение данных по предотвращению возможных недопустимых катастрофических последствий.

При наблюдениях за осадкой типовых промышленных сооружений основным является способ геометрического нивелирования, который позволяет при помощи одного комплекта инструментов проводить измерения для любого количества доступных точек на сооружении, в любых погодных условиях, с высокой точностью.

Общая схема определения осадок состоит из следующих этапов:

1 Создание геодезической сети, состоящей из точек (осадочных марок), закреплённых на сооружении, и исходного репера с постоянной высотой, от которого определяют высоты осадочных марок.

2 Периодическое (по циклу) измерение превышений между точками сети способом геометрического нивелирования. При этом прокладывают нивелирные ходы между репером и осадочными марками. Длина визирного луча при измерении превышений составляет в среднем 5–30 м.

3 Определение величины абсолютных осадок точек

$$S = H_{\text{тек}} - H_{\text{нас}}; \quad (1)$$

$$\Delta S = S_1 - S_2, \quad (2)$$

где $H_{\text{тек}}$ – высоты точек в текущем цикле наблюдений; $H_{\text{нас}}$ – высоты точек в начальном цикле наблюдений.

Аналогично можно вычислить осадки точек между предыдущим и последующими циклами.

Рассмотрим вопрос точности измерений превышений нивелиром на станции исходя из нормативных требований. Для этого определяется средняя квадратическая погрешность для первой станции нивелира (станции):

$$m_{\text{ст}} = m_{\text{км}} / (n)^{0,5}, \quad (3)$$

где $m_{\text{км}}$ – средняя квадратическая погрешность на 1 км хода; $m_{\text{ст}}$ – средняя квадратическая погрешность определения превышения на станции; n – число станций на 1 км хода.

Число стоянок нивелира связано с длиной луча визирования на станции при нивелировании из середины следующим соотношением

$$n = 1000_{\text{м}} / 2D. \quad (4)$$

Подставив (4) в (3), получаем

$$m_{ст} = m_{км} (2D)^{0,5} / (1000)^{0,5}. \quad (5)$$

Отсюда видно, что средняя квадратическая ошибка определения превышения на станции прямо пропорциональна корню квадратному из длины луча визирования (D) на станции.

Средняя квадратическая погрешность $m_{км}$ определяется исходя из нормативных требований

$$m_{км} = d_{км} / (2)^{0,5}, \quad (6)$$

где $d_{км}$ – расхождение между двумя превышениями, полученными по левой и правой линиям хода длиной 1 км.

Подставляя выражение (6) в (5) и задаваясь значениями длины луча визирования D , получаем значения средних квадратических погрешностей на станции для методики нивелирования I, II и III классов. Результаты расчетов приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1

Класс нивелирования	$d_{км}$, мм	$m_{км}$, мм	$m_{ст}$, мм $D = 10$ м	$m_{ст}$, мм при 2 ГН	$m_{ст}$, мм при 4 ГН
I	3	2,1	0,30	0,21	0,15
II	5	3,5	3,50	0,35	0,24
III	10	7,1	7,10	0,71	0,50

Таблица 2

Длина луча визирования D , м	Число станций n	$m_{ст}$, м		
		I класс нивелирования	II класс нивелирования	III класс нивелирования
5	100	0,21	0,35	0,71
10	500	0,30	0,49	1,00
15	33	0,36	0,61	1,23
20	25	0,42	0,70	1,42
25	20	0,47	0,78	1,59
30	16	0,52	0,88	1,78

Результаты, полученные в таблицах, соответствуют превышениям, определённым при одном горизонте нивелира, в ходе одного направления. Однако для повышения точности определения осадок точек и их разностей превышения могут измеряться при двух горизонтах нивелира и в ходе прямого и обратного направлений. Тогда средняя квадратическая погрешность уменьшается в первом случае в $\sqrt{2}$ раза, а во втором случае в $\sqrt{4}$ раза, что показано в таблице 1 для расстояния $D = 10$ м.

Точность измерения осадок (абсолютных и относительных) рассчитывается для промышленных сооружений, которые относятся к каркасному типу зданий, где нагрузка воспринимается системой колонн. Поскольку все колонны являются несущими, то при наблюдениях за их состоянием необходимо определить осадку каждой колонны. При этом допустимые значения абсолютной осадки составляют 2–12 см, а относительная разность осадок

$$\Delta S_{доп} = 0,001 L_{мин}. \quad (7)$$

где $L_{мин}$ – минимальное расстояние между осадками колонн ($L_{мин} = 6$ мм).

Тогда $\Delta S_{доп} = 0,001 \cdot 6 = 6$ мм, а средняя квадратическая погрешность по отношению к предельной составит $m_{\Delta S_{доп}} = 6 \text{ мм} / 3 = 2$ мм. Для выявления средней квадратической ошибки в превышениях необходимо определить в $\sqrt{2}$ раза меньше в каждом из цикла, то есть $m_{ст} = 2 \text{ мм} / (2)^{0,5} = 1,41$ мм.

Как видно из таблицы 2, такую точность обеспечивают все превышения, измеренные по методикам нивелирования I и II классов, а для III класса необходимо измерять превышение при двух горизонтах нивелира, что повысит точность измерения в $\sqrt{2}$ раза.

Таким образом, для наблюдений за осадками промышленных сооружений достаточно использовать методики нивелирования по программам I, II и III классов государственной нивелирной сети при расстояниях с коротким лучом визирования до 30 м.

ИЗМЕНЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КИРПИЧНОЙ КЛАДКИ ВСЛЕДСТВИЕ КОРРОЗИОННОГО ИЗНОСА

В. О. БОНДАРЕНКО

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Строительство из такого материала, как кирпич, на сегодня все еще не потеряло своей актуальности и практикуется во многих видах возводимых зданий. Для установления несущей способности строительных конструкций и разработки конструктивных мер защиты кирпичных зданий в условиях, способствующих протеканию коррозии, необходимо изучить, как в процессе эксплуатации изменяются напряжения в упруго-хрупком материале кирпичной кладки. На практике устранить фактор влияния хлоридсодержащих и иных химически активных сред на наружные стены здания практически невозможно, но при наличии динамики в деформированном состоянии здания вполне реально оценить его весомость путем компьютерного моделирования. Анализируя влияние длительности протекания комплекса физических и химических процессов на механические характеристики конструкций, можно достаточно точно рассчитать их срок службы [1]. Целью работы является оценка изменения несущей способности кирпичной кладки, связанного с коррозией керамического кирпича.

Различные учёные [2–4] при исследованиях механических характеристик строительных конструкций в своих научных трудах утверждают, что скорость протекания коррозии поверхностного слоя зависит от множества факторов: влажности материала, его неоднородности, количества перемен знака температуры и др. В работе [5] получены экспериментальные зависимости, позволяющие оценить деструкцию материала в разных местах кирпичной кладки.

Модуль упругости кладки напрямую зависит от её предела прочности и упругой характеристики. Прочность кирпичной кладки, в свою очередь, зависит от известных прочностных характеристик кирпича и раствора. При этом прочностные характеристики компонентов кладки определяются путём стандартных испытаний отобранных из конструкции образцов.

В таблице 1 на основе данных, приведённых в [5], указаны значения модуля упругости кирпича в зависимости от глубины проникновения коррозии, с помощью которых можно осуществить теоретическую оценку прочности кирпичной кладки и установить влияние изменения физико-механических свойств кирпича на долговечность конструкций.

Таблица 1 – Изменение модуля упругости в зависимости от глубины проникновения коррозии в кирпичную кладку

Глубина проникновения коррозии, мм	Модуль упругости кирпичной кладки, МПа, марки			
	M100	M125	M150	M200
0	4320	4800	5280	6480
5	5440	5770	6360	7750
10	6990	7250	7880	9790
15	8320	8460	9250	11370
20	9730	9840	10710	13290

В качестве объекта компьютерного моделирования напряженно-деформированного состояния рассматривалась часть кирпичной стены геометрическими размерами 250×250×296 мм из керамических одинарных полнотелых кирпичей с толщиной растворного слоя 120 мм. Значение глубины проникновения хлоридов в кирпичную кладку при условии эксплуатации в умеренной атмосферной среде принимаем 20 мм. Поврежденный поверхностный слой модели через каждые 5 мм был разделён на объёмы с разными механическими характеристиками, что позволило моделировать неравномерность повреждений материала. Для расчётов приняты характеристики керамического кирпича марок M100, M125, M150, M200, которые повсеместно применяются при строительстве зданий и сооружений различного функционального назначения.

Разработана конечно-элементная модель части стены с учётом физико-химических процессов коррозии в среде конечно-элементного комплекса ANSYS [6]. Разбиение представительного объёма кладки на разные области выполнялось так, чтобы границы конечных элементов (SOLID65) соответствовали поверхностям разделов раствор – кирпич.

В результате проведённых расчётов получены схемы распределения напряжений и деформаций в элементах кирпичной кладки. Полученные результаты дают возможность спрогнозировать несущую способность кирпичных строительных конструкций с учетом их коррозионного износа, а также предложить меры по предотвращению потери их работоспособности.

Список литературы

- 1 Оценка остаточного ресурса зданий и сооружений / В. О. Бондаренко [и др.] // Проблемы безопасности на транспорте : материалы IX Междунар. науч.-практ. конф. / под общ. ред. Ю. И. Кулаженко : в 2 ч. Ч. 2. – Гомель : БелГУТ, 2019. – С. 15–17.
- 2 Желдаков, Д. Ю. Химическая коррозия кирпичной кладки. Протекание процесса / Д. Ю. Желдаков // Строительные материалы. – 2019. – № 6. – С. 29–32.
- 3 Деркач, В. Н. Деформационные характеристики каменной кладки из керамических поризованных блоков / В. Н. Деркач // Вестник БрГТУ. – 2023. – Вып. 1. – С. 10–13.
- 4 Mechanical characterization of masonry walls with chaotic texture: Procedures and results of in-situ tests / M. Andreini [et al.] // International Journal of Architectural Heritage. – 2014. – Vol. 8. – P. 376–407.
- 5 Зубков, С. В. Исследование механических свойств кирпичной кладки методом плоских домкратов / С. В. Зубков, А. В. Улыбин, С. Д. Федотов // Инженерно-строительный журнал. – 2015. – № 8 (60). – С. 20–29.
- 6 Бондаренко, В. О. Анализ деформирования армированной балки с учетом коррозии защитного слоя / В. О. Бондаренко, А. О. Шимановский // Механика. Исследования и инновации. – Гомель : БелГУТ, 2022. – Вып. 15. – С. 18–24.

УДК 004.8:69.05

ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЁЖНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

М. А. ВОЛОДЬКИН, В. В. ШЕЛЮТО, В. М. ПРАСОЛ
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

В данной статье проведен анализ применения искусственного интеллекта как фактора обеспечения надёжности и безопасности зданий и сооружений, рассмотрены уже существующие конкретные примеры применения искусственного интеллекта, достоинства и недостатки его применения в строительстве.

Строительная отрасль является одной из наиболее масштабных в мире. Она является многокомпонентной и включает в себя множество процессов от создания идеи проекта до его строительства и эксплуатации. Внедрение искусственного интеллекта поможет упростить и оптимизировать множество процессов производства и улучшить их эффективность.

Традиционные методы проектирования включают в себя черчение и использование компьютерных программ для 2D и 3D моделирования. Применение ИИ в этой области может значительно улучшить эффективность, точность и безопасность процессов путём обработки большого количества данных уже существующих ситуаций, зданий и сооружений, их недостатков. Искусственный интеллект (ИИ) играет важную роль в обеспечении надёжности и безопасности зданий и сооружений. Он может использоваться для оптимизации следующих процессов:

1 Мониторинг состояния конструкций: ИИ может анализировать данные датчиков, такие как вибрации, температура и влажность и на основе этих данных прогнозировать потенциальные проблемы до того, как они станут реальными. Это помогает предотвратить аварии и снизить риск для людей и имущества.

2 Прогнозирование аварий: ИИ может использовать данные о предыдущих авариях и текущем состоянии конструкции для предсказания возможных аварий. Это позволяет принять меры заранее, внести изменения в проект здания или принять меры после строительства, что предотвратит будущие аварии.

3 Управление проектами строительства: ИИ может помочь в планировании, координации и контроле выполнения работ, что сократит время строительства и повысит качество работы.

4 Оптимизация энергопотребления: ИИ может анализировать данные об использовании энергии на строительной площадке и предлагать рекомендации по улучшению эффективности, что приведет к снижению затрат энергопотребления, удешевлению ряда процессов и работ, уменьшению воздействия на окружающую среду.

5 Обеспечение безопасности: ИИ может использоваться для обеспечения безопасности зданий и сооружений, включая системы видеонаблюдения и распознавания лиц. Это поможет обнаружить подозрительную активность и предотвратить преступления.

Следует чётко выделить преимущества применения ИИ в строительстве зданий и сооружений:

1 Автоматизация процессов проектирования: использование ИИ позволяет создавать автоматические системы, которые могут генерировать оптимальные и инновационные решения для различных типов зданий и сооружений. Это помогает сократить время и затраты на проектирование, а также повысить его качество.

2 Улучшение точности и надёжности: ИИ может анализировать большие объёмы данных и предсказывать возможные проблемы и дефекты в проекте. Это позволяет выявить потенциальные проблемы на ранних стадиях проектирования и предпринять меры по их устранению. Таким образом, улучшается точность и надёжность проекта.

3 Оптимизация использования ресурсов: ИИ может анализировать данные о материалах, их стоимости, сроках выполнения работ, чтобы оптимизировать использование ресурсов. Это позволяет снизить затраты на строительство и улучшить эффективность проекта.

Однако, несмотря на все преимущества использования ИИ, существует ряд недостатков и рисков:

1 Недостаток качественных данных: использование ИИ требует качественных, достоверных данных. Без правильных данных ИИ может давать ошибочные или ненадёжные результаты. Данный недостаток подчёркивает необходимость наличия достоверной информации для корректной работы, сбору которой требуется особое внимание.

2 Ограничение влияния человеческого фактора: ИИ может быть полезным инструментом, но он никогда не заменит экспертизу. Окончательное решение всегда должен принимать человек, опираясь на опыт и знания.

3 Безопасность данных: применение ИИ в проектировании требует обработки большого объёма данных, включая конфиденциальную информацию. Поэтому необходимо обеспечить надёжную защиту данных от несанкционированного доступа и взлома.

4 Уменьшение числа рабочих мест: при использовании ИИ уменьшается число необходимого штата архитекторов и проектировщиков, что рождает безработицу в данной сфере.

Одним из примеров применения ИИ в строительстве является французский стартап «SpareParts 3D». Данная программа использует алгоритмы ИИ для преобразования 2D чертежей и схем в полноценные 3D модели. Такой подход позволяет объединять множество обособленных файлов в одну более удобную для чтения систему. Бета версия программы есть в свободном доступе, что позволяет всем желающим опробовать ее самостоятельно.

Таким образом, применение ИИ в строительстве в Республике Беларусь может значительно улучшить и ускорить множество процессов производства и контроля безопасности. Однако существуют ограничения, обусловленные недостатками самой технологии. Для успешного внедрения необходимо разработать стратегию с учетом специфики рынка и потребностей.

Список литературы

1 Применение искусственного интеллекта в системах диагностики оборудования [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://mecha-ai.ru/integracija-ii-v-mehatronicheskie-sistemy/primenenie_iskusstvennogo_intellekta_v_sistemah_diagnostiki_oborudovaniya/. – Дата доступа : 15.08.2024.

2 Как искусственный интеллект меняет строительную отрасль [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.npoekt.ru/usileniye/repair/22.html>. – Дата доступа : 15.08.2024.

3 Theia Beta Program 2D to 3D [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://spare-parts-3d.com/theia-beta/>. – Дата доступа : 15.08.2024.

УДК 691.32:624.046

О ПРИМЕНЕНИИ УГЛЕБЕТОНА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ КОНСТРУКЦИЙ

Д. А. ГАПОНЕНКО, Т. В. ЯШИНА

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Композиционные материалы с армированием углеродными волокнами известны давно и сегодня широко используются в разных отраслях, таких как авиация и автомобилестроение (например, конструкции самолетов, кузовные детали автомобилей и т. п.) [1].

Инновационный строительный материал – углебетон – является аналогом традиционного железобетона, но в отличие от него он легче и прочнее благодаря использованию углеволоконной арматуры вместо стальной. В нем применяются специализированные текстильные материалы, называемые углетканями, которые изготовлены из нетканых полотен, создаваемых на вязально-прошивных машинах. Толщина одной нити составляет примерно 5–10 мкм, а пятьдесят тысяч таких волокон объединяются в одну комплексную нить. Из этой нити формируется углеволоконный текстиль, который находит применение в бетонных изделиях.

Свойства углебетона обусловлены уникальной структурой углеродных волокон. Плотность углебетона варьируется в пределах 1800–2400 кг/м³. Специальная кристаллическая решетка придаёт этому материалу исключительную прочность на растяжение, которая в четыре раза превышает прочность стали. При этом его плотность значительно ниже, чем у металлических материалов, что делает легче строительные конструкции.

Комбинируя традиционный бетон с углеволокном, создают материал, который по своим техническим характеристикам превосходит любые типы обычного бетона [2]. Из углебетона можно изготавливать плиты. А применение нержавеющей углеродной арматуры (угольных стержней или решеток) позволит заменить стальную арматуру на нержавеющую, создавая углебетон и продлевая тем самым срок службы строительных конструкций.

Углебетонные плиты производятся двумя основными методами:

- на первом этапе укладывается углетекстиль в несколько слоев, после чего происходит заливка бетоном до достижения необходимой толщины плиты;
- второй метод заключается в заливке бетона в подготовленную форму, в которую заранее помещается углеродное волокно.

При применении обоих методов необходимо обеспечивать качественное сцепление между углеродным изделием и бетоном, поскольку композит, имеющий решетчатую структуру, имеет недостаточную адгезию. Для улучшения этого показателя на армирующий материал наносят специальное покрытие.

Долговечность и высокая прочность углебетона объясняются тем, что в процессе его создания не используется металлическая арматура. Коррозия арматуры зачастую приводит к разрушению бетонных конструкций. Ржавчина, проникающая внутрь бетона, вызывает образование микротрещин, которые со временем заполняются влагой и воздухом, что в итоге ухудшает прочность и снижает долговечность конструкции. В отличие от металлической арматуры, углеродные волокна не подвержены коррозии, что значительно увеличивает срок эксплуатации углебетонных изделий и повышает их надежность и долговечность.

Использование возможности 3D печати в сочетании с углебетоном позволяет значительно сократить время на строительство и минимизировать отходы. Это технологическое усовершенствование открывает двери для инновационных строительных методов и реализации сложных архитектурных решений, которые ранее были трудными или невозможными. Таким образом, углебетон не только поддерживает устойчивое развитие, но и способствует созданию технологий, которые меняют подходы к строительству.

Углеродная арматура состоит из углеродного волокна и терморезактивной синтетической смолы в качестве связующего. Изготавливают углеродную арматуру методом пултрузии, то есть протягиванием пропитанных смолой волокон через нагретую формующую фильеру.

Дополнительно можно отметить ряд преимущественных свойств:

- небольшая масса, что уменьшает нагрузку на несущие конструктивные элементы;
- для углеволокна не требуется защитный бетонный слой, что снижает расход материалов и трудозатрат;
- производить легкие и прочные плиты можно в облегченном варианте, т. е. минимальной толщины;
- экологичность и безопасность при производстве, отсутствие токсичных веществ;
- возможность изготовления тонких элементов и облегченных конструкций сложной геометрии с высокими прочностными характеристиками [2].

Отмечают, что прочность на разрыв до 5 раз выше прочностных характеристик стальной арматуры; показатель предела прочности металлической арматуры – 390 МПа, композитной – не менее 2000 МПа; модуль упругости при растяжении – не менее 130 ГПа, разрушающее напряжение при растяжении – не менее 1,6 ГПа [3].

Кроме того, углебетон обладает низкой теплопроводностью, что делает его эффективным теплоизолятором. Это свойство значительно способствует энергосбережению в зданиях, снижая потреб-

ление энергии для отопления и кондиционирования. Влажностные и атмосферные воздействия не оказывают значительное влияние на его характеристики, что позволяет использовать углебетон в самых различных климатических условиях [3].

Ключевыми компонентами углебетона являются специальные добавки, которые улучшают его физико-механические характеристики и предотвращают образование трещин при воздействии низких температур. Кроме того, высокая плотность и низкое водопоглощение способствуют долговечности материала, что особенно важно для конструкций, подверженных воздействию атмосферных осадков и других агрессивных факторов [4].

Эти преимущества способствуют ускорению выполнения строительных работ, продлению срока службы объектов транспортной инфраструктуры, а значит надежности и безопасности зданий на транспорте. Есть пока и недостаток – высокая стоимость.

С учетом технических и эксплуатационных характеристик углебетона можно утверждать, что расходы могут быть оправданы, ведь не только сокращаются сроки строительства, но и исключаются преждевременные дорогостоящие ремонты.

Углебетонные изделия могут найти применение при ремонтно-восстановительных работах на ответственных объектах транспортной инфраструктуры, при ремонте железобетонных мостовых конструкций, опор, конструктивных элементов метро. При реконструкции старых уникальных зданий (вокзалов, аэропортов, придорожных гостиниц и т. п.) применение углебетонных изделий позволит не только ускорить работу, но и придать высокую прочность и надежность конструкциям, и тем самым продлить долговечность уникальных зданий.

Безусловно, с учетом высокой пока стоимости область применения углебетона ограничивается ответственными несущими конструкциями как при новом строительстве, так и при ремонтных работах. Применение углебетона наблюдается преимущественно при реконструкции старых зданий. Плиты, обладающие высокой прочностью и малой толщиной, способствуют восстановлению несущих элементов, повышают надежность строений и обеспечивают их безопасность и тем самым становятся исключительно востребованы для зданий и сооружений на транспорте, требующих ремонтно-восстановительных работ.

При проектировании зданий и сооружений с повышенными требованиями надежности и безопасности (вокзальных комплексов, аэропортов и т. п.) с использованием углебетона архитекторы и инженеры получают возможность создавать оригинальные, более легкие, изящные, эстетичные современные конструкции, сохраняя при этом высокие прочностные характеристики; применять креативный дизайнерский подход в проектировании, интегрируя более сложные формы и элементы в архитектурные проекты.

Список литературы

- 1 Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Z-31.10-182. Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit TUDALIT (Textilbewehrter Beton). Deutsches Institut für Bautechnik.
- 2 Углебетон [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://argo-project.ru/articles/articles_599.html. – Дата доступа : 05.09.2024.
- 3 Современная российская наука [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://naukaip.ru/wp-content/uploads/2022/05/МК-1405.pdf#page=13>. – Дата доступа : 01.09.2024.
- 4 Углебетон – строительный материал будущего [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://sml-46.ru/stati/item/35-7-staty-a-s-beton>. – Дата доступа : 01.09.2024.
- 5 Carbon concrete – prospects for the construction industry [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://plandi.ru/blog/articles/uglerodisty-beton-perspektivy-dlya-stroitelnoi-otrasli/317>. – Дата доступа : 11.08.2024.

УДК 69.059.4

ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ПАРАМЕТРЫ ОЦЕНКИ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ, ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

В. А. ДОЛЯ, О. Н. КОНОВАЛОВА, А. А. ВАСИЛЬЕВ
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

В нашей стране ежегодно возводятся и вводятся в эксплуатацию сотни зданий и сооружений. Значительно большее количество уже эксплуатируется различные сроки в разных эксплуатационных условиях. Конструкции эксплуатируемых зданий и сооружений находятся в различных технических состояниях.

Объективная оценка остаточного ресурса (ОР) как эксплуатируемых, так и проектируемых зданий и сооружений – одна из самых актуальных задач строительной отрасли нашей страны.

В качестве базового подхода для оценки ОР принят подход, основанный на принципе безопасной эксплуатации по техническому состоянию (ТС). В соответствии с ним оценку ТС конструкций осуществляют по параметрам, обеспечивающим их надежную и безопасную эксплуатацию в соответствии с действующей НД, а ОР – по определяющим параметрам ТС [1].

В качестве определяющих параметров ТС приняты те, изменение которых (в отдельности или совокупности) может привести конструкцию в неработоспособное или предельное состояние. Параметрами ТС конструкций, в зависимости от выбранных критериев предельного состояния и условий эксплуатации, служат характеристики материалов, несущая способность, характеристики нагрузок и воздействий [2, 3].

Оценку параметров ТС и выбор определяющих параметров осуществляют по результатам технического обследования, включающего анализ технической документации (заводской, проектной, исполнительной), результатов мониторинга – для особо значимых (либо значительно поврежденных) объектов.

Определение ОР сегодня чаще всего выполняется отдельными специалистами, с применением существующих методик в основном на базе технической оценки поврежденности. Естественно, их знания, навыки и опыт различны. Для объективной оценки ОР необходимо создавать прогнозные модели, учитывающие максимальное (в то же время – безразмерное) количество определяющих параметров.

Поскольку существует огромное количество параметров, определяющих дефекты и повреждения строительных конструкций (по виду материалов), в различной мере влияющих на их техническое состояние, для возможности прогнозирования ОР необходимо выделить основные определяющие параметры.

Так, при оценке ОР эксплуатируемых зданий и сооружений можно принять определяющими параметрами:

– для деревянных конструкций: отклонения от проектной документации в части длин, размеров поперечного сечения, проектного положения, креплений элементов, количества элементов, наличия дополнительных опор; уменьшение размеров поперечного сечения (в результате механических, физических и химических воздействий); наличие и степень биологических повреждений (дереворазрушающими грибами и насекомыми); наличие, характер, длина, ширина раскрытия и глубина трещин; расшатанность узлов крепления (выход элементов из проектного положения); отклонения элементов от проектной оси; потеря устойчивости элементов (прогибы, выгибы в одной или двух плоскостях); уменьшение несущей способности (по любому расчетному сечению);

– для каменных и армокаменных конструкций: отклонения от проектной документации (в части размеров, площадей поперечного сечения элементов, наличия и размеров проемов); наличие дефектов кладки (увеличение толщины швов, нарушение перевязки рядов, «волны», пустошовка, ослабление сечения кладки штрабами); наличие (качество) перевязки стен между собой; количество, характер, длина и ширина раскрытия трещин; наличие и количественные характеристики физических (температурных) повреждений; уменьшение размеров поперечного сечения; выпучивание элементов из вертикальной плоскости; наклоны стен; местные силовые разрушения в опорной зоне элементов (трещины, раздробление, смятие, скалывание); прочность на сжатие стенового материала; прочность на сжатие раствора; количество рядов и площадь поперечного сечения стальной арматуры (для армокаменных конструкций); крены (отклонения от вертикальной плоскости); несущая способность (по всем расчетным сечениям);

– для железобетонных конструкций: отклонения от проектной документации (в части длин, размеров поперечного сечения, проектного положения, опирания и креплений элементов, наличия дополнительных опор, армирования); уменьшение площади поперечного сечения; местные силовые разрушения бетона в сжатой зоне; количество, характер, длина и ширина раскрытия трещин; наличие и количественные характеристики физических (температурных) повреждений; наличие и степень коррозионного повреждения бетона и стальной арматуры; наличие и степень коррозионного повреждения закладных деталей; разрыв арматуры в растянутой зоне; выпучивание арматуры в сжатой зоне; смещение элементов из проектного положения; взаимное смещение сопряженных элементов; уменьшение площади поперечного сечения стальной арматуры; смещение опор; прочность бетона на сжатие; проч-

ность стальной арматуры на растяжение (при выявлении воздействий на арматуру температур 300 °С и более); прогибы; сцепление арматуры с бетоном; несущая способность (по всем расчетным сечениям);

– для стальных конструкций: отклонения от проектной документации (в части длин, размеров поперечного сечения, проектного положения, опирания и креплений элементов); количество, характер, длина и ширина раскрытия трещин в основном металле и сварных швах; наличие концентраторов напряжений (узлы, необработанные отверстия, подрезы основного металла); узлы и детали с высокими местными напряжениями; дефекты сварных швов; расслоение металла; глубина и степень коррозионного повреждения элементов; уменьшение размеров поперечного сечения элемента; отклонения элементов от проектной оси; потеря устойчивости элементов (прогибы, выгибы в одной или двух плоскостях); прогибы; уменьшение несущей способности (по любому расчетному сечению).

Список литературы

1 Методика оценки остаточного ресурса несущих конструкций зданий и сооружений. – М. : ФАУ «Федеральный центр нормирования, стандартизации и оценки соответствия в строительстве», 2018. – 50 с.

2 Васильев, А. А. Оценка остаточного ресурса несущих конструкций / А. А. Васильев // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2022. – № 2 (45). – С. 40–44.

3 Шмелев, Г. Д. Систематизация определяющих параметров для прогноза остаточного срока службы строительных конструкций / Г. Д. Шмелев // Вестник МГСУ. – 2013. – № 8. – С. 89–96.

УДК 624

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ АРМИРОВАННЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Б. Б. ЖАНАЛИЕВ, И. Г. ОВЧИННИКОВ

Тюменский индустриальный университет, Российская Федерация

В настоящее время железобетонные конструкции широко применяются в транспортном строительстве. Порядка 90 % и более мостовых сооружений выполнены либо из железобетона, либо из предварительно напряженного железобетона, либо же из сталежелезобетона.

Раньше железобетон было принято считать практически вечным материалом с долговечностью порядка 100 и более лет, но к настоящему времени установлено, что срок службы этого материала ограничивается периодом в 30–50 лет, в зависимости от агрессивности условий эксплуатации, наличия той или иной системы защиты. На рисунке 1 приведены примеры повреждений железобетонных конструкций от коррозии.



Рисунок 1 – Коррозионные повреждения железобетонных пролетных строений

Для защиты от коррозии бетонных и железобетонных конструкций транспортных сооружений используют методы **первичной и вторичной защиты**, а также специальные меры по ГОСТ 31384, СП 28.13330, СП 229.1325800, СП 72.13330.

Методы первичной защиты включают приемы конструктивного и технологического характера. **Конструктивные мероприятия:** выбор рациональных конструктивных форм, повышающих слитность; выбор вида и класса арматурных сталей; применение дисперсного армирования; назначение толщины защитного слоя с учетом его проницаемости; формулирование более жестких требований по трещиностойкости; ограничение на действующие нагрузки; применение стойких к заданным эксплуатационным условиям бетонов и неметаллической арматуры. **Технологические мероприятия:** выбор коррозионностойких видов цементов; подбор эффективного состава бетона, в том числе

типов химических добавок и модификаторов; подбор крупного и мелкого заполнителя, стойкого к условиям эксплуатации; снижение проницаемости бетона; обеспечение ухода за бетоном, позволяющего максимально снизить образование усадочных и температурных трещин.

Рассмотрим более подробно три способа повышения долговечности железобетонных конструкций, связанных с использованием полимерных композитных материалов.

1 Покрытие железобетонной конструкции полимерными материалами и окраска.

Этот способ был в свое время довольно глубоко исследован В. И. Соломатовым, В. П. Селяевым и их учениками [1–3]. Ими же была предложена методика оценки долговечности железобетонных конструкций с защитными полимерными покрытиями на основе использования деградационных функций. Следует заметить, что применение полимерных покрытий является довольно эффективным способом, так как позволяет использовать полимерные покрытия и для усиления железобетонных конструкций. Также возможен и вариант технологии защиты бетонных конструкций от воздействия агрессивной окружающей среды – покраска [4, 5] (рисунок 2).

2 Применение защиты арматурных каркасов полимерными покрытиями (рисунок 3).



Рисунок 2 – Антикоррозионная защита опор мостовых сооружений лакокрасочными материалами

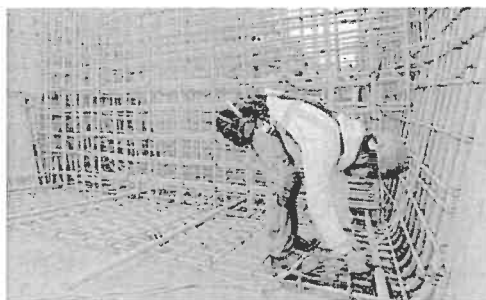


Рисунок 3 – Арматурные каркасы, защищенные полимерными покрытиями

Следует заметить, что в США запрещено применять арматурные каркасы без защиты полимерными покрытиями. В РФ пока еще широко используется обычная каркасная арматура без полимерных покрытий.

3 Применение полимерной композитной арматуры (рисунок 4) [6].



Рисунок 4 – Применение композитной арматуры при строительстве путепровода

Важно понимать, что повсеместно использовать полимерную композитную арматуру не следует, ведь по сравнению с металлической она не обладает и близкой жесткостью и прочностью. Уместно использовать полимерную композитную арматуру в неответственных конструкциях или пешеходных мостах с невысокой проходимостью.

В последнее время за рубежом значительно увеличилось количество конструкций, изготовленных с применением композитных полимерных материалов. В этой области ведущее положение в мире занимают США, Швейцария, Дания, Великобритания, Япония и Канада.

В России имеется опыт использования композитной арматуры при строительстве мостов. Такие разработки осуществлялись в Хабаровском политехническом университете еще с 1975 года. Первые объекты с применением стеклопластиковой арматуры были сданы в эксплуатацию именно в Хабаровске.

Внедрение неметаллической арматуры в строительстве нашей страны с ее суровым климатом даст ощутимый экономический эффект. Особый интерес здесь представляет опыт Канады, в которой дополнительные затраты, связанные с применением полимерных композитных материалов, компенсируются производителями и правительством. Особенности климата Канады определяли быстрое разрушение железобетонных конструкций из-за коррозии, поэтому обязательное использование композитных стержней при проектировании и возведении мостов было закреплено на уровне государственного кодекса. С 1995 года под эгидой федерального правительства функционирует

центр Intelligent Sensing for Innovative Structures (ISIS), который объединяет 13 университетов, 25 ведущих проектантов и 276 исследователей и взаимодействует с 92 организациями (объем финансирования в 2006 году – 12,8 млн долларов).

По некоторым сведениям сегодня в Канаде и США существует около 400 мостов, где так или иначе применялась стеклопластиковая арматура.

Экономический эффект от применения композитной арматуры связан со **снижением расходов на эксплуатацию и увеличением срока службы** транспортных сооружений.

Сдерживающими факторами для уверенного внедрения полимерной композитной арматуры в строительную отрасль является отсутствие как нормативной базы по проектированию бетонных конструкций, армированных полимерной композитной арматурой, так и базы исследований долговременной прочности и опыта эксплуатации таких конструкций.

Следует сразу же констатировать, что, несмотря на рассуждения о необходимости оценки долговечности железобетонных конструкций, этот вопрос еще далек от своего решения. Вероятно, дело в том, что длительное время применяемая для железобетонных конструкций методология расчета по предельным состояниям в своих формулах не содержит такого понятия, как время, и потому не позволяет определить долговечность указанных конструкций. Мы полагаем, что определенные шаги в нужном направлении позволит сделать применение деформационного подхода в сочетании с какой-либо из теорий накопления повреждений [7].

Значительный интерес также представляет экспериментальное и теоретическое исследование поведения железобетонных конструкций, усиленных различными системами внешнего армирования, и особенно с применением полимерных композитных материалов.

Список литературы

- 1 Соломатов, В. И. Химическое сопротивление материалов / В. И. Соломатов, В. П. Селяев, Ю. А. Соколова. – М. : РААСН, 2001. – 284 с.
- 2 Долговечность железобетонных конструкций с полимерными покрытиями [Электронный ресурс] / Селяев В. П. [и др.] // Academia. Архитектура и строительство. – 2009. – № 5. – Режим доступа : <https://cyberleninka.ru/article/n/dolgovechnost-zhelezobetonnyh-konstruktsiy-s-polimernymi-pokrytiyami>. – Дата доступа : 22.09.2024.
- 3 Полимерные покрытия для бетонных и железобетонных конструкций : [монография] / В. П. Селяев [и др.] ; Российская акад. архитектуры и строит. наук. – Саранск : СВМО, 2010. – 224 с.
- 4 Защита железобетонных конструкций транспортных сооружений от коррозии / И. Г. Овчинников [и др.] // Промышленные покрытия. – 2012. – № 5–6. – С. 72–75.
- 5 Красить ли железобетонные мосты? И. Г. Овчинников [и др.] // Транспортное строительство. – 2012. – № 10. – С. 12–14.
- 6 Булков, А. С. Защита от коррозии арматурной стали железобетонных конструкций транспортных сооружений [Электронный ресурс] / А. С. Булков, М. А. Баев, И. Г. Овчинников // Интернет-журнал «Транспортные сооружения». – 2020. – № 1. – С. 17. – Режим доступа : <https://t-s.today/PDF/15SATS120.pdf>. – Дата доступа : 22.09.2024. – DOI : 10.15862/15SATS120.
- 7 Проблемы применения современных нормативных документов для расчета транспортных сооружений / И. Г. Овчинников [и др.] // Архитектура, строительство, транспорт. – 2024. – № 1 (107). – С. 116–122. – DOI : 10.31660/2782-232X-2024-1-116-122.

UDC 691.32:666.97

APPLICATIONS OF INTELLIGENT MATERIALS IN CONSTRUCTION

T. A. ZHELYAZOV

National Institute of Geophysics, Geodesy and Geography, Department of Seismology and Seismic Engineering, Bulgarian Academy of Sciences, Bulgaria

Concrete is a popular material in construction; it is also commonly used in the transport infrastructure. Concrete is, by design, expected to crack during the exploitation period. This potentially creates favorable conditions for corrosion of the internal steel reinforcement (in the case of classical reinforced concrete structure) and diminishes the water permeability of structural elements. One of the axes of research searching for options to cope with the above-undesired phenomena is the development of the so-called intelligent or, more precisely, self-healing materials. Concrete exhibits a natural potential for self-healing [1], which can be further engineered either through the addition of stimuli-responsive microcapsules in the cementi-

tious matrix [2, 3] or by mounting of "vascular networks" [4, 5]. Micro-capsules containing a healing agent are added to other concrete ingredient during the mixing phase. When cracks develop, the self-healing process is triggered mechanically or by another stimulus. The mechanical triggering is identified with the destruction of the shell of the capsules containing the healing agent by a propagating crack. Alternatively, shells can be destroyed and the healing agent, released, as a result of ultrasonic waves [6], electromagnetic waves [7], and microwaves [8]. Reportedly, self-healing can be also artificially activated via a "bacteria-based" approach [9, 10].

A constitutive relation rooted in continuum damage mechanics is employed to reproduce the mechanical response of a damageable material with healing capabilities

$$\sigma_{ij} = \frac{\nu}{(1+\nu)(1-2\nu)} E_0 (1-D) \varepsilon_{kk} \delta_{ij} + \frac{1}{(1+\nu)} E_0 (1-D) \varepsilon_{ij}, \quad (1)$$

where σ_{ij} are the components of the stress tensor, ε_{ij} are the components of the strain tensor, $\varepsilon_{kk} = tr(\varepsilon_{ij})$, ν and E_0 denote the Poisson's ratio, and the Young's modulus of the undamaged material, respectively, δ_{ij} is the Kronecker symbol, and D is the damage variable.

Results obtained by finite element analysis are reported below. The self-healing in a concrete specimen loaded in compression is triggered after a pre-loading phase. The purpose of the pre-loading phase is to generate some crack pattern in the damageable material creating thus a need for the self-healing procedure. Numerical simulations of standard compression tests on cylindrical specimens, 160 mm in diameter and 320 mm in height, are presented. The considered example is for a concrete C35 (Figure 1). Stresses are non-dimensionalized using a factor $1/f_{c,35}$, where $f_{c,35}$ is the compressive strength of a C35 grade concrete, and the compressive strains using a factor $1/\varepsilon_{c,max}$, where $\varepsilon_{c,max}$ is the expected strain at specimen failure. After the preloading phase, specimens are unloaded, healed, and reloaded until failure. The post-healing response curves (A, B, and C) correspond to various hypothetical capacities of the self-healing agent to fill the microcrack and microcavities formed in the damaged material. The self-healing efficiency is estimated according to [11] through the index of strength recovery,

$$I_R = f_{h,m} / f_{p,u}. \quad (2)$$

In (2), $f_{h,m}$ is the maximum stress reached after initiating (and finishing) the self-healing procedure; the quantity in the denominator, $f_{p,u}$, denotes the maximum stress developed in the preloading phase, for the considered test-case $f_{p,u} = f_{c,35}$. Following this criterion, the predicted strength recovery is 38.5 %, 60.5 % and 91.7 % for cases A, B, and C, respectively. The curves A, B, and C differ in terms of the extent to which microcracks and micropores are expected to be sealed with the product of the healing process.

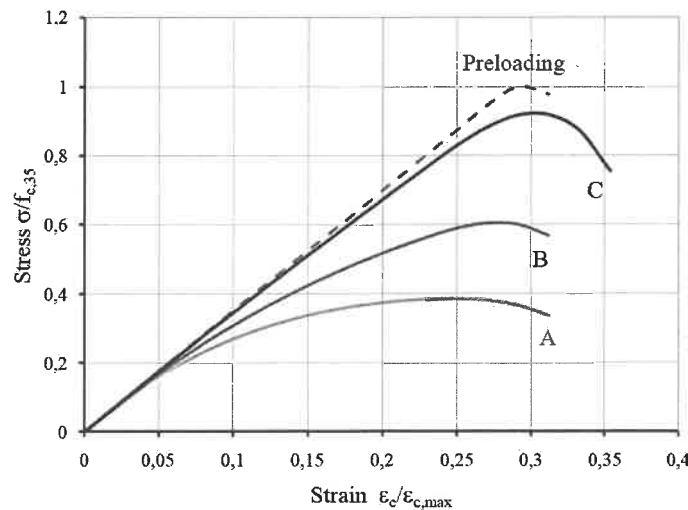


Figure 1 – Preloading of a concrete specimen and response after self-healing with various

All results are obtained using an original algorithm integrated into ANSYS Mechanical APDL. The numerical procedure allows for the simulations of the mechanical response of a damageable and healable material. In general, self-healing will potentially contribute to the better durability of structures and thereby improve the overall resilience of the infrastructure.

References

- 1 **Edvardsen, C.** Water Permeability and Autogenous Healing of Cracks in Concrete / C. Edvardsen // *ACI Materials Journal*. – 1999. – No. 96 (4). – P. 448–455.
- 2 Polymeric microcapsules with switchable mechanical properties for self-healing concrete: synthesis, characterisation and proof of concept / A. Kanellopoulos [et al.] // *Smart Materials and Structures*. – 2017. – 26 (4). – P. 045025.
- 3 Synthesis and characterization of epoxy encapsulating silica microcapsules and amine functionalized silica nanoparticles for development of an innovative self-healing concrete / G. Perez [et al.] // *Materials Chemistry and Physics*. – 2015. – No. 165. – P. 39–48.
- 4 A novel design of autonomously healed concrete: Towards a vascular healing network / P. Minnebo [et al.] // *Materials*. – 2015. – No. 10 (1). – P. 49.
- 5 **Sangadji, S.** Self healing of concrete structures-novel approach using porous network concrete / S. Sangadji, E. Schlangen // *Journal of Advanced Concrete Technology*. – 2012. – No. 10 (5). – P. 185–194.
- 6 Employing ultrasonic wave as a novel trigger of microcapsule self-healing cementitious materials / N. Xu [et al.] // *Cement and Concrete Composites*. – 2021. – No. 118. – P. 103951.
- 7 Preparation and characterization of nano-Fe₃O₄/paraffin encapsulated isocyanate microcapsule by electromagnetic controlled rupture for self-healing cementitious materials / Y. Li [et al.] // *Construction and Building Materials*. – 2020. – No. 265. – P. 120703.
- 8 Preparation and application of novel microcapsules ruptured by microwave for self-healing concrete / Y. Li [et al.] // *Construction and Building Materials*. – 2021. – No. 304. – P. 124616.
- 9 **Jonkers, H. M.** Bacteria-based self-healing concrete / H. M. Jonkers // *Heron*. – 2011. – No. 56 (1/2). P. 1–12.
- 10 **Jonkers, H. M.** Development of a bacteria-based self healing concrete / H. M. Jonkers, E. Schlangen // *Tailor made concrete structures*. – 2008. – No. 1. – P. 425–430.
- 11 Experimental characterization of the self-healing capacity of cement based materials: An overview / L. Ferrara [et al.] // *Proceedings*. – 2018. – Vol. 2, no. 8. – P. 454.

УДК 691.17:66-96

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА СВОЙСТВА КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРСЕРНЫХ БЕТОНОВ

У. А. ЗИЯМУХАМЕДОВА

Ташкентский государственный транспортный университет, Республика Узбекистан

Ф. Н. НУРҚУЛОВ

*Ташкентский химико-технологический научно-исследовательский институт,
Республика Узбекистан*

Г. Б. МИРАДУЛЛАЕВА, Ж. Х. НАФАСОВ

Ташкентский государственный транспортный университет, Республика Узбекистан

На сегодня к числу наиболее распространённых бетонов из полимерных материалов следует отнести полимербетоны, бетонополимеры и полимерсерные бетоны. Этим материалам присущи не только высокая плотность, прочность, химическая стойкость и долговечность, но и высокие диэлектрические или электропроводящие характеристики. Кроме того, они сравнительно просты в изготовлении, и поэтому среди крупнейших потребителей полимерных материалов на одном из первых мест стоит строительная, а также транспортная индустрия [1].

Технология производства серного вяжущего проще и дешевле, чем технологии производства цемента. По результатам освоения производства технология производства серных вяжущих имеет следующие показатели по сравнению с традиционными способами производства цемента [2–4]:

- энергопотребление снижается в 1,5–2 раза;
- повышение экологической безопасности производства;
- капитальные затраты на организацию производства сокращаются на 40–50 %;
- достигается безотходность производства;
- стоимость снижается в 1,5–2 раза.

Следует, однако, отметить, что на многих промышленных предприятиях в условиях сильного агрессивного воздействия, повышенного давления и температуры термопластичные полимерные материалы быстро стареют, а ненаполненные терморезактивные, имея высокий коэффициент температурных деформаций, отслаиваются от защищаемых конструкций. Как показывает практика эксплуатации многих промышленных предприятий, защита конструкций полимерными покрытиями малоэффективна и во многих случаях не обеспечивает необходимой надежности и долговечности сооружений. В связи с этим в самых разнообразных отраслях промышленности всё острее ощущается отсутствие материалов, которые сочетали бы высокую химическую стойкость с высокой прочностью и долговечностью. Работы по созданию новых композиционных материалов, способных длительное время эксплуатироваться в условиях воздействия промышленных, климатических и других видов агрессивных сред, актуальны и несомненно вызывают интерес в настоящее время.

Полимерсерные бетоны, наряду со многими положительными свойствами, имеют ряд существенных недостатков, к числу которых в первую очередь относятся сравнительно низкая термостойкость и горючесть. Эти важные характеристики недостаточно полно изучены, и поэтому ряд публикаций имеют противоречивый характер. Так как сера – типичный неорганический термопласт, то можно предположить, что влияние низких температур на полимерсерные бетоны должны быть такими же, как и на термопластичные полимеры [5–8].

Прочностные характеристики полимерсерных бетонов определяли при пониженных температурах от 20 до -60 °С с интервалом температур в 20 °С на образцах призмах размером $40 \times 40 \times 160$ мм и кубах ребром 70 мм. Результаты испытаний подтвердили и показали, что с понижением температуры от 20 до -60 °С предел прочности полимерсерного бетона возрастает от 52 до 68 МПа (рисунок 1).

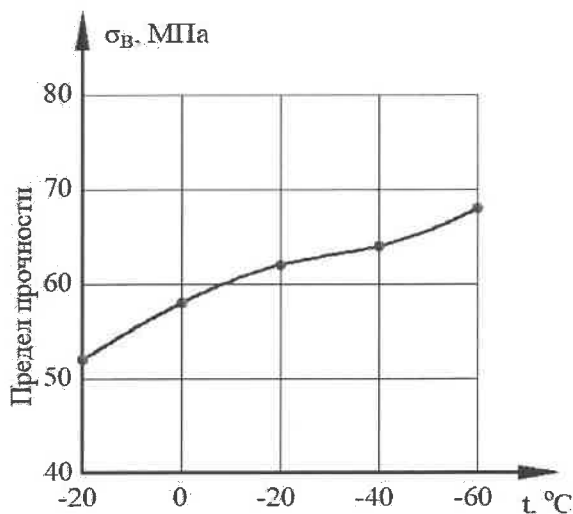


Рисунок 1 – Изменение предела прочности на сжатие полимерсерного бетона при снижении температуры

Исследование влияния температуры на свойства полимерсерных бетонов, в том числе на основе серосодержащих отходов, показало возможность использования различных конструкций из полимерсерных бетонов, которые могут успешно эксплуатироваться в местах, в которых возникают низкие температуры до -70 °С.

Список литературы

- 1 **Оспанова, М. Ш.** Полимерсерные бетоны : [монография] / М. Ш. Оспанова, Ж. Т. Сулейменов. – Тараз : ТарГУ, 2001. – 265 с.
- 2 Handbook of fillers and reinforcements for plastics / edited by Harry S. Katz, John V. Milewski. – New York : Van Nostrand Reinhold Co., 1978. – 652 p.
- 3 **Gadamov, D.** Chemical resistance of a hydrophobic-hemostable organomineral composite material in aggressive liquid media / D. Gadamov, U. Ziyamuhammedova, G. Miradullaeva // Problems in the Textile and Light Industry in the Context of Integration of Science and Industry and Ways to Solve Them, AIP Conf. Proc. – Vol. 3045, is. 1. – P. 060017-1–060017-6.
- 4 **Гадамов, Д.** Обнаружение и идентификация микроорганизмов-нефтедеструкторов в загрязненных нефтью почвах Туркменистана / Д. Гадамов, Д. Аманназарова, Л. Гульмамедова // Химия и химическая инженерия. В 2 ч. Ч. 2. – 2023. – № 7.

5 Балакин, В. М. Изучение огнезащитной эффективности азот-фосфорсодержащих составов для древесины / В. М. Балакин, Ю. И. Литвинец // Пожаро-взрывобезопасность. – Т. 16, № 5. – 2007. – 39–41 с.

6 Поведение серных вяжущих и композиций на их основе при различных температурах / Г. Е. Нагибин [и др.] // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2013. – № 4 (26). – 245–251 с.

7 Болтышев, С. А. Серные бетоны для защиты от радиации / С. А. Болтышев, А. М. Данилов, Е. В. Королев. – Пенза : ПГУАС, 2014. – 174 с.

8 ПНСТ 105-2016. Смеси серобетонные и серобетон. – Введ. 2016-04-30. – М. : Стандартиформ, 2016. – 16 с.

УДК 662.766:544.541

АЦЕТИЛЕНОВЫЕ САЖИ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА РАДИАЦИОННУЮ СТОЙКОСТЬ РЕЗИНОВЫХ ИЗДЕЛИЙ

А. С. ИБАДУЛЛАЕВ, Ш. И. МАМАЕВ, Д. И. НИГМАТОВА

Ташкентский государственный транспортный университет, Республика Узбекистан

Композиционные полимерные материалы, стойкие к действию ионизирующего излучения, широко используются в радиационной технике для изготовления комплектующих уплотнительных и герметизирующих деталей. Для повышения радиационной стойкости композиций в их состав вводят различные модифицированные наполнители [1–4]. В работе исследованы физико-химические свойства углеродосодержащего материала (УМ) вторичного сырья производства ацетилена и его влияние на радиационную стойкость резиновых изделий и кабельных резин. Установлено, что углеродосодержащий материал представляет собой модифицированный углерод, поверхность которого микрокапсулирована олигомерными кислородсодержащими соединениями, толщина его, рассчитанная по значению удельной геометрической поверхности, составила величину порядка 50–60 Å.

Установлено влияние углеродосодержащего материала на коэффициент релаксации и напряжения сжатия, и радиационной стойкости по относительному удлинению резин в среде ионизирующего излучения ^{60}Co . При этом обнаружено, что за счет аппретированного олигомера на поверхности частиц УМ пороговая доза излучения резин на основе бутадиен-стирольного каучука по показателю релаксации, напряжения сжатия и коэффициента радиационной стойкости по относительному удлинению увеличивается в три раза по сравнению с техуглеродом П803. Аналогично получены зависимости для резин на основе других типов каучуков, в том числе бутадиен-нитрильных каучуков, обладающих низкой радиационной стойкостью из-за повышенной склонности к структурированию. О подавлении процессов радиационного структурирования резин при использовании УМ свидетельствуют данные (рисунок 1), показывающие изменение при облучении дозой 50 Мрад, зависимость между объемной долей каучука в геле набухающих, наполненных и ненаполненных вулканизаторов. В необлученных резинах указанная зависимость свидетельствует о каталитическом влиянии УМ на процесс серного структурирования резин, что соответствует кинетике изменения в процессе вулканизации показателя условного напряжения при заданном удлинении.

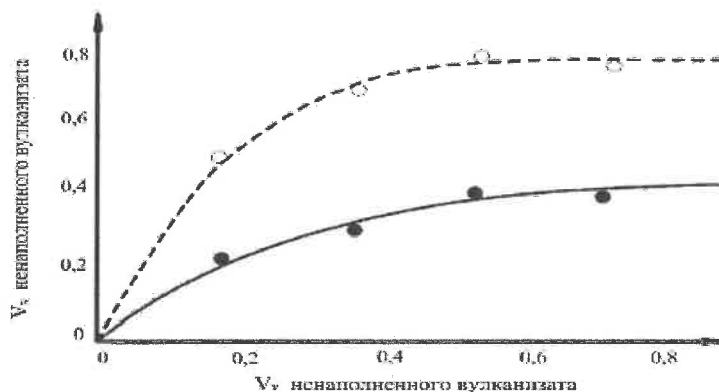


Рисунок 1 – Зависимость между объемной (V_v) долей каучука в геле набухших наполненных и ненаполненных вулканизаторов на основе бутадиен-стирольного каучука

После облучения резин, наполненных П803, в них резко увеличивается число узлов взаимодействия, не разрушаемых растворителем, чего не наблюдается в случае использования УМ. Можно предположить, что олигомер, аппретированный на поверхности частиц УМ, способствует снижению степени полисульфидности серных связей, а следовательно, и вероятности их распада при действии ионизирующего излучения с последующей рекомбинацией и образованием новых поперечных связей в полимерной фазе резин.

Таким образом, полученные данные свидетельствуют, что УМ является эффективным наполнителем повышения радиационной стойкости резин и может привести к повышению гарантийного срока хранения и работоспособности резинотехнических изделий и кабелей, эксплуатируемых в среде ионизирующего излучения.

Список литературы

- 1 Ibadullaev, A. Radiation Resistance of Filled Elastomer Compositions / A. Ibadullaev, D. Nigmatova, E. Teshabaeva // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2021. – Vol. 808. – Article 012043. – 7 p.
- 2 Муфтуллаева, М. Б. Study of physic-chemical properties of montmorillonite of Karakalpakstan / М. Б. Муфтуллаева, А. С. Ибадуллаев // Science and education in Karakalpakstan. – 2019. – № 4. – С. 10–14.
- 3 Ибадуллаев, А. Физико-химическая модификация композиционных эластомерных материалов полифункционального назначения / А. Ибадуллаев // Композиционные материалы. – 2000. – № 1. – С. 48–53.
- 4 Наполнители для полимерных композиционных материалов / под ред. Г. С. Каца, Д. В. Милевского. – М. : Химия, 1981. – 736 с.

УДК 656.11:625.712

ВЛИЯНИЕ ПОЛИМЕРНО-ЩЕБЕНОЧНО-МАСТИЧНОГО АСФАЛЬТОБЕТОНА, РАЗРАБОТАННОГО ДЛЯ УСЛОВИЙ УЗБЕКИСТАНА, НА БЕЗОПАСНОСТЬ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ

С. З. КУРБОНОВ, А. М. КАРАБАЕВ

Ташкентский государственный транспортный университет, Республика Узбекистан

Согласно Постановлению Президента Республики Узбекистан от 6 июля 2022 года ПК-307 «Об организационных мерах по реализации Стратегии инновационного развития Республики Узбекистан на 2022–2026 годы» [1], проведены испытания щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси (ЩМА). Также, согласно Постановлению Президента Республики Узбекистан от 10 октября 2023 года ПК-330 «О мерах по дальнейшему совершенствованию дорожного хозяйства» [2], современные дорожно-инновационные материалы используются при строительстве и ремонте автомобильных дорог – применение полимерно-щебеночно-мастичного асфальтобетона (ПЩМА) предусмотрено с 2024 года.

В результате наблюдений на опытных участках в некоторых местах положительных результатов получено не было. При анализе было установлено, что для климатических условий Узбекистана несколько эффективнее укладывать ПЩМА, чем мелкозернистый плотный асфальтобетон. В результате образования колеи в асфальтобетонном покрытии и ухудшения уровня сцепления покрытия за короткий период времени на автомобильных дорогах происходят различные дорожно-транспортные происшествия. В частности, установлено, что такие параметры, как водостойкость и коэффициент сцепления покрытия, значительно выше у ПЩМА смеси, а наибольшее значение глубины колеи при проходе колеса автомобиля наблюдается у мелкозернистого плотного асфальтобетона типа А (рисунки 1, 2 и таблица 1).

По результатам исследования плотных асфальтобетонов, произведенных на основе [3], их эксплуатационные показатели не соответствуют требуемым для сегодняшнего сухого и жаркого климата нашей страны. Результаты исследования эксплуатационных показателей ПЩМА, используемого в различных регионах страны, представлены в таблице 1 и 2. Физико-механические свойства ПЩМА, применяемые практически во всех дорожно-климатических зонах, соответствуют требованиям [4] и [5].

Глубина колеи при температуре 60 °С, являющаяся технико-эксплуатационным показателем дорожного покрытия, в 1,2–2,0 раз превышает требования международного стандарта (максимальное значение 4,0 мм). Это означает, что мелкозернистые плотные асфальтобетоны, произведенные на

основе [3], не могут применяться абсолютно на всех объектах. Поэтому необходимо провести исследования смесей, применяемых в верхнем слое покрытия. В качестве решения можно заменить горячую асфальтобетонную смесь марки А на ПЩМА.

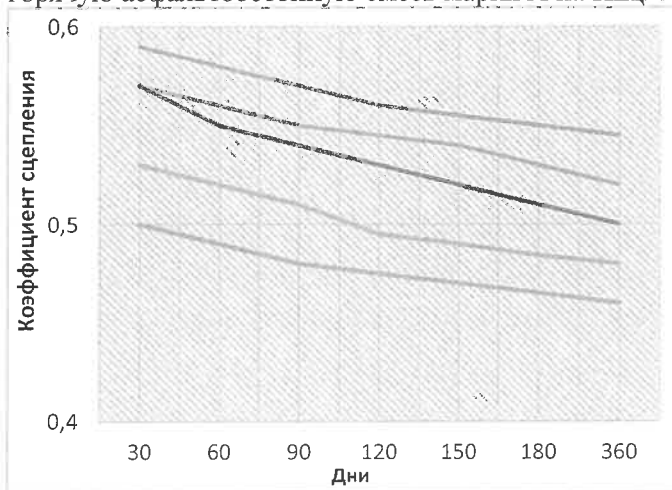


Рисунок 1 – Коэффициент сцепления разных видов асфальтобетонов

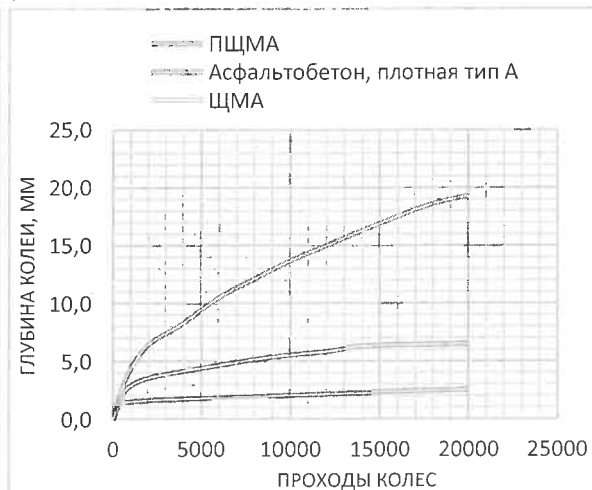


Рисунок 2 – Анализ глубины колеи

Таблица 1 – Эксплуатационные показатели асфальтобетонных покрытий

Показатель	Результаты исследований	
	ПЩМА	Тип А
Глубина колеи при температуре 60 °С, мм	1,50–3,00	5,00–9,84
Водостойкость при длительном водонасыщении	0,85–0,96	0,70–0,83
Коэффициент сцепления покрытия	0,50–0,60	0,43–0,55
Модуль упругости дорожных одежд, МПа	220–280	340–450

Одними из наиболее распространенных дефектов, приводимых к частым дорожно-транспортным происшествиям, являются неровности дорожного покрытия и наличие деформационных дефектов на дорогах. Наиболее положительным результатом, полученным при использовании ПЩМА смеси из местных минеральных материалов, является коэффициент сцепления этого покрытия. Коэффициент сцепления покрытия при определении методом испытаний составляет 0,55–0,61. Среднее арифметическое значение коэффициента сцепления составляет 0,59 (см. рисунок 1). Эта величина должна быть не менее 0,45–0,50 в горячем мелкозернистом плотном асфальтобетонном покрытии.

Таблица 2 – Модуль упругости плотного асфальтобетона типа Б и покрытия ПЩМА

Требование	Фактический модуль упругости, МПа	
	ПЩМА	Асфальтобетон типа Б
>330	365	257
>330	405	242
>330	365	196
>330	365	280
>330	384	187
>330	405	215
>330	365	199
>330	356	221
>330	384	207
>330	394	194

По результатам испытательных работ среднее арифметическое значение фактического модуля упругости конструкции плотного асфальтобетонного покрытия типа Б составило 219,8 МПа. Среднее арифметическое значение реального модуля упругости конструкции покрытия ПЩМА составило 378,8 МПа. Среднее арифметическое значение фактического модуля упругости покрытия ПЩМА в 1,72 (172 %) раза выше, чем у плотного асфальтобетонного покрытия типа Б. Установленное значение глубины колеи покрытия из плотного асфальтобетона типа А в 2–4 раза превышает значение глубины колеи покрытия из ПЩМА. Коэффициент сцепления покрытия ПЩМА на 20–50 % выше, чем у плотного асфальтобетонного покрытия типов А и Б.

Список литературы

- 1 Об организационных мерах по реализации Стратегии инновационного развития Республики Узбекистан на 2022–2026 годы : постановление Президента Респ. Узбекистан от 6 июля 2022 года ПК-307.
- 2 О мерах по дальнейшему совершенствованию дорожного хозяйства : постановление Президента Респ. Узбекистан от 10 окт. 2023 года ПК-330.
- 3 ГОСТ 9128-2013. Смеси асфальтобетонные, полимерасфальтобетонные, асфальтобетон, полимерасфальтобетон для автомобильных дорог и аэродромов. – Введ. 2014-11-01. – М. : Стандартинформ, 2014. – 55 с.
- 4 УзДСт 3610-2022. Щебеночно-мастичные полимерасфальтобетонные смеси и щебеночно-мастичные полимерасфальтобетоны для дорог и аэродромов.
- 5 ГОСТ 31015-2002. Смеси асфальтобетонные и асфальтобетон щебеночно-мастичные. – Введ. 2003-05-01. – М. : ТУП УПП, 203. – 21 с.

УДК 620.193.4/7

МЕТОДЫ БОРЬБЫ С КОРРОЗИЕЙ НА ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГЕ

Л. С. КУЩЕНКОВА

*Филиал Самарского государственного университета путей сообщения, г. Нижний Новгород,
Российская Федерация*

Коррозия железнодорожного транспорта и путей представляет собой одну из самых серьезных проблем, с которыми сталкивается современная инфраструктура. Металлы, используемые в строительстве рельсов и подвижного состава, подвержены воздействию коррозионных процессов, вызванных атмосферными условиями, химическими реагентами и механическими нагрузками. Влага, кислород и агрессивные вещества, такие как соль, ускоряют разрушение железа и стали.

Коррозионные разрушения являются серьезной проблемой для железнодорожного транспорта, негативно влияя на безопасность и долговечность подвижного состава и инфраструктуры. Основные виды коррозии, которым подвергаются вагоны и железнодорожные пути, включают:

- ржавление – наиболее распространенная форма коррозии, возникающая из-за окисления железа в присутствии влаги и кислорода. Этот процесс приводит к потере прочности и формированию трещин на поверхности металла;

- гальваническая коррозия – возникает, когда два различных металла контактируют друг с другом в присутствии электролита (воды или влаги). Это может вызвать ускоренное разрушение менее стойкого металла;

- питтинговая коррозия – локализованный тип коррозии, проявляющийся в виде маленьких ямок на поверхности металла. Она может привести к глубоким повреждениям, несмотря на небольшую площадь поражения;

- кристаллическая коррозия – процесс, при котором происходит образование кристаллических структур в металле, что ведет к его хрупкости и разрушению;

- коррозия блуждающими токами встречается на подключенных к электричеству участках железных дорог, которые работают на постоянном токе.

Для предотвращения коррозии разработаны различные методы защиты, которые направлены на продление срока службы вагонов, рельсов и других инфраструктурных объектов. Одним из самых эффективных способов является применение антикоррозионных покрытий. Они создают защитный барьер, препятствующий контакту металлической поверхности с влагой и агрессивными химическими веществами. Использование эпоксидных, полиуретановых и фторокарбонных составов позволяет создать прочную защитную пленку, которая эффективно противодействует агрессивным внешним воздействиям. Эти покрытия не только предотвращают коррозию, но и обеспечивают дополнительную защиту от механических повреждений и ультрафиолетового излучения. Инвестирование в антикоррозионные технологии имеет экономическую целесообразность, так как сокращает частоту ремонтов и продлевает межремонтный срок вагонов и локомотивов.

Использование ингибиторов коррозии позволяет существенно снизить скорость разрушения металла. Эти вещества образуют защитную пленку на поверхности, предотвращая контакт между металлическими компонентами и агрессивной средой. Ингибиторы могут быть как органическими,

так и неорганическими, и выбор их зависит от конкретных условий эксплуатации. На сегодня активно применяются новые технологии, такие как наноингибиторы, которые обеспечивают еще более эффективную защиту. Их использование позволяет значительно продлить срок службы железнодорожных конструкций и снизить финансовые затраты на их обслуживание. Комплексный подход к использованию ингибиторов, включая регулярный мониторинг состояния металла и применение современных защитных смесей, способствует созданию безопасной и долговечной железнодорожной системы, способной выдерживать высокие нагрузки и неблагоприятные внешние условия.

Применение катодной защиты позволяет снизить скорость коррозионного разрушения путем создания электрического тока, который противодействует процессу коррозии. Сущность такого способа заключается в том, что защищаемый объект становится катодом в электрохимической цепи, что препятствует окислительным процессам на его поверхности. Существует несколько методов, включая жертвенные аноды и системы, функционирующие с помощью наведенного тока, каждый из которых имеет свои преимущества и недостатки в зависимости от условий эксплуатации. Эффективная реализация систем катодной защиты не только продлевает срок службы железнодорожных объектов, но и существенно снижает затраты на их обслуживание и ремонт.

Использование коррозионностойких материалов, таких как нержавеющая сталь или сплавы с алюминием, также является важной частью комплексного подхода к защите. Коррозионностойкие стали, полимеры и композитные материалы обладают высокой стойкостью к окислению и механическим повреждениям, что делает их идеальными кандидатами для применения в условиях повышенной агрессивности. Например, использование специализированных антикоррозионных покрытий на рельсах и шпалах позволяет значительно снизить необходимость в частом ремонте и замене, тем самым уменьшая затраты и повышая безопасность.

Внедрение современных технологий мониторинга и автоматизации процессов обеспечивает высокую надежность и оперативное реагирование на возможные изменения в состоянии систем, что в свою очередь способствует общей безопасности и эффективности железнодорожного транспорта.

Применение рассмотренных технологий способствует улучшению устойчивости к внешним воздействиям, предотвращая разрушение инфраструктуры и повышая надежность транспортных сообщений. Инвестирование в коррозионностойкие решения – это не только шаг к экологически чистому будущему, но и гарантированное сохранение ресурсов.

Список литературы

- 1 Абакумова, Ю. П. Современная защита от коррозии на железнодорожном транспорте [Электронный ресурс] / Ю. П. Абакумова, Ю. Е. Жеско. – Режим доступа : <https://e.lanbook.com/book/59885>. – Дата доступа : 12.09.2024.
- 2 Коррозия железнодорожного транспорта [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://okorrozii.com/korrozia-zheleznodorognogotransporta>. – Дата доступа : 12.09.2024.
- 3 Влияние коррозии на металлические сооружения железных дорог [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.informio.ru/publications/id6278/Vlijanie-korrozii-na-metallicheskie-sooruzhenija-zheleznyh-dorog>. – Дата доступа : 12.09.2024.

УДК 656.21

СОДЕРЖАНИЕ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ

Л. С. КУЩЕНКОВА

*Филиал Самарского государственного университета путей сообщения, г. Нижний Новгород,
Российская Федерация*

Земляное полотно железнодорожного пути – это искусственно созданная конструкция, обеспечивающая стабильность и прочность для движения поездов. Оно играет ключевую роль в организации транспортных потоков, формируя основу для рельсовых конструкций, которые должны выдерживать значительные нагрузки.

Процесс его создания начинается с выбора соответствующего места, где будет заложено земляное полотно. Это требует внимательного анализа грунтовых условий и возможного рельефа местности.

После этого осуществляется выемка и планировка, в ходе которой удаляются верхние слои почвы, что позволяет создать равномерную и прочную основу. Затем на подготовленное основание укладываются слои песка и щебня, которые выполняют функцию дренажа и предотвращают образование водяных скоплений. Важным этапом является укладка балластного слоя, который не только обеспечивает стабильность рельсов, но и амортизирует вибрации от проходящего состава. Земляное полотно должно быть выполнено с учетом множества факторов, включая климатические условия и потенциальные угрозы, такие как эрозия или проседание грунта. Корректно спроектированное земляное полотно – залог безопасного и эффективного железнодорожного сообщения.

В земляном полотне могут возникать и накапливаться дефекты и деформации. Дефекты являются следствием воздействия различных факторов, таких как неравномерные нагрузки, изменения в влажности и температуре, а также подвижки грунтов. При этом деформации могут проявляться в виде осадки, крена или расходящихся трещин, что напрямую влияет на целостность и устойчивость конструкций.

Одним из основных источников дефектов является неправильное проектирование и эксплуатация земляного полотна. Неправильное распределение нагрузок, недостаточная мера по дренированию и учет геологических условий могут привести к серьезным последствиям. Также важным фактором является воздействие окружающей среды. Дождь, снег, подземные воды способны не только вызвать эрозию, но и способствовать накоплению водных потоков в определенных зонах, что может спровоцировать ослабление грунтов. Таким образом, контроль за состоянием земляного полотна и профилактические мероприятия играют ключевую роль в предотвращении образования дефектов. Важно не только фиксировать изменения, но и своевременно принимать меры по их устранению.

Один из ключевых аспектов проектирования и эксплуатации железнодорожного полотна – это обеспечение его долговечности и устойчивости. Армирование и стабилизация грунтовых оснований позволяют значительно повысить прочностные характеристики, что, в свою очередь, способствует безопасной и бесперебойной работе транспортной инфраструктуры. Нарращивание устойчивости земляных полотен необходимо учитывать на всех этапах – от проектирования до эксплуатации. Такие меры не только минимизируют риски разрушения и аварий на железной дороге, но и снижают затраты на ремонт и обслуживание, продлевая срок службы сооружений.

Современные методы армирования основаны на использовании различных геосинтетических материалов, которые обеспечивают равномерное распределение нагрузок и предотвращают деформации и просадки. В то же время процессы стабилизации грунтов могут включать в себя механические и химические методы, такие как добавление извести, цемента или полимеров, что также увеличивает прочность и водонепроницаемость грунта.

Геосинтетические материалы, используемые для стабилизации каменных материалов и армирования грунта, играют ключевую роль в современных строительных и инженерных проектах. Эти инновационные продукты, созданные из синтетических полимеров, обеспечивают прочность и долговечность конструкций, что особенно важно в условиях изменчивого климата и растущих требований к экологии. Применение геосинтетиков позволяет эффективно распределять нагрузки, предотвращать эрозию и способствовать устойчивости сооружений. Они служат надежными барьерами между различными слоями грунта, минимизируя риск просадки и разрушения.

Такие материалы, как геомембраны, геотекстилы и георешетки, находят широкое применение в дорожном строительстве, земляных работах и при создании оснований для зданий. Системы армирования, созданные с использованием геосинтетиков, обеспечивают значительное улучшение механических свойств грунта, что позволяет сократить количество используемых строительных материалов и снизить затраты. С учетом постоянного роста инициатив по охране окружающей среды геосинтетические решения становятся не только эффективными, но и экологически устойчивыми, способствуя достижению устойчивого развития в строительной отрасли.

Георешетки представляют собой эффективный и универсальный инструмент, активно используемый в строительстве и гражданской инженерии. Их преимущества заключаются в способности значительно увеличивать прочность и стабильность грунта, что особенно актуально в условиях слабых или ненадежных оснований. Они помогают равномерно распределять нагрузки, уменьшая риск осадки и деформации. Кроме того, использование георешеток способствует улучшению дренажа, что предотвращает накопление излишней влаги и способствует долговечности конструкций. В комбинации с различными видами заполнителей, такими как гравий или земля, георешетки создают устойчивую и надежную основу для дорожных покрытий, тротуаров и парковок. Экономическая

эффективность также является неоспоримым преимуществом. Сокращение затрат на материалы и уменьшение времени строительства делают георешетки привлекательным выбором для проектировщиков и подрядчиков. Их легкость и простота в установке позволяют значительно оптимизировать рабочие процессы. В итоге применение георешеток не только повышает эксплуатационные характеристики конструкций, но и способствует созданию более устойчивой и безопасной городской инфраструктуры.

ИССО – армогрунтовые системы, играющие ключевую роль в современном строительстве и инженерных решениях. Эти инновационные технологии представляют собой уникальное сочетание геосинтетических материалов и природного грунта, позволяя создавать устойчивые и долговечные конструкции. В процессе проектирования и внедрения армогрунтовых систем исследуются механические свойства применяемых материалов, а также их взаимодействие с окружающей средой. Одним из важных преимуществ ИССО является их способность к самоусилению, что значительно снижает затраты на эксплуатацию и обслуживание. Армогрунтовые конструкции находят широкое применение в различных областях: от создания устойчивых откосов и берегоукреплений до разработки сложных инженерных сооружений, таких как мосты и тоннели. Однако, несмотря на очевидные преимущества, проектирование и реализация армогрунтовых систем требуют глубоких знаний в области геотехники и материаловедения. Сложные нагрузки, динамическое воздействие и изменение климатических условий – все это необходимо учитывать для достижения оптимального результата. В результате ИССО открывают новые горизонты в строительстве, позволяя реализовывать амбициозные и долговечные проекты.

Современные технологии мониторинга и диагностики позволяют оперативно выявлять возможные проблемы и принимать меры до возникновения серьезных аварийных ситуаций. Таким образом, комплексный подход к проектированию, строительству и эксплуатации земляного полотна, с акцентом на использование инновационных материалов в значительной мере повышает устойчивость и безопасность железнодорожных путей.

Список литературы

- 1 Инструкция по содержанию земляного полотна железнодорожного пути ЦП/544 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://epk-rzd.ru/wp-content/uploads/2015/09/CP-544.pdf>. – Дата доступа : 20.09.2024.
- 2 Геосинтетические технологии для магистралей будущего [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://gudok.ru/content/infrastructure/1638648/>. – Дата доступа : 20.09.2024.
- 3 Стабилизация земляного полотна железных дорог | Сотерра Инжиниринг [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://soterra.ru/otraslevye-resheniya/zheleznodorozhnoe-stroitelstvo/armirovanie-i-stabilizatsiya-zemlyanogo-polotna-zheleznykh-dorog/>. – Дата доступа : 20.09.2024.

УДК 624.15

О БЕТОНИРОВАНИИ ФУНДАМЕНТА ПО ТИПУ «УТЕПЛЕННАЯ ШВЕДСКАЯ ПЛИТА» В ЗИМНИХ УСЛОВИЯХ

А. В. ЛЕМЕШЕВСКАЯ, Т. В. ЯШИНА

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Одной из перспективных технологий в строительстве является возведение ресурсосберегающих домов на фундаменте по типу «Утепленная шведская плита», или УШП. Этот тип фундаментов может найти широкое применение на объектах придорожного сервиса. Поэтому поиск методов повышения надежности и долговечности конструкций транспортных объектов весьма актуален.

УШП – это фундамент мелкого заложения, представляющий собой монолитную железобетонную плиту, в которую встроены коммуникации и система обогрева «теплый пол». Отличается он тем, что прокладка инженерных сетей и коммуникаций производится параллельно обустройству основания, что существенно сокращает сроки строительства, позволяя возводить большее количество жилых домов по сравнению с распространенной в нашей стране технологии ленточных фундаментов [1]. Но есть и недостаток – сезонность бетонных работ, которые не могут производиться без специального оборудования и химических добавок, вводимых в бетонную смесь при температуре наружного воздуха ниже 5 °С [2].

Нами исследовался метод прогрева фундамента по типу «Утепленная шведская плита», заключающийся в использовании заложённых коммуникаций как нагревательного элемента, и экспериментальным путем проверялась эффективность химических добавок для бетонирования в зимних условиях.

При монолитном бетонировании в зимних условиях для прогрева бетонной смеси чаще всего используют греющий кабель или провод ПНСВ, что требует большой выделенной мощности электричества. Это несет за собой существенные дополнительные расходы, так как необходимо использовать мобильную электростанцию или станцию прогрева. Отличительным преимуществом УШП становится система обогрева пола, которая монтируется перед бетонированием.

Перед укладкой бетонной смеси система заполняется теплоносителем (в качестве которого могут выступать вода при температуре 0–5 °С или антифриз при минусовых температурах) и подключается к временному котлу, вокруг которого необходимо установить теплоизолированный короб для минимизации теплопотерь в окружающую среду. Такая система существенно экономит электричество, по сравнению с проводными методами обогрева.

Котел необходимо запустить заранее и укладку бетонной смеси в опалубку производить при «разогретых» полах.

Так как под системой обогрева находится слой утеплителя, необходимо дополнительно накрыть уложенную бетонную смесь пленкой и слоем пенопласта, таким образом получаем импровизированный метод термоса для сокращения теплопотерь, а также испарений влаги, не допуская пересыхания бетонной смеси [3].

Данный способ позволит строить здания на таком фундаменте и в зимний период, не снижая запланированных темпов. Но перед заливкой фундамента при минусовых температурах возникает так же и вопрос транспортировки бетонной смеси на строительную площадку. Для того чтобы понизить температуру замерзания жидкой фазы бетона, снизить количество воды затворения и повысить прочность бетонного камня используются противоморозные добавки [4].

По данным, предоставленным лабораторией компании БелСКТ-СТАНДАРТ, внесенным в таблицу 1, можно наглядно наблюдать эффективность химических добавок по отношению к контрольным образцам.

Состав бетона на 1 м³ (на замес): цемент (Кричев, ПЩ500Д0) – 350 кг, песок (Омневичи, Мк = 2,5) – 840 кг, щебень (Микашевичи, фракция 5–20) – 1060 кг.

Таблица 1 – Результаты испытаний противоморозных добавок

Добавка		Вода на 1 м ³ /на замес	Подвижность, см		Прочность, кг/МПа	
Наименование	Дозировка, %/кг		Время, мин	Осадка конуса	7-е сутки	28-е сутки
ХИДЕТАЛ-ГП-9 дельта	1,3/4,55	160	5	14	2,44/29,3	2,41/40,8
			60	8	2,42/26,3	2,42/38,1
ЗИМНЯЯ-П-3-АН	1,5/5,25	185	5	8	2,41/23,8	2,42/32,3
					2,40/23,5	2,41/31,5
Без добавки	–	190	5	9	2,41/24,4	2,43/31,6
						2,39/30,6

Примечание к таблице 1. Образцы, в составе которых есть химическая добавка на 4 часа помещались в холодильник при температуре –15 °С, далее твердение происходило в нормальных условиях. Контрольные образцы без химических добавок весь период твердения были в нормальных условиях.

Применение противоморозных химических добавок позволяет сократить количество воды затворения, при этом подвижность бетонной смеси и прочность бетонного камня существенно повышаются. ХИДЕТАЛ-ГП-9 дельта – гиперпластификатор, показывающий свойства водоредуцирования, пластификации, повышает морозостойкость и водонепроницаемость.

Прогрев бетонной смеси системой теплого пола позволит повысить прочность готового фундамента УШП без привлечения большого количества дополнительного оборудования и снизит экономические затраты на строительство, повысит надежность конструкций, а значит их долговечность и безопасность.

Список литературы

1 Сайт торговой сети «Технониколь» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://tstn.by/articles/statya_15_uteplennaya_shvedskaya_plita_reshenie_3_v_1/. – Дата доступа : 12.09.2024.

2 Журнал Эксперт-Урал [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://expert-ural.com/archive/16-279/yavka-neprovalena.html>. – Дата доступа : 12.09.2024.

3 Сайт строительной компании «Финский домик» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://finskidomik.ru/ushp-na-sklone-v-xolodnoe-vremya-goda/ysclid=m12x39bmoh940170232>. – Дата доступа : 12.09.2024.

4 Сайт журнала «FORUMHOUSE» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.forumhouse.ru/journal/articles/7916-dobavka-dlya-zimnego-betonirovaniya-osobennosti-i-preimushestva>. – Дата доступа : 12.09.2024.

УДК 711.5.004.67

ОСОБЕННОСТИ РЕКОНСТРУКЦИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЙ В КОНТЕКСТЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИХ БЕЗОПАСНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ

И. В. РУДЕНКОВА, А. В. БАЛАХОНОВА

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Реконструкция промышленных зданий и сооружений заключается в усилении или замене существующих конструктивных элементов, увеличении размеров цеховых помещений, а также повышении несущей способности перекрытий, что обеспечивает надежность и безопасность обновленного сооружения. Это обусловлено ростом технологических нагрузок или изменением требований к производственным процессам.

Ключевой особенностью реконструкции промышленных предприятий является повышенный уровень взрывоопасности и пожароопасности, а также необходимость выполнения работ в стесненных условиях среди функционирующего оборудования и коммуникаций. Для решения этой задачи используются малогабаритные строительные машины и механизмы: компактные экскаваторы, погрузчики, гидравлические установки для подъема конструкций, а также оборудование для просверливания отверстий в железобетонных конструкциях и демонтажа стен.

Реконструкция промышленных объектов – сложный и трудоемкий процесс, требующий профессионального подхода, который направлен на обеспечение устойчивости здания или комплекса в целом за счет усиления его конструктивных элементов. Также для этого нередко приходится прибегать к возможному строительству вспомогательных сооружений, что требует значительных финансовых затрат.

Реконструкция промышленных зданий предъявляет особые требования к минимизации дополнительных нагрузок на фундамент. Для этого целесообразны использование легких строительных материалов, таких как легкобетонные изделия и легкие сплавы, а также оптимизация конструкций каркасов, поиск оптимальных геометрических параметров, сокращение количества монтажных элементов и назначение рациональных сечений с точки зрения минимума массы и стоимости.

Важным аспектом реконструкции является обеспечение повышенной экологической безопасности. Необходимо исключить загрязнение воздуха вредными газами и пылью, снизить уровень шума и принять меры по предотвращению пожаров и взрывов.

Предприятия и склады, работающие с легковоспламеняющимися веществами, горючими жидкостями, газами и пылью, наиболее подвержены риску возникновения пожаров и взрывов. К группе риска относятся предприятия нефтегазовой, горнодобывающей, атомной энергетики и другие отрасли.

Недостаточное внимание проектных организаций к противопожарным требованиям на этапах проектирования, строительства и реконструкции, а также снижение контроля со стороны надзорных органов усугубляют проблему.

В новых зданиях и при реконструкции могут устанавливаться противопожарные преграды из теплоустойчивых материалов с низкой теплопроводностью, таких как бетонные блоки, кирпич, железобетон. Однако значительный вес таких конструкций может быть неприемлемым для существующих зданий. В таких случаях используются легкие конструкции из огнестойкого гипсокартона и стекла.

Реконструкция промышленных предприятий с непрерывным производственным циклом требует особого подхода к планированию строительно-монтажных работ, учитывая технологический процесс. Непроизводительные затраты времени могут увеличиться вдвое по сравнению со строительством нового объекта, а производительность труда снизиться до 70 % из-за простоев. Поэтому по-

рядок и концепция проведения работ на каждом этапе реконструкции должны быть тщательно продуманы.

Стоимость работ по реконструкции 1 м² производственного здания определяется исходя из типа используемых материалов, задействованной специализированной техники, необходимости привлечения квалифицированных специалистов и объема земляных работ.

Процесс реконструкции промышленных зданий включает в себя этапы:

1 Обследование и инженерные изыскания.

Данный этап подразумевает детальный анализ состояния несущих конструкций, отделочных материалов, коммуникационных систем и инженерных сетей здания. Необходимо провести оценку возможностей реконструкции или капитального ремонта с целью достижения поставленных целей и улучшения эксплуатационных характеристик объекта.

2 Проектирование.

Разработка проектной документации, включающей общий проект с планом организации работ, сводный сметный расчет с учетом актуальных цен на строительные материалы и услуги, проекты по отдельным работам (возведение пристроек, благоустройство территории, модернизация инженерных сетей и т. д.) [1].

3 Общестроительные работы.

Ремонт и обновление существующих или возведение новых строительных конструкций (фундамент, несущие стены и перегородки, перекрытия, кровля). Формирование новых проемов, а также перенос или расширение существующих. Устройство оснований для монтажа промышленного оборудования с учетом вибрационных, статических и других нагрузок.

4 Модернизация инженерных систем и коммуникаций.

Электромонтажные работы (в соответствии с проектом электроснабжения), модернизация системы вентиляции, обновление водопровода и канализации. Возможна установка дополнительного очистительного оборудования, систем кондиционирования, климат-контроля, видеонаблюдения, пожарной безопасности и т. д. [2].

5 Внутренняя и наружная отделка.

Декоративная отделка помещений осуществляется с учетом технологий производства и использования предварительно отобранных материалов. Облицовка фасада может предусматривать дополнительную звукоизоляцию для снижения уровня шума от промышленного объекта; благоустройство прилегающей территории: оптимизация расположения подъездных путей, парковочных площадок, зон выгрузки и погрузки, устройство зон отдыха, озеленение и т. д.

В процессе реконструкции промышленных предприятий необходимо предусмотреть мероприятия по обеспечению прочности и устойчивости сохраняемых и демонтируемых конструкций, а также зданий и сооружений в целом. Важно обеспечить безопасность транспортирования строительных материалов и конструкций, разработать мероприятия по безопасной совместной работе нескольких специализированных подразделений и функционирующего производства.

Актуальность данной темы не вызывает сомнений, поскольку в условиях экономического кризиса количество неработающих заброшенных предприятий неуклонно растет. Кроме того, потребность в ресурсах, производимых заводами, остается на высоком уровне, что указывает на необходимость восстановления промышленного производства путем реконструкции существующих предприятий. Важным аспектом промышленной отрасли всегда являлось соблюдение строгих стандартов безопасности и экологических требований. Также объект может со временем не утрачивать свою функциональную значимость или приобретать новое перспективное назначение, но терять свою устойчивость. Таким образом, постоянное совершенствование промышленных объектов и (или) комплексов относительно повышения уровня надежности и безопасности должно реализовываться прямо пропорционально расширению требований комфорта современного человека.

Список литературы

1 **Одоевская, А. А.** Строительные материалы будущего / А. А. Одоевская, А. Н. Леонова // Проектирование и строительство автономных, энергоэффективных зданий : сб. ст. Междунар. науч.-практ. конф. – Уфа : МЦИИ Омега Сайнс, 2018. – С. 142–147.

2 **Гамм, М. В.** Основные параметры ресурсосбережения при реконструкции зданий / М. В. Гамм, А. Н. Леонова // Материалы конференций ГНИИ «Нацразвитие». – 2017. – С. 56–59.

ИСХОДНАЯ СЕЙСМИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СЕЙСМОСТОЙКИХ СООРУЖЕНИЙ

С. Н. СКЛЯРОВ

*Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю. А.,
Российская Федерация*

Землетрясение – это резкое сотрясение земной поверхности, вызванное движением тектонических плит в толще Земли. В мире в течение года происходит более миллиона землетрясений разной интенсивности. Величина высвобождаемой при этом энергии весьма велика, поэтому не удивительно, что землетрясения часто сопровождаются колоссальными разрушениями. Область, в которой появляются подвижки земной коры и происходит наибольшее высвобождение энергии, называется очагом. В его центре располагается гипоцентр, проекция которого на поверхность Земли называется эпицентром. Расстояние от рассматриваемой точки наблюдения до эпицентра называется эпицентральной дистанцией. Один из основоположников сейсмологии Б. Гутенберг считал, что глубина очагов землетрясений не превышает 50 км [1]. Однако более поздние исследования продемонстрировали возможность расположения очагов и на больших глубинах – 100–150 км и более. В настоящее время в зависимости от глубины очага выделяют поверхностные (до 70 км), промежуточные (от 70 до 300 км) и глубокие (более 300 км) землетрясения [2]. От очага распространяются два типа волн: продольные (сжатия или дилатации) и поперечные (волны сдвига). Скорость распространения волн зависит от плотности среды и ее упругих характеристик. Поперечные волны распространяются в 1,5 раза медленнее продольных. Для анализа колебаний грунтового массива используются графики изменения смещений, скоростей и ускорений, которые называют сейсмограммами, велосигramмами и акселерограммами.

В настоящее время оценка мощности, или интенсивности землетрясения, осуществляется на основе двух подходов: описательного, который основан на регистрации повреждений зданий, остаточных явлений в грунтах, изменений гидрогеологического режима и прочих признаков, и инструментального. В инструментальном подходе для оценки энергии, выделяющейся при землетрясении в виде сейсмических волн, используют понятие магнитуды землетрясения. Ее первоначальная шкала была предложена в 1935 году американским сейсмологом Чарльзом Рихтером, поэтому в обиходе ее называют шкалой Рихтера (в дальнейшем предложенная им шкала была модифицирована). Магнитуда измеряет именно ту энергию, которая выделилась в очаге (гипоцентре) землетрясения.

В конкретном регионе земной поверхности интенсивность землетрясения измеряют в баллах. В РФ используется двенадцатибалльная шкала (MSK-64), разработанная в 1964 году Медведевым, Шпонхойером и Карником [3]. В ней учитываются как показания сейсмологических станций, так и характер, степень и количество поврежденных зданий и сооружений, остаточные явления в грунтах, изменение течения грунтовых и наземных вод, субъективные ощущения толчков и колебаний и др.

Для оценки интенсивности сейсмических воздействий в районе строительства используется комплект карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации (ОСР97) [4]. В нем карты А, В, и С отражают соответственно 10, 5 и 1%-ю вероятности возможного превышения значений сейсмической интенсивности, для которых средние интервалы времени между землетрясениями расчетной интенсивности составляют соответственно 500, 1000 и 5000 лет. Комплект карт ОСР-97 дает возможность на основе оценки степени сейсмической опасности предусмотреть осуществление антисейсмических мероприятий в зависимости от ответственности объектов: карта А – объекты нормальной (массовое строительство) и пониженной ответственности; карты В и С – объекты повышенной ответственности (особо опасные, технически сложные или уникальные сооружения). Сейсмическая нагрузка относится к группе прочих нагрузок и участвует в расчете сооружения наряду с остальными нагрузками (постоянными, временными, прочими), причем коэффициент сочетаний зависит от уровня ответственности.

В соответствии с нормами сейсмостойкого строительства [4], на строительных площадках балльностью свыше 9 баллов по шкале MSK-64 возведение объектов допускается только при специальном разрешении государства. В то же время, если интенсивность ниже 7 баллов, то нагрузки от землетрясения для обычных объектов вовсе не принимаются во внимание, поскольку, как правило, они не оказываются определяющими. Карты ОСР-97 содержат информацию о средней сейсмичности по району. Фактические сейсмо-геологические условия площадки строительства должны уточняться методами сейсмиче-

ского микрорайонирования. На основе расчетной сейсмичности принимаются пиковые значения ускорений грунта основания: при 7 баллах $a_{\max} = 0,1g$; при 8 $a_{\max} = 0,2g$; при 9 $a_{\max} = 0,4g$.

Теория сейсмостойкости сооружений зародилась после разрушительного японского землетрясения 1891 года. Омори в 1900 году провел специальные опыты, на основе результатов которых была разработана методика определения сейсмических сил, получившая название статической теории сейсмостойкости, позволившая впервые получить количественную оценку таких сил. Ее суть состоит в том, что деформации сооружения не учитываются, а его колебания сводятся к переносному движению вместе с основанием. Дальнейшим этапом в истории развития теории сейсмостойкости сооружений был линейно-спектральный метод, который предложен М. Био в 1941 году. В нем были введены в обращение спектральные кривые, представляющие зависимости максимальных ускорений, скоростей или перемещений линейного осциллятора от функции периода его собственных колебаний. Внедрение спектральной теории в практику проектирования позволило существенно повысить надежность и эффективность сейсмостойкого строительства. Основным недостатком линейно-спектральной теории является ее неприменимость к нелинейным системам.

Основные способы обеспечения сейсмостойкости зданий и сооружений представлены в работе [5]. В их основе лежит, как правило, линейно-спектральный метод расчета сейсмостойкости. В районах, отличающихся высокой сейсмической активностью, распространение получают новые специальные методы, которые позволяют повысить надежность возводимых конструкций при существенном снижении затрат на усиление. К числу таких методов относятся, в частности, применение сейсмоизоляции и динамических гасителей колебаний.

Список литературы

- 1 Гутенберг, Б. Основы сейсмологии / Б. Гутенберг. – М. : ОНТИ, 1938. – 149 с.
- 2 Курбацкий, Е. Н. Сейсмостойкость мостов. Теория и приложения : учеб. пособие / Е. Н. Курбацкий, Е. А. Пестрякова, И. И. Зернов. – М. : АСВ, 2021. – 276 с.
- 3 Медведев, С. В. Инженерная сейсмология / С. В. Медведев. – М. : Госстройиздат, 1962. – 284 с.
- 4 СП 14.13330.2018. Свод правил. Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81*. – Введ. 2018-11-25. – 165 с.
- 5 Ньюмарк, Н. Основы сейсмостойкости строительства / Н. Ньюмарк, Э. Розенблут ; пер. с англ. Г. Ш. Подольского; под ред. Я. М. Айзенберга. – М. : Стройиздат, 1980. – 344 с.

УДК 699.841

СПОСОБЫ ЗАЩИТЫ МОСТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ, ПОДВЕРЖЕННЫХ СЕЙСМИЧЕСКИМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ

С. Н. СКЛЯРОВ

*Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю. А.,
Российская Федерация*

Разрушительные землетрясения уносят жизни тысяч людей, наносят огромный урон экономике, заставляют людей задуматься и принять необходимые меры для создания средств сейсмозащиты для предотвращения катастрофических последствий. В последние годы было проведено большое количество исследований для оценки поступающей энергии при землетрясениях и разработки устройств, позволяющих сберечь сооружения. Мосты очень уязвимы к сейсмическим воздействиям. Во-первых, они обладают малым демпфированием (менее 5 %), а во-вторых, собственные частоты совпадают с частотами сейсмических воздействий [1]. Уменьшить реакцию сооружения реально, благодаря специальным демпфирующим устройствам, которые позволяют уменьшить разрушения сооружений при сейсмических воздействиях.

1 Эластомерные (резинометаллические) опорные части. В конце прошлого века Робинсоном и Келли было найдено удачное сочетание эластичных материалов с металлическими пластинами [2, 3], которое позволило создать резинометаллические опоры, которые получили значительное распространение в Японии, США, Новой Зеландии, России и др. странах. Данные опорные части располагаются на устоях либо промежуточных опорах под пролётными строениями и включают цилиндры или прямоугольные параллелепипеды из натуральной или синтетической резины и металлических листов. Резина обеспечивает поперечную податливость и защищает стальные листы от коррозии, покрывая все внешние поверхности, а металлические листы обеспечивают вертикальную жёсткость. Выделяются несколько групп таких опорных частей, для определения характеристик которых проводятся динамические испытания.

Из *натуральной или синтетической резины, обладающей малым коэффициентом демпфирования* (всего 2–3 %). К их преимуществам относятся простота производства и простая расчётная схема, в которой реакция опорной части не зависит от значения нагрузки, характера её изменения во времени, а также от температуры окружающей среды и времени (материал не подвержен старению). Недостатком является необходимость установки дополнительных демпфирующих устройств.

С большим коэффициентом демпфирования, от 10 до 20 %, причем здесь реализуются деформации сдвига порядка 100 %. Для увеличения данного показателя в резину необходимо добавить тонкодисперсную сажу, канифоль и другие специально подобранные добавки.

Со свинцовым стержнем и малым коэффициентом демпфирования. Здесь стальные пластины обеспечивают вертикальную жёсткость и ограничивают поперечное выпучивание резины. Впрессованный в опорную часть свинцовый стержень обеспечивает рассеяние энергии вследствие текучести свинца. В начальный момент его напряжение текучести равно 10,5 МПа, а при циклическом нагружении оно уменьшается из-за повышения температуры. Свинец перекристаллизуется при нормальной температуре, поэтому усталостные явления не проявляются.

2 **Фрикционные опорные части.** Они представляют собой набор концентрических стальных пластин с тефлоновым покрытием, причём внутри опорной части в центре находится резиновый сердечник, а на некотором расстоянии от центра располагаются несколько резиновых стержней. Такие опорные части достаточно популярны при сейсмоизоляции мостовых конструкций, поскольку уменьшают силы, передающиеся при воздействии землетрясения на пролётное строение моста, вследствие его перемещения на опорных частях с малым коэффициентом трения. Работа сил трения и рассеяние её в виде тепла в окружающее пространство ведут к снижению кинетической энергии системы. Особенностью данных опорных частей является широкий диапазон частот, в котором они эффективно рассеивают энергию сейсмических воздействий и уменьшают амплитуды колебаний элементов конструкций.

3 **Фрикционные маятниковые опорные части.** Такие опорные части состоят из двух тел, соприкасающихся по сферическим поверхностям одинакового радиуса, что обеспечивает равномерную передачу нагрузок. На поверхности наносятся покрытия, уменьшающие силы трения. Для предотвращения загрязнений области контакта в большинстве случаев используются устройства с поверхностями, вогнутыми вниз. Коэффициент трения между скользящими поверхностями определяет величину рассеиваемой энергии, которая может составлять в зависимости от требований от 5 до 35 %. Если для увеличения периода колебаний при использовании эластомерных изоляторов требуется увеличивать их высоту, которая ограничивается условием устойчивости, то в случае фрикционных маятниковых опорных частей этого можно добиться изменением их радиусов. Другим преимуществом таких опорных частей является их высокая несущая способность – до 130000 кН, позволяющая применять их в большепролётных мостах [4].

4 **Демпфирующие устройства.** В настоящее время в России, как и во многих других технически развитых странах (в частности, и в США), отсутствуют нормативные документы, связанные с расчётами демпфирующих устройств для мостов. Поскольку такие демпфирующие устройства появились относительно недавно, то нахождение их рабочих характеристик осуществляется на основе испытаний.

Гидравлические демпферы представляют собой цилиндры, наполненные вязкой жидкостью, в которых перемещаются поршни, которые перемещают жидкость через малые отверстия или щели, в результате чего возникает сила сопротивления. В последние десятилетия гидравлические демпферы были использованы в проектах мостов, например Golden Gate Bridge в Сан-Франциско. Расчётные максимальные перемещения поршней в нем составляют 1250 мм, пиковое значение скорости – 1880 мм/с. При этом создаётся максимальная сила – 2890 кН. Гидравлические демпферы обладают следующими достоинствами: надёжность; их характеристики незначительно зависят от температуры; они не увеличивают жёсткость конструкции; допускают применение при больших значениях сил и перемещений; фазы демпфирующих сил не зависят от фаз, возникающих в конструкциях упругих сил; при расчётах возможно использование линейных моделей; изготавливаются многочисленными производителями. Недостатком гидравлических демпферов является высокая стоимость.

Вязкоупругие демпферы состоят их стальных листов и вязкоупругих прокладок, выполненных из резиноподобного полимера. Средние стальные пластины прикрепляются к конструкции. При смещении стальных пластин полимерные прокладки испытывают деформации сдвига. При этом происходит нагрев материала, и тепло, образовавшееся при нагревании, рассеивается в окружающую среду. Применение вязкоупругих демпферов началось более 40 лет назад. В первое время эти демпферы использовались для уменьшения ветровых нагрузок.

5 **Деформационные швы.** Такие швы позволяют ограничить возможные повреждения сооружений в сейсмически активных зонах. Они обеспечивают безопасность и допускают проезд как во время, так и

после землетрясения. Чаще всего используют деформационные швы двух видов: с системой Fuse Box (устройство с заданным местом разрушения) и с поворотными траверсами. Например, мост с системой Fuse Box был установлен в Перу (Chilina Bridge), а с поворотными траверсами – в Греции (Рион-Антирион).

Список литературы

- 1 Курбацкий, Е. Н. Сейсмостойкость мостов. Теория и приложения : учеб. пособие / Е. Н. Курбацкий, Е. А. Пестрякова, И. И. Зернов. – М. : АСВ, 2021. – 276 с.
- 2 Skiner, R. I. An introduction to seismic isolation / R. I. Skiner, W. H. Robinon, G. H. McVerry. – New Zealand : JohnWiley&Sons, 1993. – 353 p.
- 3 Kelly, J. M. Earthquake resistant design with rubber / J. M. Kelly. – London etc : Springer-Verl., 1997. – 243 p.
- 4 Nazzal S. Armoutti. Earthquake Engineering: Theory and Implementation US / N. S. Armoutti. – International Code Council, 2008. – P. 538.

УДК 621.181.27:662.9

ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ ЖАРОТРУБНОГО КОТЛА В SOLIDWORKS SIMULATIONS

А. З. СКОРОХОД, Д. С. ПУПАЧЕВ, В. Л. МОИСЕЕНКО
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Проектирование жаротрубных котлов осуществляют посредством выполнения двух расчетов, дополняющих друг друга: теплового и прочностного. Тепловой расчет производится для определения размеров топочного объема, радиационных и конвективных поверхностей нагрева, обеспечивающих номинальную производительность котла при заданных рабочих параметрах. Его целью является разработка проекта нового котла при заданных характеристиках топлива, производительности и параметрах получаемого теплоносителя (пара или горячей воды).

Расчет на прочность жаротрубных котлов помогает обеспечить безопасную и надежную эксплуатацию котла, учитывая различные эксплуатационные факторы.

К методам расчета на прочность относят:

– аналитический метод, основанный на уравнениях механики деформированного тела. Методика расчета описана в РД 10-249 [1]. Он позволяет получить аналитические выражения для определения напряжений и деформаций в стенках котла. Аналитический метод обычно используется в сочетании с экспериментальными данными для точной оценки нагрузок и прочности;

– Метод конечных элементов (МКЭ) является одним из наиболее распространенных методов расчета на прочность котлов. Он основан на разбиении объекта на конечные элементы, для которых решаются уравнения равновесия с учетом граничных условий.

– Методы прочностного расчета позволяют учесть сложную геометрию и нагрузки, а также провести анализ напряжений в различных точках котла, что помогает предотвратить повреждения и аварии, а также повысить эффективность и долговечность жаротрубных котлов. Внутреннее давление – наиболее критический параметр, который оказывает воздействие на стенки котла. Необходимо учитывать максимальное рабочее давление и его возможные перепады. Также важно учитывать наличие высокой температуры, которая может привести к деформациям и повреждениям материала.

Практический интерес представляет сравнение результатов, полученных двумя указанными методиками.

Одними из наиболее энергетически эффективных водонагревательных устройств котельной техники малой мощности являются многоходовые (2-, 3-ходовые) горизонтальные котлы жаротрубного типа.

Конструктивно такой котел (рисунок 1) состоит из цилиндрической жаровой трубы 1, конвективного пучка дымогарных труб 2, переднего 7 и заднего 5 днищ, поворотной камеры 3 с установленным в ней предохранительным взрывным клапаном 4 и патрубком дымовой трубы 6. Особенностью данной конструкции является интенсификация радиационной и конвекционной составляющих теплоотдачи от продуктов горения к нагреваемой поверхности жаровой трубы 1, в которой происходит сгорание сжигаемого топлива, а также дымогарных труб малого диаметра 2, по которым на большой скорости перемещаются дымовые газы [2, 3].

На рисунке 2 показана расчетная модель, состоящая из жаровой трубы и стенки передней. Согласно тепловому расчету, жаровая труба имеет размеры: длина $L_{ж}$ – 2900 мм, внутренний

диаметр $D_{вн} = 770$ мм, толщина стенки $\delta_{ст} = 12$ мм. Соответственно, у стенки передней внешней диаметр – 1306 мм, толщина – 12 мм, диаметр отверстия для приваривания труб – 46 мм, количество отверстий – 134. Для расчета принимается котел, функционирующий при номинальном давлении $P_g = 1,0$ МПа. Соответственно, на внешнюю поверхность жаровой трубы и стенки передней со стороны воды действует давление 1,0 МПа, которое перпендикулярно указанным поверхностям.

Для проведения термического исследования в SolidWorks Simulation заданы максимальная температура внутренней поверхности стенки жаровой трубы – $T_{ж.т.макс} = 264$ °С [4]; максимальная температура поверхности стенки передней со стороны дымовых газов – $T_{ст.п.макс} = 226$ °С [1]; температура пристеночного кипения воды при давлении в 1,0 МПа – $T_{H_2O} \sim 180$ °С. По результатам расчета получено распределение температур в конструкции, представленное на рисунке 3.

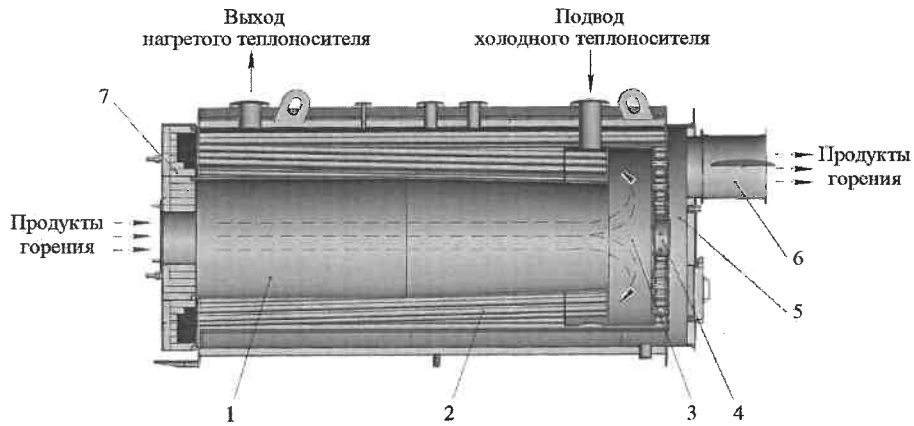


Рисунок 1 – Общий вид котла: 1 – жаровая труба; 2 – пучок дымогарных труб; 3 – поворотная камера; 4 – взрывной клапан; 5 – заднее днище; 6 – дымовая труба; 7 – переднее днище

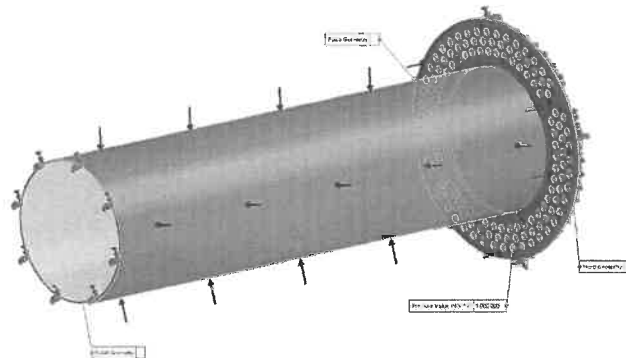


Рисунок 2 – Расчетная модель (стрелками показаны наложенные связи и нагрузки)

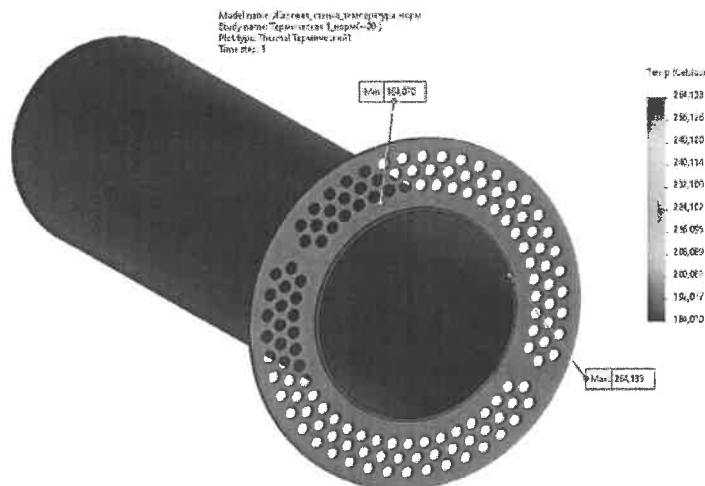


Рисунок 3 – Результаты термического анализа

На основании выполненного статического расчета на прочность с использованием МКЭ (рисунок 4) при коэффициенте запаса по пределу текучести равном 325 МПа видно, что эквивалентное напряжение по Мизесу меньше предела текучести материала примерно на 37 % (см. рисунок 4, а). Максимальная деформация (см. рисунок 4, б) при этом составляет 13,6 мм и находится в области, близко расположенной к стенке передней. Минимальный коэффициент запаса по пределу прочности (см. рисунок 4, в) равен 2,7, что характеризует конструкцию как прочную, даже в самом напряженном месте, рядом с первым конвективным пучком труб.

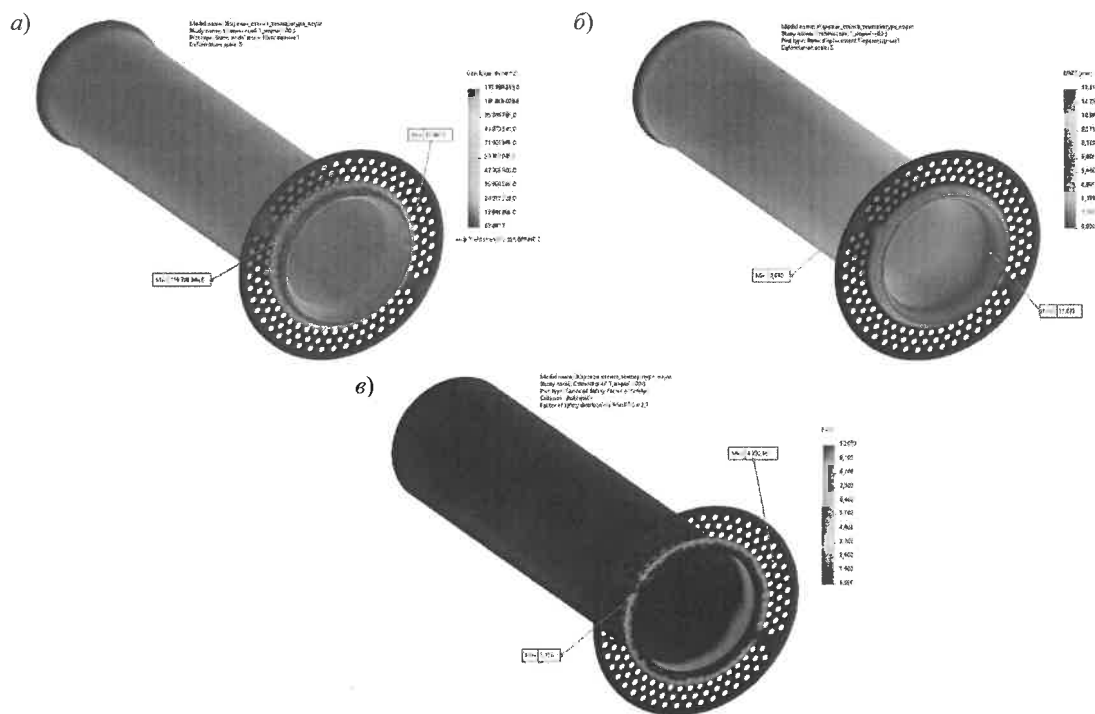


Рисунок 4 – Результаты статического расчета модели с пределом прочности 325 МПа

Полученные результаты могут быть использованы при совершенствовании конструкций жаротрубных котлов.

Список литературы

- 1 РД 10-249-98. Нормы расчета на прочность стационарных котлов и трубопроводов пара и горячей воды. – Введ. 2001-09-01. – Сер. 20, вып. 4. – М. : ЗАО НТЦ ПБ, 2010. – 344 с.
- 2 Соколов, Б. А. Устройство и эксплуатация паровых и догрейных котлов малой и средней мощности : учеб. пособие / Б. А. Соколов. – М. : Академия, 2008. – 64 с.
- 3 Соколов, Б. А. Котельные установки и их эксплуатация : учеб. для нач. проф. образования / Б. А. Соколов. – 2-е изд. – М. : Академия, 2007. – 432 с.
- 4 Тепловой расчет котельных агрегатов (Нормативный метод) / под ред. Н. В. Кузнецова [и др.]. – М. : Энергия, 1973. – 296 с.

УДК 528.4:69

ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ И СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛЯХ

Н. С. СЫРОВА, И. П. ДРАЛОВА

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Внедрение инновационных и эффективных технологий позволяет решать множество геодезических задач. На смену традиционным методам постепенно приходят новые перспективные методы, которые становятся незаменимыми. В настоящее время BIM (Building Information Modeling) – геодезия рассматривается как новое направление, включающие в себя различные измерения и обработку данных съемки. Комплекс проводимых работ позволяет оценить рельеф местности, решая

задачи геодезии, гидрографии и гидрометеорологии. Трехмерная геодезическая и геологическая модель очень востребована для дорожного, промышленного и гражданского строительства. Эффективное использование данных и управление ими позволяют сократить сроки реализации проекта, упростить работу многим организациям и их подразделениям. Геодезисты занимаются моделированием и практической реализацией, получением виртуальной 3D модели объекта, которая может быть использована в различных отраслях.

Полевые работы выполняются на местности различными высокотехнологичными приборами с целью получения данных для решения задач функционирования BIM. На местности измерения осуществляются с высокой точностью. При использовании электронных геодезических приборов, решаются различные задачи контроля в рамках BIM. Он происходит при сравнении цифровой модели местности (ЦММ) с облаком точек, получаемым после съемки реального объекта с использованием специальных дополнительных программных модулей, в котором отражаются все объекты, даже подземные коммуникации и сооружения, с указанием пояснительной информации. Эта модель имеет геометрическую и пространственную геодезическую привязку, взаимосвязана с существующими проектами. Допускается возможность внесения изменений и обновлений съемочной информации. ЦММ в настоящее время очень востребованы застройщиками и кадастровыми службами.

Применение BIM – геодезии существенно облегчает работу различных специалистов, что позволяет в виртуальном режиме собрать всю информацию и рассматривать геодезический проект в пространстве. Преимущества инновационных технологий: своевременное устранение ошибок, решение актуальных проблем, отказ от бумажных носителей, обмен информацией между специалистами и организациями, визуализация результатов полевых работ и полученных результатов проектирования, быстрота сбора информации. Наиболее востребованным является создание 3D моделей в геологии, архитектуре, земельном кадастре, сельском и лесном хозяйстве и т. п.

Геодезические работы с использованием лазерного сканера выполняются на порядок быстрее по сравнению с другим оборудованием, съемка ведется в режиме реального времени: данные сразу же обрабатываются с использованием специальных прикладных программ. Облачные платформы для работы с оцифрованными 3D данными для BIM моделирования и управления проектами из любой точки мира в режиме реального времени позволяют хранить, передавать и обрабатывать данные. Лазерное сканирование уже доказало свою эффективность при выполнении серьезных производственных и научных задач. Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) являются незаменимыми при аэрофотосъемке опасных объектов, таких как объекты железнодорожных станций, автомагистралей и т. п., так как обладают возможностью дистанционного управления процессом получения пространственных данных. Инженерно-геодезические изыскания прекрасно выполняются различными роботизированными тахеометрами совместно с BIM моделью. BIM модель рельефа и коммуникаций наиболее востребована у заказчиков. Привязка на местности происходит при помощи GPS технологий или специальных маркеров.

На сегодня тенденция развития геодезической отрасли сместилась к сокращению времени на полевые работы, а больший акцент сделан на камеральную обработку результатов измерений с использованием цифровых технологий. Симбиоз различного геодезического оборудования и новых технологий позволяет получать, обрабатывать, сохранять огромное количество информации.

Применение цифровых технологий является универсальным инструментом для различных отраслей, которые поддерживают жизненный цикл строительного сооружения на этапах проектирования, строительства, эксплуатации, ремонта и реконструкции.

УДК 721.73.051.8

ИССЛЕДОВАНИЕ СТЕНОВЫХ ОГРАЖДЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ПОВЫШЕННОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ И ВЛАЖНОСТИ

А. Г. ТАШКИНОВ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Завершающим этапом технологического процесса изготовления сборных бетонных и железобетонных изделий (ЖБИ) является тепловая обработка (ТО). Важность тепловой обработки обусловлена тем, что это самый длительный и энергоемкий процесс в производстве ЖБИ, на долю которого

приходится 70–80 % общих затрат времени и тепловой энергии. Ее разновидность – тепловлажностная обработка (ТВО), сохраняет влагу в материале и создает благоприятные условия для гидратации цемента и формирования структуры бетона. На заводах ЖБИ ТВО осуществляется в пропарочных камерах периодического и непрерывного действия. Наиболее распространенным типом тепловых установок периодического действия являются ямные пропарочные камеры. Недостатком ямных камер является большая тепловая емкость ограждающих конструкций – стенок, днища и крышки, которая в несколько раз превышает тепловую емкость пропариваемых изделий. Вследствие периодического характера работы камер тепло, аккумулируемое ограждениями, безвозвратно теряется при перерывах в работе для выгрузки пропаренных и загрузки свежесформованных изделий. Уменьшить тепловую инерцию ограждений можно размещением на них дополнительного теплоизоляционного слоя со стороны внутреннего объема камеры. При этом также снижаются теплотери в окружающую среду из-за увеличения термического сопротивления ограждений.

Наиболее простым решением по повышению эффективности ямных камер является замена в ограждающих конструкциях тяжелого бетона на легкий с пористыми заполнителями (керамзитобетон). Однако подобные камеры имеют коэффициент полезного использования тепла (отношение полезно используемого тепла к его суммарному расходу) около 50 % вследствие невысоких теплотехнических характеристик керамзитобетона. Удельный расход пара на ТВО бетонных изделий в камерах с такими ограждениями из керамзитобетона составляет 200–250 кг/м³ (460–570 МДж/м³).

Использование для утепления ограждений камер более эффективных теплоизоляционных материалов: минваты, блочного пеностекла, термостойких (до 100 °С) пенопластов требует их надежной защиты как от увлажнения паровоздушной средой и конденсатом, так и от возможных ударов стальных форм при загрузке и выгрузке изделий. Такие условия может обеспечить 3-слойное стеновое ограждение из защитного железобетонного слоя, пароизоляции, утеплителя и наружного несущего слоя из легкого бетона.

Ранее полученные экспериментальные данные [1] показывают, что достаточной прочностью для восприятия возможных при эксплуатации ударных воздействий от стальных форм и температурно-влажностных напряжений обладает внутренний (со стороны пропарочной камеры) защитный слой из армированного тяжелого бетона класса не ниже В20 толщиной 50 мм. Нагрузку от веса крышки и самой стенки воспринимает наружный слой ограждения, который рекомендуется выполнять толщиной 100 мм из армированного керамзитобетона класса не ниже В10.

Методом конечных разностей для нестационарных условий теплопередачи выполнялся теплотехнический расчет ограждений, затем составлялось уравнение теплового баланса ямной камеры, включающее теплоту для нагрева изделий и форм, ограждений ямной камеры, теплотери в окружающую среду через ограждения, теплоту на испарение влаги затворения и на нагрев среды в камере. В приходной части теплового баланса учитывалась теплота, выделяющаяся в процессе экзотермических реакций гидратации цемента. Расчетное значение коэффициента полезного использования тепла составило 70–75 %. При этом удельный расход пара в камере с 3-слойными ограждениями составляет 135–150 кг/м³ (310–350 МДж/м³).

Результаты натурных испытаний экспериментальной пропарочной камеры с 3-слойными ограждениями на полигоне завода КПД Гомельского ДСК подтверждают данные расчетов (таблица 1).

Таблица 1 – Расход теплоносителя (пара) на ТВО ЖБИ в ямной камере с 3-слойными ограждениями

Коэффициент заполнения камеры	Металоемкость форм, т/м ³	Расход пара, кг, в периоды ТВО			Удельный расход пара на ТВО изделий, кг/м ³
		Подогрев	Изотермическая выдержка	Всего	
0	0	371	225	596	–
0,05	5,5	671	515	1186	297
0,056	5,2	943	0	943	210
0,103	1,18	660	906	1566	189
0,103	1,18	606	548	1154	139
0,103	1,18	604	556	1160	140
0,133	2,25	1081	546	1627	152
0,133	2,12	946	766	1712	162
0,236	1,26	1371	494	1865	99

Влияние вида пароизоляции, ее расположения и способа соединения в ограждении на влажность утеплителя исследовалось на бетонных образцах – фрагментах ограждений размером 200×200×200 мм, утепленных блочным пеностеклом. Влажность утеплителя определялась как на стадии изготовле-

ния образцов (часть которых твердела при комнатной температуре, а часть пропаривалась при температуре 80 °С), так и после двух месяцев экспозиции в паровоздушной среде лабораторной пропарочной камеры.

Испытания показали (таблица 2), что увлажнение утеплителя водой затвердения при изготовлении стеновых ограждений незначительно и не требует дополнительной защиты пеностекла пленочными материалами при бетонировании. При эксплуатации в паровоздушной среде такой пароизоляционный слой между утеплителем и наружным керамзитобетонным слоем только способствует накоплению влаги в пеностекле. Односторонняя пароизоляция внутренней стороны камер из склеенных листов теплоустойчивых пленок обеспечивает надежную защиту утеплителя от увлажнения [2], гарантирующую сохранение стеновым ограждениям требуемых теплотехнических характеристик.

Таблица 2 – Влажность утеплителя в образцах с различной конструкцией пароизоляции

Расположение пароизоляции относительно утеплителя	Влажность, %, массы		
	после твердения		после двух месяцев пропаривания
	в камере нормального твердения	после тепловой обработки	
Без пароизоляции	0,5	–	15,8
Одностороннее (с внутренней стороны камеры)	2,4	0,3	0,2
Двустороннее (с внутренней и внешней сторон)	0,2	1,4	8,3

Список литературы

- 1 **Ташкинов, А. Г.** Исследования стеновых ограждений пропарочных камер для ускоренного твердения бетона / А. Г. Ташкинов, В. А. Радченко // Актуальные проблемы развития транспортных систем и строительного комплекса : материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Гомель : БелГУТ, 2001. – С. 411–412.
- 2 **Ташкинов, А. Г.** Оптимизация расходов тепловой энергии при производстве сборных бетонных и железобетонных изделий / А. Г. Ташкинов // Проблемы безопасности на транспорте : материалы XII Междунар. науч.-практ. конф. В 2 ч. Ч. 2 – Гомель : БелГУТ, 2022. – С. 64–65.

УКД 712 (2)

КОМПЛЕКСНОЕ ФОРМИРОВАНИЕ АРХИТЕКТУРНО-ЛАНДШАФТНОЙ СРЕДЫ ЗОНЫ ОТДЫХА ОЗЕРА ВОЛОТОВСКОЕ в г. ГОМЕЛЕ

Т. С. ТИТКОВА, В. Н. АНАНИЧ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Теория и практика архитектурно-ландшафтной организации городских зон отдыха в Республике Беларусь постоянно совершенствуются в соответствии с общемировыми тенденциями развития ландшафтной архитектуры, появлением новейших строительных материалов, а также потребностями горожан. Необходимо отметить, что городские открытые пространства, такие как зоны отдыха, представляют собой объекты архитектурно-ландшафтного проектирования и, соответственно, тесно связаны с вопросами охраны природы и окружающей среды, что, в свою очередь, влечет за собой необходимость учитывать множество факторов при проектировании и детальной разработке такого вида пространств.

Зоны отдыха должны проектироваться с учетом долговременной перспективы архитектурно-ландшафтного развития их системы, а также с учетом дальнейшей рекреационной нагрузки на ландшафтную часть зоны. Однако архитектурно-ландшафтный потенциал, планировочная структура, размеры зон отдыха очень разнообразны и с трудом поддаются строгому нормированию или типизации.

Цель работы – на основе существующих принципов и методов ландшафтно-градостроительного проектирования выявить средства архитектурно-ландшафтной организации территории зоны отдыха озера Волотовское в г. Гомеле для формирования наиболее благоприятных условий отдыха и активного времяпрепровождения.

Зона отдыха озера Волотовское располагается в Центральном районе г. Гомеля между каскадом малых озер и Бурым болотом в непосредственной близости к жилым районам. Ее общая территория составляет 52,68 га [2]. Проведенное ранее исследование рекреационного потенциала зоны отдыха

выявило, что, несмотря на наличие определенных недостатков (неэффективное использование ландшафтного дизайна, ограниченное количество предлагаемых услуг, недостаток уникальности и индивидуального подхода к природным элементам, отсутствие эмоциональной составляющей в композиции парковой зоны и др.), эта территория обладает значительными возможностями для дальнейшего развития [1].

В основу комплексного формирования архитектурно-ландшафтной среды зоны отдыха предлагается положить принципы:

- экологичности (учет ландшафтной первоосновы объекта, допустимых нагрузок на ландшафты, местных особенностей природы и климата, поддержание баланса природных и антропогенных компонентов ландшафта);

- социальной ориентированности (создание среды, привлекающей различные группы населения с учетом их антропометрических, санитарно-гигиенических, эмоционально-психологических требований);

- функционального разнообразия (внедрение широкого спектра функций);

- эстетической привлекательности (создание художественно и эмоционально выразительной среды);

- сезонной адаптивности (учет всесезонного использования территории).

Для выявления средств архитектурно-ландшафтной организации исследуемой зоны предлагается использовать метод функционального зонирования, основанный на вышеупомянутых принципах. Суть этого метода заключается в учете особенностей проходящих функциональных процессов и соответствии средств архитектурно-ландшафтной организации назначению проектируемых территорий.

В настоящее время на территории можно выделить пять функциональных зон: зеленую, детскую, спортивную, общественную и пляжную. 80,7 % от всей территории занимает зеленая зона, 14,3 % – общественная, 2,6 % – спортивная, 2 % – пляжная и 0,4 % – детская. Проведенный анализ показал, что данная территория функционально и эстетически не благоустроена должным образом. На большей части территории прослеживается отсутствие удобной дорожно-тропиночной сети, необходимого оборудования как для физически ослабленных лиц, так и для практически здоровых, четкой архитектурно-ландшафтной организации пространства.

Концепция формирования комфортной, экологичной и эстетически совершенной окружающей предметно-пространственной среды предполагает изменение восприятия неблагоустроенных зон вокруг озера, что требует в первую очередь реорганизации схемы функционального зонирования и введения следующих элементов: зоны рыбалки, тихого отдыха, арт-зоны (на основе данных социологического опроса, проведенного среди жителей микрорайона).

Рассмотрим основные средства архитектурно-ландшафтной организации, применяемые для изменения пространственных характеристик рекреационной зоны:

- моделирование рельефа;

- преобразование форм растительности;

- водное благоустройство;

- малые архитектурные формы и элементы благоустройства.

Рельеф во многом определяет образную характеристику ландшафта, влияет на микроклиматические условия, подачу воды к растительности. С преобразованием рельефа можно создавать индивидуальные композиционные решения проектируемого пространства. Например, моделированный рельеф подойдет для зеленой и арт-зоны, игровой – для детской и спортивной, спуски к воде могут быть устроены как в пляжной, так и в зоне тихого отдыха.

Растительность обладает не только оздоровительными качествами, но и декоративными возможностями. Для сохранения привлекательного облика исследуемой территории, в зависимости от сезонной динамики изменения цветовой гаммы, следует дополнить разнообразие зеленых насаждений, подчинив их определенному типу планировки, например, комбинированной, сочетающей свободные и регулярные приемы построения композиции, особое внимание уделяя архитектонике насаждений.

Водное благоустройство увеличивает возможности для активного отдыха, рыбалки, катания на лодках и приятного времяпрепровождения около воды, что влечет за собой большее количество посетителей. Например, в зоне рыбалки следует предусмотреть бетонные или деревянные пирсы,

платформы или насыпные места, просторные для размещения оборудования, позволяющие удобно и безопасно ловить рыбу. В зоне тихого отдыха уместным будет устройство каскадов, фонтанов, в детской зоне – установка развлекательных разбрызгивающих устройств.

Малые архитектурные формы (МАФ) и элементы благоустройства обогащают визуальное восприятие пространства, а также служат элементами для создания благоприятных и комфортных условий.

На территории зоны отдыха необходимо развить дорожно-тропиночную сеть, а также предусмотреть сочетание различных видов мощения дорожек, например тротуарной плитки и натурального камня. В качестве МАФ могут быть использованы скамейки, беседки, скульптуры и т. п., которые будут не только создавать эстетически привлекательное пространство, но и служить основными ориентирами в разных функциональных зонах. Использование природных материалов в элементах благоустройства создаст гармоничные сочетания с окружающей природой и обеспечит единое восприятие всей местности. Наличие светового оборудования и подсветки, в том числе динамической, в разнообразных оттенках и цветах поможет подчеркнуть архитектурно-ландшафтные детали и особенности территории [3].

Комплексное формирование архитектурно-ландшафтной среды зоны отдыха озера Волотовское, основанное на методе функционального зонирования, представляет собой важный этап в создании комфортной, многофункциональной, эстетически привлекательной и безопасной городской рекреационной территории.

Список литературы

1 **Ананич, В. Н.** Анализ рекреационного потенциала зоны отдыха озера Волотовское в г. Гомеле / В. Н. Ананич // Архитектура и строительство: традиции и инновации : материалы II Междунар. науч.-техн. конф. студ., магистрантов и аспирантов, Гомель, 21 декабря 2023 г. / под общ. ред. А. А. Ерофеева. – Гомель : БелГУТ, 2024. – С. 5–9.

2 Схема озелененных территорий [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://gomel.gov.by/ru/content/gomel/zastrojka-goroda/skhema-ozelenennykh-territoriy/>. – Дата доступа : 31.08.2024.

3 **Потаев, Г. А.** Формирование архитектурно-ландшафтных композиций : учеб.-метод. пособие по дисциплине «Ландшафтная архитектура» для студентов специальности 1-69 01 01 «Архитектура» / Г. А. Потаев, Е. Е. Нитиевская. – Минск : БНТУ, 2010. – 42 с.

УДК 517.958

НЕЛИНЕЙНЫЕ ГИДРОУПРУГИЕ КОЛЕБАНИЯ ТРЕХСЛОЙНОЙ ПЛАСТИНЫ

А. В. ЧЕРНЕНКО

*Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю. А.,
Российская Федерация*

В целях создания и исследования надежности, безопасности зданий и сооружений требуется разработка методов неразрушающего контроля упругих элементов различных многослойных конструкций по параметрам их нелинейных колебаний. Такое встречается, когда приходится иметь дело с комбинированными сооружениями, где присутствуют системы гидроохлаждения, гидропривода, гидродинамические опоры, гидравлические демпферы [1]. В работе [2] авторами предложены подходы к моделированию гидроупругих колебаний трехслойных пластин, взаимодействующих с вязкой жидкостью. В работе [3] проведено численное моделирование удара о воду трехслойных прямоугольной и круглой пластин. Исследованию гидроупругого взаимодействия консольнозакрепленных композитных балок с вязким потоком посвящена работа [4]. В работе [5] предложены подходы к математическому моделированию гидроупругих колебаний трехслойных балок и пластин, взаимодействующих с вязкой жидкостью. Моделирование колебаний трехслойных пластин с одновременным учетом упругого основания, инерции и вязкости жидкости, применительно к узким каналам исследовано в [6]. Следует отметить, что в указанных выше работах не рассматривался совместный учет нелинейных свойств упругого основания, а также вязкости жидкости в канале.

Рассматривается плоский канал с абсолютно жесткой и трехслойной стенками, размеры которых в плане $b \times 2\ell$ и $2\ell \ll b$ (рисунок 1). Канал полностью заполнен вязкой несжимаемой жидкостью, которая пульсирует в нем за счет заданного давления на его торцах $p^*(\omega t)$. Верхняя стенка

неподвижная, а нижняя стенка имеет упругое основание, которое рассматриваем как модель обобщения основания Винклера, в рамках которой учитывается не только линейная реакция, пропорциональная прогибу пластины, но и учитывается нелинейная реакция, пропорциональная кубу ее прогиба. Введем декартовую систему координат $Oxyz$, центр которой в состоянии покоя совпадает с центром легкого несжимаемого заполнителя пластины, предполагается $h_0 \ll \ell$.

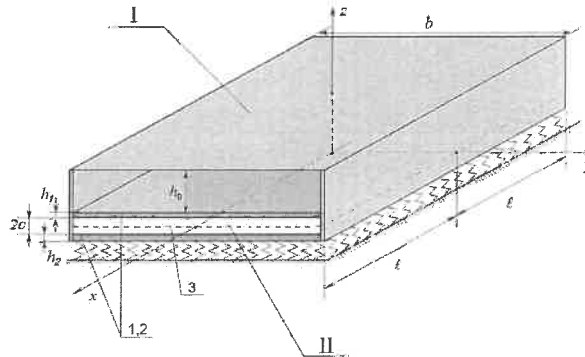


Рисунок 1 – Узкий щелевой канал в рамках плоской задачи, дно которого находится на нелинейном упругом основании: I – неподвижная стенка; II – трехслойная стенка; h_0 – толщина вязкого слоя жидкости; 1, 2, 3 – слои трехслойной стенки; $h_2, h_1, 2c$ – толщина соответствующих слоев

Движение вязкой жидкости в узком канале – ползущее, и уравнения ее движения имеют вид [7]

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} = \nu \left(\frac{\partial^2 V_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V_x}{\partial z^2} \right), \quad \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} = \nu \left(\frac{\partial^2 V_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V_z}{\partial z^2} \right), \quad \frac{\partial V_x}{\partial x} + \frac{\partial V_z}{\partial z} = 0; \quad (1)$$

граничные условия для уравнений динамики жидкости (1) записываются как

$$V_x = \frac{\partial u}{\partial t}, \quad V_z = \frac{\partial w}{\partial t} \quad \text{при } z = w + c + h_1, \quad V_x = 0, \quad V_z = 0 \quad \text{при } z = \delta, \quad (2)$$

$$p = p^*(\omega t) \quad \text{при } x = -\ell, \quad p = p^*(\omega t) \quad \text{при } x = \ell, \quad (3)$$

где p – давление жидкости; V_z, V_x – проекции вектора скорости жидкости на оси Oz и Ox ; ν – коэффициент кинематической вязкости жидкости; ρ – плотность жидкости; w – упругое перемещение трехслойной пластины по нормали; $p^*(\omega t)$ – гармонически пульсирующая составляющая давления по времени; ω – частота колебаний; t – время.

Уравнения движения нижней стенки запишем как [8, 9]

$$\begin{aligned} a_1 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + a_6 \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} - a_7 \frac{\partial^3 w}{\partial x^3} &= -q_{zx}, \quad a_6 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + a_2 \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} - a_3 \frac{\partial^3 w}{\partial x^3} = 0; \\ a_7 \frac{\partial^3 u}{\partial x^3} + a_3 \frac{\partial^3 \varphi}{\partial x^3} - a_4 \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} - m_0 \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} &= -q_{zz} + q_f, \end{aligned} \quad (4)$$

где q_{zz} – нормальное напряжение; q_{zx} – касательное напряжение; $m_0 = \rho_1 v_1 + \rho_2 v_2 + 2\rho_3 c$; ρ_k – плотность материала k -го слоя; φ – угол поворота нормали несжимаемого заполнителя; u – продольное перемещение срединной плоскости вдоль оси Ox ; a_1, \dots, a_7 – параметры согласно [8], $q_f = b^* w + \beta w^3$ – напряжение, действующее на пластину со стороны нелинейного основания [9], где b^* – коэффициент жесткости при линейной составляющей напряжения, действующего со стороны основания, β – коэффициент жесткости при кубической составляющей напряжения, действующего со стороны основания.

Получена связанная нелинейная динамическая задача гидроупругости (1)–(4), исследовалась методом возмущений, рассматривая асимптотические разложения по выделенным малым параметрам, что позволило линеаризовать задачу гидродинамики и решить ее. В результате получены выражения напряжений жидкости, действующих на трехслойную пластину – дно канала и показано, что касательные напряжения q_{zx} во много раз меньше, чем нормальные q_{zz} . С учетом данного факта получили интегро-дифференциальное уравнение изгибных колебаний трехслойной пластины – дна канала. Исследование данного уравнения возможно методом гармонического баланса [9], оно позволяет найти гидроупругий отклик трехслойной стенки канала.

Список литературы

- 1 Прецизионные газовые подшипники / Ю. Я. Болдырев [и др.]. – СПб. : ГНЦ РФ ЦНИИ «Электроприбор», 2007. – 504 с.
- 2 **Kondratov, D. V.** Hydroelastic oscillations of three-layered channel wall resting on elastic foundation / D. V. Kondratov, V. S. Popov, A. A. Popova // Lecture Notes in Mechanical Engineering. – 2020. – P. 903–911. – DOI : 10.1007/978-3-030-22041-9_96.
- 3 **Крупенин, А. М.** Удар трехслойной пластины о свободную поверхность жидкости / А. М. Крупенин, М. И. Мартиросов, Л. Н. Рабинский // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2015. – № 5–2. – С. 65–73.
- 4 Viscous fluid-structure interaction response of composite hydrofoils / Liao, Y. [et al.] // Composite Structures. – 2019. – Vol. 212. – P. 571–585. – DOI : 10.1016/j.compstruct.2019.01.043.
- 5 **Mogilevich, L. I.** Hydroelastic response of a circular sandwich plate interacting with a liquid layer / L. I. Mogilevich, V. S. Popov, A. A. Popova // Journal of Physics : Conference Series. – 2020. – Vol. 1546. – P. 012–137.
- 6 **Черненко, А. В.** Математическое моделирование гидроупругих колебаний однослойных и трехслойных пластин, образующих стенки каналов с пульсирующей вязкой жидкостью, установленных на упругом основании: специальность 05.13.18 Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ : дис.... канд. физ.-мат. наук / А. В. Черненко. – Саратов, 2022. – 20 с.
- 7 **Попов, В. С.** Моделирование гидроупругих колебаний стенки канала, имеющей нелинейно-упругую опору / В. С. Попов, А. А. Попова // Компьютерные исследования и моделирование. – 2022. – Т. 14, № 1. – С. 79–92.
- 8 **Горшков, А. Г.** Механика слоистых вязкоупругопластических элементов конструкций / А. Г. Горшков, Э. И. Старовойтов, А. В. Яровая. – М. : Физматлит, 2005. – 576 с.
- 9 **Попов, В. С.** Динамика взаимодействия пульсирующего слоя вязкой сжимаемой жидкости с пластиной на нелинейно-упругом основании / В. С. Попов, А. А. Попова // Вестник Московского государственного технического университета им. Н. Э. Баумана. Сер. Естественные науки. – 2024. – № 3 (114). – С. 45–69.

УДК 691.32.05

ПРИМЕНЕНИЕ НАНОДОБАВОК В БЕТОН КАК СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

В. В. ШЕЛЮТО

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

В современном строительстве надежность и безопасность зданий и сооружений являются приоритетными задачами. Так, сегодня одним из наиболее перспективных направлений в области современных строительных материалов является использование нанодобавок в бетонных смесях. Нанотехнологии предлагают уникальные возможности для улучшения механических и физико-химических свойств бетона. Так, нанодобавки способны существенно повысить прочность, долговечность и устойчивость бетона к внешним воздействиям, что делает его более надежным и долговечным.

Структура традиционного бетона

Структура классического бетона представляет собой сложную многокомпонентную систему, где взаимодействие различных элементов определяет его физико-механические свойства. Прежде всего следует отметить, что заполнители как мелкие, так и крупные играют ключевую роль в формировании прочности и долговечности бетона. Мелкие заполнители, такие как песок, способствуют уменьшению пустотности и повышению плотности, тогда как крупные заполнители, например гравий или щебень, могут влиять на прочность на сжатие за счет оптимизации распределения нагрузок.

Соотношение воды и цемента является одним из наиболее критичных параметров в технологии бетона. Снижение содержания воды при сохранении необходимой подвижности смеси ведет к увеличению прочности бетона. Это связано с тем, что избыточная вода может создавать капиллярные поры, которые негативно сказываются на механических характеристиках.

Также важным является процесс гидратации цемента, который зависит от условий окружающей среды, таких как температура и влажность. Оптимальные условия для гидратации способствуют формированию прочной микроструктуры, что, в свою очередь, влияет на конечные характеристики бетона.

Нанодобавки: определение и классификация

Нанодобавки – это материалы, состоящие из структурных элементов (наночастиц), которые могут быть представлены в виде кластера диаметром 1–100 нм, включающего в себя от нескольких

десятков до нескольких тысяч атомов. Эти добавки могут значительно влиять на механические, физические и химические характеристики конечного продукта.

Классификация нанодобавок.

1 По происхождению: наноматериалы природного происхождения; синтетические наноматериалы.

2 По структуре: наночастицы (сферические или фибриллярные частицы); нанопленки; нанокompозиты (системы, состоящие из матрицы и добавленных наночастиц).

3 По функциональности: улучшение прочности (углеродные нанотрубки); устойчивость к коррозии (наночастицы оксидов металлов); улучшение теплоизоляции (аэрогели).

4 По типу взаимодействия с матрицей: распределенные нанодобавки; слоистые нанодобавки.

Краткий обзор разработки технологии нанобетона

В 1993 году в России был разработан высокотехнологичный материал – нанобетон, первооткрывателем которого стал ученый А. Пономарев из Санкт-Петербурга. С тех пор нанобетон зарекомендовал себя как эффективный строительный материал, завоевав популярность на рынке стран СНГ и за рубежом, а также прочно закрепился в современных строительных технологиях.

Технология и состав нанобетона

Нанобетон представляет собой модификацию традиционного бетона, в состав которого входят пластифицирующие вещества, способствующие улучшению его структуры. Эти добавки, известные как наноинициаторы, представляют собой крошечные трубки, состоящие из углеродных полимеров, которые взаимодействуют с молекулами бетона. Это взаимодействие приводит к снижению содержания воды в смеси и увеличению подвижности цементного раствора.

Состав нанобетона включает в себя минеральное вяжущее, заполнитель и воду, что позволяет добиться высокой прочности и долговечности материала.

Физические и механические свойства

Нанобетон демонстрирует выдающиеся физические и механические свойства. Он способен выдерживать температуры до 800 °С, а прочность материала может увеличиваться до 200 %. Устойчивость к холоду достигает 70 %, что делает его идеальным для использования в различных климатических условиях [1]. Кроме того, кислород, распределяющийся в наночастицах бетона, обладает бактерицидными свойствами, что делает материал безопасным для здоровья. Измененная структура нанобетона позволяет снизить вес изделий в 5 раз и минимизировать вероятность появления трещин. Высокая степень прочности также позволяет сократить объемы укладки на 35 %, что является значительным преимуществом для строительной отрасли.

Область применения нанобетона

В результате введения наночастиц в рядовые строительные материалы последние приобретают особые свойства, требуемые в строительстве высотных, большепролетных и специальных сооружений [2–5]. Так, наночастицы SiO₂ (нанокремнезем) можно использовать в составе высококачественного и самоуплотняющегося бетона для улучшения удобоукладываемости и прочности [2]. Размеры и удельная поверхность частиц, используемых в бетонных технологиях, отражают общую тенденцию применения все более тонкодисперсных материалов [2]. При помощи мельчайших частиц, таких как частицы микро-, а затем и нанокремнезема, за несколько десятилетий в технологии бетона были сделаны существенные достижения. Нановолокна являются еще одним перспективным компонентом для применения в бетоне.

Повышение надежности зданий и сооружений при внедрении нанодобавок

Внедрение нанодобавок в строительные материалы значительно повышает надежность зданий и сооружений. При введении в традиционный бетон углеродных нанотрубок можно достичь значительного повышения прочности бетона. Кроме того, нанотрубки позволяют улучшить распределение нагрузки и повысить устойчивость бетонного изделия к механическим повреждениям. Также при использовании наночастиц оксидов металлов отмечается значительное повышение прочностных характеристик. Благодаря нанодобавкам можно достичь улучшенной коррозионной стойкости, что особенно важно для конструкций, подверженных воздействию влаги и агрессивных сред. Наноматериалы могут улучшать устойчивость к температурным колебаниям, что делает конструкции более надежными в условиях резких изменений температуры. Благодаря использованию нанодобавок, за счет увеличения прочности можно достичь облегчения собственного веса конструкции и, как следствие, снизить материалоемкость изделий. Также следует отметить и повышение долговечности изделий, так как нанодобавки могут замедлять процессы старения и разрушения материалов, что ведет к увеличению срока службы зданий и сооружений. Например, добавление наноразмерных силикатов может улучшить водоотталкивающие свойства бетона.

Таким образом, нанобетон является значительным шагом вперед в сфере строительных материалов. Его уникальные характеристики и преимущества открывают новые возможности для использования в строительстве, обеспечивая высокую прочность и долговечность конструкций. Перспективы дальнейших исследований и разработок в этой области могут привести к еще более значительным достижениям в высоких технологиях строительства в Республике Беларусь.

Список литературы

- 1 Использование нанобетона в строительстве [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://xn----9sbmj2afc2a7h.xn-p1ai/about/articles/ispolzovanie-nanobetona-v-stroitelstve/>. – Дата доступа : 12.09.2024.
- 2 Современные достижения нанотехнологии в области цемента и бетона [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://dzen.ru/a/XXZznLwlFActzW0P/>. – Дата доступа : 12.09.2024.
- 3 Sobolev, K. How Nanotechnology Can Change the Concrete World. Part 1 / K. Sobolev, V. Ferrada-Gutierrez // American Ceramic Society Bulletin. – 2005. – Vol. 84, no. 10. – P. 14–18.
- 4 Sanchez F. Nanotechnology in concrete – A review / F. Sanchez, K. Sobolev // Construction and Building Materials. – 2010. – Vol. 24. – P. 2060–2071.
- 5 Тртик, П. Нанотехнологии и бетон: что мы можем использовать из будущих технологий? / П. Тртик, П.Х.М. Бартош // Труды 2-го семинара Anna Maria: Цемент и бетон: тенденции и вызовы. – 2001. – С. 109–120.

УДК 625.711:539.37

ВЛИЯНИЕ СНИЖЕНИЯ ЖЕСТКОСТИ АСФАЛЬТОБЕТОНА ПРИ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ НА ДЕФОРМИРОВАНИЕ ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ

А. О. ШИМАНОВСКИЙ, Д. А. КУПРЕЕВА

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

А. М. КАРАБАЕВ

Ташкентский государственный транспортный университет, Республика Узбекистан

Автомобильные дороги при проезде по ним транспортных средств находятся под действием циклических нагрузок. Сезонные колебания температуры воздуха в течение года, а также ее скачки, обусловленные резкими изменениями погодных условий в течение суток, приводят к изменению напряженно-деформированного состояния слоев дорожного покрытия [1]. В связи с этим возникает необходимость оценки влияния неравномерности распределения температур в конструкции дороги на напряжения и деформации в ней.

Современные методы анализа прочности дорожных одежд принимают во внимание показатели, зависящие от свойств материалов каждого слоя одежды и грунта земляного полотна, а также от размещения и условий их работы в конструкции. При этом используемые в слоях материалы обладают существенно отличающимися друг от друга физическими свойствами, которые зависят от температуры. Выполненный анализ исследований нагруженности дорожных покрытий показал, что в настоящее время получен большой массив информации по экспериментальному определению температур, напряжений, деформаций. Также достаточно подробно разработаны методы расчета температур в материале дороги. Однако недостаточно изучено влияние температуры на напряженно-деформированное состояние дорожной одежды, на которую действуют нагрузки от движущегося транспорта. Аналитическое решение задачи о нахождении параметров деформирования слоев дорожных одежд позволяет осуществить лишь их грубую оценку [2], поэтому здесь требуется применение численных методов механики деформируемого твердого тела. В настоящее время лидирующее положение среди них занимает метод конечных элементов, который реализован в широко известном научном программном обеспечении.

Целью данной работы является определение влияния температуры поверхности дороги на прогиб и напряжения в слоях дорожной одежды с применением метода конечных элементов. Для реализации последнего был выбран программный комплекс ANSYS. При моделировании использованы подходы, разработанные ранее в работах [3, 4].

Рассматривается участок дороги, дорожная одежда которой включает пять слоев. В качестве расчетной области рассматривается структурный элемент, который имеет вид параллелепипеда, включающего несколько слоев дорожного покрытия с различными физико-механическими характеристиками [5]. Его конечно-элементная модель создана в программном комплексе ANSYS. С учетом необходимости проведения связанного статического и температурного анализа использован 20-

узловой шестигранный элемент SOLID226, который дает возможность учета особенностей мультифизического анализа. К площадке поверхности дорожного покрытия радиусом 17 см прикладывалось равномерно распределенное давление 600 кПа. Граничные условия включали запрет перемещений по вертикали для нижней поверхности нижнего слоя и условие симметрии для всех боковых поверхностей параллелепипеда. Температура основания принята равной 10 °С. Температуры поверхности T_n принимались из диапазона от 10 до +70 °С.

В ходе расчетов, при которых осуществлялось решение связанных уравнений термоупругого деформирования, получены значения температур, напряжений и деформаций в слоях дорожного покрытия. Схемы распределения эквивалентных по Мизесу напряжений (рисунок 1) показывают, что при температурах поверхности $T_n \leq 50$ °С наибольшие напряжения возникают в верхнем слое асфальтобетонного покрытия. При более высоких температурах модули упругости слоев асфальтобетона значительно уменьшаются и выравниваются. При этом оказывается, что наибольшей жесткостью обладает слой, имеющий самую низкую температуру. Именно поэтому самые высокие напряжения при $T_n = +70$ °С наблюдаются в третьем слое асфальтобетона. Уровень первых главных напряжений при повышении температур поверхности от +10 до +70 °С существенно не изменяется. Наибольшие касательные напряжения наблюдаются под границей площадки приложения нагрузки вблизи места соединения первого и второго слоев дорожного покрытия. Максимальные касательные напряжения при увеличении температуры поверхности от +10 до +70 °С уменьшаются с 313 до 244 кПа. Однако при этом модуль упругости снижается более чем в 10 раз. Соответственно, снижается и предел текучести материала. Поэтому существенно увеличивается вероятность появления пластических деформаций, а с ними – образования колеи на дорожном покрытии.

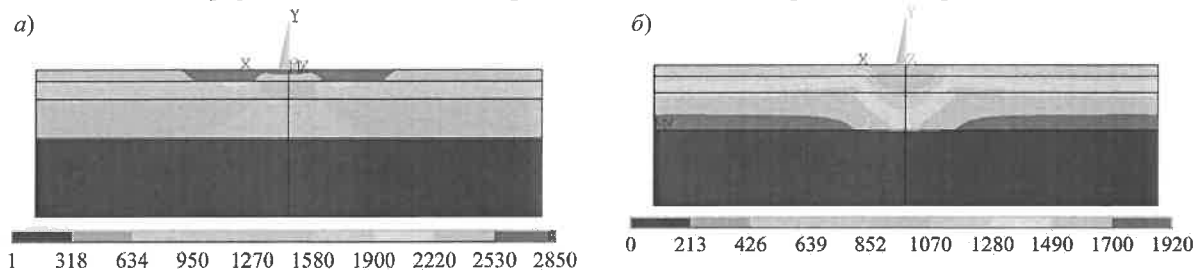


Рисунок 1 – Эквивалентные по Мизесу напряжения, кПа, при температурах поверхности:
а – $T_n = 10$ °С; б – $T_n = 70$ °С

Увеличение температуры поверхности, а вместе с ней и температур всех слоев, приводит к увеличению толщины дорожного покрытия вследствие температурного расширения. Наибольшие деформации наблюдаются под местом приложения нагрузки, причем зона с минимальными значениями перемещений по сравнению с перемещениями на краях модели, которая соответствует наибольшим деформациям, под действием приложенной нагрузки распространяется не только на асфальтобетонное покрытие, но и на четвертый слой фракционированного щебня. Такой результат согласуется с данными, приведенными в работе [6].

Таким образом, в результате решения связанных уравнений термоупругости установлено, что при температурах поверхности дороги, превышающих +50 °С, наибольшие напряжения возникают в третьем слое асфальтобетона. При повышении температуры поверхности от +10 до +70 °С максимальное напряжение сдвига уменьшается на 20 %, однако при этом модуль упругости снижается более чем в 10 раз. Соответственно, снижается прочность материала на разрыв, поэтому существенно возрастает вероятность появления пластических деформаций и образования колеи.

Полученные результаты могут быть использованы при совершенствовании конструкций автомобильных дорог.

Список литературы

- 1 **Леонович, И. И.** Анализ причин возникновения трещин в дорожных покрытиях и критерии их трещиностойкости / И. И. Леонович, И. С. Мельникова // Строительная наука и техника. – 2011. – № 4. – С. 37–41.
- 2 **Muho, E. V.** Review on dynamic analysis of road pavements under moving vehicles and plane strain conditions / E. V. Muho, N. D. Beskou // Journal of Road Engineering. – 2024. – Vol. 4, is. 1. – P. 54–68.
- 3 FEM Modelling of the Temperature Influence on the Stress-Strain State of the Pavement / A. Shimanovsky [et al.] // Communications – Scientific Letters of the University of Zilina. – 2023. – Vol. 25, is. 1. – P. D1–D9.
- 4 **Шимановский, А. О.** Моделирование деформирования слоистого дорожного покрытия с учетом изменения температуры / А. О. Шимановский, Д. А. Купреева // Проблемы физики, математики и техники. – 2023. – № 4 (57). – С. 81–86.

5 Цыганок, О. И. Деформирование дорожной одежды при разных температурах ее поверхности / О. И. Цыганок, И. Е. Кракова, А. О. Шимановский // Механика. Исследования и инновации. – Гомель : БелГУТ, 2022. – Вып. 15. – С. 227–234.

6 Research on the high temperature performance of asphalt pavement based on field cores with different rutting development levels / N. Li [et al.] // Materials and Structures. – 2021. – Vol. 54. – P. 1–12.

УДК 691.3:624.011

О ПРИМЕНЕНИИ БИОБЕТОНА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ КОНСТРУКЦИЙ

Е. А. ЮДЕНКОВА, Т. В. ЯШИНА

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Поиск новых более долговечных и надежных материалов, модернизация инновационными элементами существующих композитов с целью придания им свойств самовосстановления в процессе эксплуатации – актуальные направления исследования в строительстве.

Одним из вариантов продления срока службы бетонных конструкций является применение биодобавок. Микротрещины, образующиеся в бетоне при его эксплуатации, приводящие к снижению несущей способности конструкций, могут быть «нейтрализованы» с помощью эффекта самозалечивания (путем применения биодобавок).

В составе биодобавок используются бактерии класса *Bacillus*, которые чаще всего встречаются в почве, в пресных и соленых водах, также на оперении птиц. Биодобавка представляет собой микрокапсулы из биоразлагаемого пластика (одни капсулы с бактериями, другие – с источником их питания лактатом кальция). Во время взаимодействия бактерий с лактатом кальция (кальциевой солью молочной кислоты $2(C_3H_5O_3)Ca$) происходит реакция с образованием известняка, заполняющего и залечивающего трещины. Процесс твердения занимает около 7 дней. Результаты исследований показали, что микроорганизмы наиболее эффективно справляются с трещинами до 50 мкм [1, 2]. Также эти бактерии могут находиться в состоянии покоя до двух столетий [3]. Все это может значительно способствовать повышению долговечности и надежности ответственных несущих конструкций, эксплуатирующихся в неблагоприятной среде на объектах транспортной сферы. На рисунке 1 представлен процесс восстановления трещины.

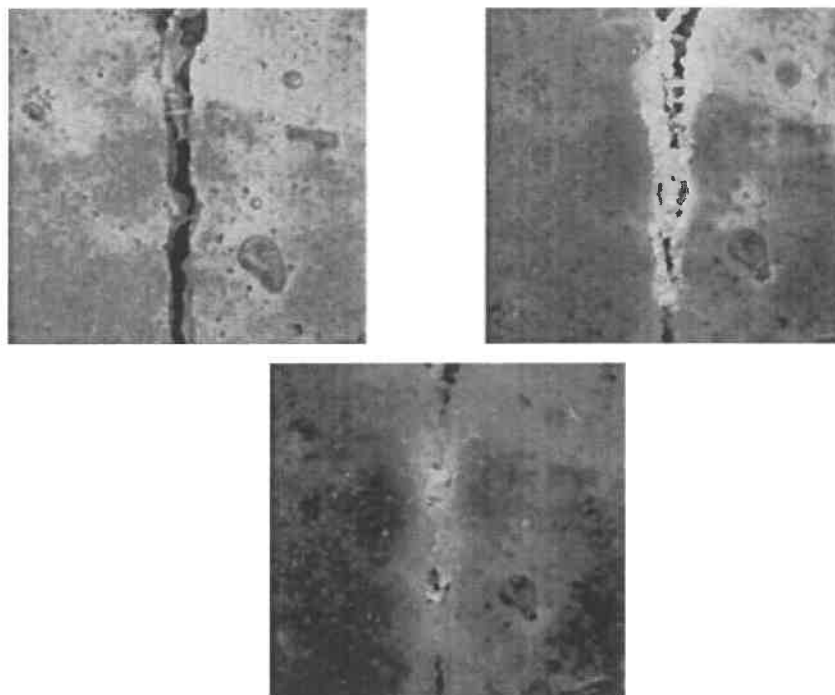


Рисунок 1 – Процесс восстановления трещины

Ученые внимательно изучили зависимость образования карбонатных соединений и пришли к выводу, что заполнение трещин продуктами жизнедеятельности бактерий происходит по всему объему образца бетона. Для трещин шириной раскрытия 0,05–0,3 мм коэффициент заполнения составил 70–100 %. Однако, несмотря на достаточно равномерное образование метаболитов по всему объему образца, полное заполнение в основном осуществлялось для трещин не более 0,3 мм. Подобная биогенная обработка бетонной смеси также помогла снизить водопроницаемость за счет производства бактериями слоя кальцита, заполняющего поры [8, с. 103].

В мировой практике еще мало применяется такой вид бетона в связи с большими затратами и сложной технологией производства. Для ответственных несущих конструкций, подвергающихся попеременному замораживанию – оттаиванию, конструкций транспортных мостовых сооружений перспектива применения есть. В почвах нашей страны множество бактерий (таких штаммов, как *B. amyloliquefaciens* 1, *B. amyloliquefaciens* 59, *B. mojavensis* 61, *B. subtilis* 21c, *B. subtilis* 4), которые пригодны к применению в качестве биодобавки [1, 5]. По данным исследователей [1], несмотря на увеличение стоимости биокомпозита, показаны, наряду с увеличением прочности на сжатие и растяжение, водонепроницаемости, увеличение в 2 раза срока службы и получение экономического эффекта. Исследования биобетона находятся в стадии разработки, и в будущем рассматривается применение в качестве добавки живых существ плесени [6], так как грибы плесени способны выживать даже после полного уничтожения колоний и способны найти питательные вещества в самых неблагоприятных условиях. Однако плесневые грибы являются одним из самых агрессивных биодеструкторов строительных материалов. На их долю приходится более 40 % всего биоразложения в строительной отрасли [7]. В будущем предстоит исследование по поиску плесневых грибов способных залечивать структуру бетона, а не усугублять его разрушение. Также предстоит исследование по оптимизации и удешевлению технологии производства биодобавок. Продление долговечности и повышение надежности бетонных конструкций в транспортном строительстве за счет скрытых возможностей биобетона по залечиванию микротрещин в процессе эксплуатации и повышение прочности и надежности за счет длительно действующих биодобавок являются перспективным направлением в дальнейших исследованиях на стыке биологической и строительной наук.

Список литературы

- 1 Жукова, Г. Г. Исследования применения самовосстанавливающегося бетона / Г. Г. Жукова, А. И. Сайфулина // *Construction and Geotechnics*. – Т. 11, № 4 (2020). – 58–68.
- 2 Голландский микробиолог разработал самовосстанавливающийся бетон: [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://geektimes.ru/post/250502/>. – Дата доступа : 19.08.2024.
- 3 Корнюхин, А. В. Применение в строительстве самозалечивающегося эластичного бетона / А. В. Корнюхин, В. В. Васюкова // *Дневники науки*. – 2019. – № 11.
- 4 Колчина, Т. О. Биобетон – новое поколение самовосстанавливающихся бетонов / Т. О. Колчина // *Безопасный и комфортный город : Всерос. науч.-практ. конф.* – Орел, 2018. – С. 102–105.
- 5 Белявцева, К. В. Характеристика бактерий рода *Bacillus* – перспективных агентов биологического контроля патогенов растений / К. В. Белявцева, Е. Ю. Шмыга, А. В. Сидоренко // *Микробные биотехнологии: фундаментальные и прикладные аспекты : материалы XI Междунар. науч. конф.* – 2019. – 14–15 с.
- 6 Кодзоев, Б. Х. Самовосстанавливающийся бетон / Б. Х. Кодзоев, С. Л. Исаченко // *Бюллетень науки и практики*. – 2018. – Т. 4, № 4. – 287–290 с.
- 7 Головина, Е. А. Биодеструкция эпоксидных композитов в строительстве / Е. А. Головина, А. Э. Фишер // *Технологии и оборудование химической, биотехнологической и пищевой промышленности : материалы XVI Всерос. науч.-практ. конф. студ., аспирантов и молодых ученых с междунар. участием, Бийск, 24–26 мая 2023 года.* – Бийск : АлтГУ, 2023. – С. 151–153.
- 8 Исследование бактериальных форм на функциональную активность в составе добавки к биобетону / Е. П. Строев [и др.] // *Успехи в химии и химической технологии*. – 2022. – Т. 36, № 12. – С. 164–166.

УДК 622.3:001.895

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ИННОВАЦИОННОЙ АКТИВНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

С. А. ЮЛДАШЕВА, М. Н. КУРБАНОВА

Ташкентский государственный транспортный университет, Республика Узбекистан

Горнодобывающая промышленность считается очень важным сектором в обеспечении эффективности использования ресурсов. Более того, на сегодня исследования и практика энергоэффективных и возобновляемых источников энергии привлекают все страны и развитые предприятия. Хотя и существуют методы оценки инновационной активности, в случае предприятий горно-

добывающей промышленности основной проблемой считается то, что большинство из них не охватывают весь диапазон их деятельности.

Классификация процессов, характерных для горнодобывающих предприятий, отличается от классификации для общей инновационной деятельности. В этом случае технологические, организационные процессы, использование человеческих и сырьевых ресурсов, процессы функционирования на основе зеленой экономической системы имеют свои особенности.

На рисунке 1 представлена классификация, которая приведена по влиянию функций, характеристик и факторов покрытия инноваций и разделена на большие группы. В группу *конкуренция* включены инновации, которые способны обеспечить конкурентоспособность предприятия на более высоком уровне, чем другие инновации. Под *средой* понимается рыночная среда, под *системой* – экономико-организационная система, под *полем* – сферы использования и привлечения инноваций. Тот факт, что *проект* и *товар* не были отделены друг от друга, вызывал сложности в работе с проектами на инновационном рынке. Поскольку горнодобывающая промышленность является сложной отраслью, разделение *целей* эффективно для классификации и оптимизации рабочих процессов проекта. В классификации представлены *услуги* предприятий, внедряющих инновации, и их отдельное исследование позволяет избежать путаницы. *Рынок* и *кейс* относятся к факторам, которые направляют возрождение новых инновационных продуктов.

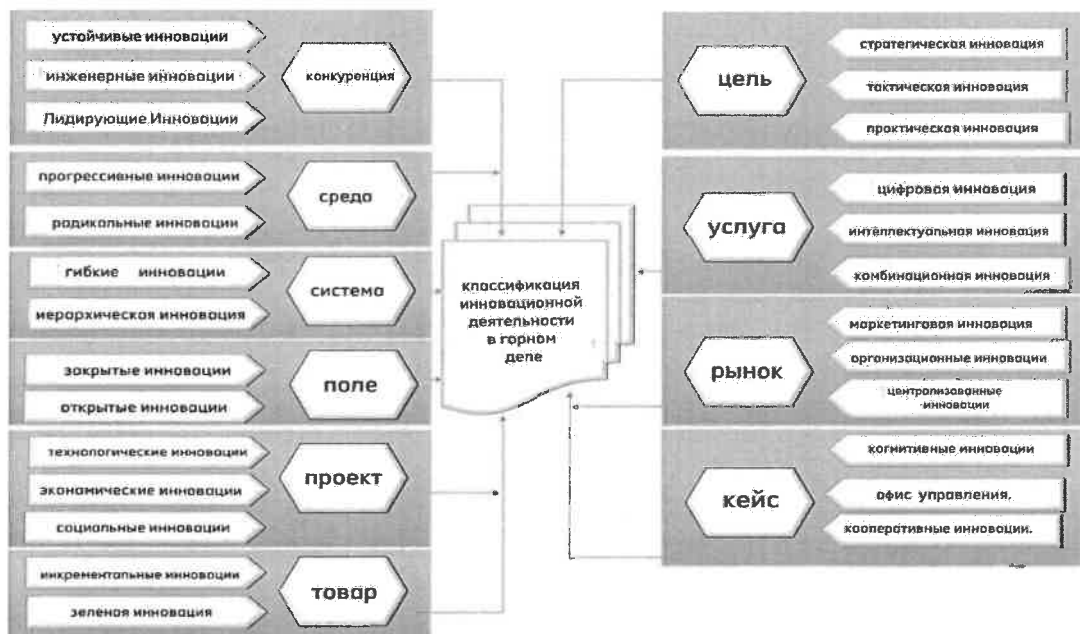


Рисунок 1 – Классификация инновационной деятельности в горном деле

Помимо стабилизации экономических показателей, под устойчивыми инновациями подразумеваются инновации, которые служат долго, с учетом экологических и социальных аспектов. Устойчивые инновации в основном включают потребительские товары, а их конкурентные преимущества направлены на обеспечение устойчивого роста.

Инженерные инновации – это разработка новой техники и технологий, направленная на обеспечение социальной и экономической эффективности, обладающая высокой конкурентоспособностью и включающая архитектурные, дорожно-строительные, водопроводные и тому подобные инновации.

К лидирующим инновациям относятся продукты, которые способствуют постоянным инновациям. Они проводятся по 5 кейсам: инновационные цепочки, отсортированные идеи, быстрый старт работы и устранение проблем, поэтапное создание поколения инновационной продукции, проведение сегментной инновационной деятельности.

Одними из инноваций, улучшающих деловую и экономическую среду, обеспечивающих ее развитие и эффективность предприятия, являются прогрессивные инновации, к которым относятся проекты, содержащие инновационные продукты, основанные на демонстрации быстрых результатов. Стартап-проекты являются наиболее распространенной формой прогрессивных инноваций, и их реформаторский характер важен, поскольку они основаны на результатах.

Если рынок насыщен определенной продукцией и идеями по увеличению ассортимента и вида продукции, которая предлагается производителем своим потребителям, на практике, когда товар

теряет востребованность, необходимо менять бизнес-среду и искать новый рынок. Такие инновационные продукты относятся к радикальной инновационной деятельности.

Завоевание рынков с помощью инновационных продуктов требует умения управлять изменениями и адаптироваться к ним. Соответственно, внимание уделяется совершенствованию инновационной активности в экономической системе. В управлении этой межсистемной деятельностью большое значение имеют гибкие инновации, к которым относятся продукты, которые благодаря уникальности инновационного продукта могут занимать новые рынки в меняющейся экономической среде и имеют основу неухода за ними много лет.

Иерархические инновации считаются диффузными, в отличие от интегрированной и вертикальной систем управления. Поскольку для инноваций требуется среда, отвергающая границы, иерархические инновации основаны на свободе действий. Свобода очень важна для того, чтобы среда действовала по плану, а ее главный продукт – идея. Поэтому иерархическая инновационная деятельность осуществляется с целью найти проблемы в хаосе и устранить их.

Существует определенный рынок, коридор и пространство для инноваций, а аспект решения проблем всех инновационных продуктов может добровольно исследоваться, обсуждаться, продаваться и улучшаться как открыто, так и в частном порядке. Поэтому в сфере инновационной деятельности инновации классифицируются на закрытые и открытые и называют их краудсорсингом и аутсорсингом. Краудсорсинг в основном включает продукты информационных технологий, а аутсорсинг – медицину, науку, химию и аналогичные отрасли.

Проектная классификация инновационной деятельности в горнодобывающей отрасли бывает технологической, экономической и социальной. К технологическим инновационным проектам относятся технические и технологические средства инвестиционной деятельности. В основном это касается оборудования, программ и блок-схем, инновационных разработок и конструкторских разработок. Их главная цель – создание новых инновационных технологий. Экономический инновационный проект включает мероприятия, направленные на формирование и совершенствование рыночных механизмов и институтов, поиск методов распространения новой продукции на рынке. К социальным инновационным проектам относятся проекты, направленные на дальнейшее развитие образа жизни и социального мировоззрения населения. Примеры включают общественное здравоохранение, уход за пожилыми людьми, а также важность флоры и фауны.

Хотя жизненный цикл инновационной продукции в горнодобывающей отрасли длительный, ее создание считается более сложным, чем в других отраслях. Ведь дело ограничивается созданием продукта на основе разработки рецептуры существующих химических элементов. В горнодобывающей отрасли создание и производство инновационных поколений существующей продукции дают добавленную стоимость, а скорость инновационной деятельности высока. Также расширяется функциональная классификация продукта и увеличивается спрос на него. Такие инновационные продукты называются дополнительными инновационными продуктами. Зеленые инновационные продукты направлены на обеспечение экологической безопасности и защиты окружающей среды. В горнодобывающей промышленности спрос на эту продукцию высок и будет направлен на средства, снижающие угрозу жизни человека и устраняющие экологическую опасность.

Список литературы

- 1 Renewable Energy Sources from the Perspective of Blockchain Integration: From Theory to Application / S. Gawusu [et al.] // Sustainable Energy Technologies and Assessments. – No. 52. – P. 102108. – DOI :10.1016/j.seta.2022.102108/.
- 2 Гамидуллаева, Л. Устойчивые инновации: систематический обзор литературы [Электронный ресурс] / Л. Гамидуллаева // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2020. – № 3. – Режим доступа : <https://cyberleninka.ru/article/n/ustoychivye-innovatsii-sistematicheskiy-obzor-literatury>. – Дата доступа : 15.08.2023.
- 3 Деминг, Э. Менеджмент нового времени. Простые механизмы, ведущие к росту, инновациям и доминированию на рынке / Э. Деминг ; пер. с англ. – М. : Альпина Паблишер, – 2023. – 180 с.
- 4 Кристенсен, К. М. Что дальше? Теория инноваций как инструмент предсказания отраслевых изменений / К. М. Кристенсен, С. Энтони, Э. Рот ; пер. с англ. – М. : Альпина Паблишер, 2019. – 587 с.
- 5 Закон успешных инноваций. Зачем клиент «нанимает» ваш продукт и как знание об этом помогает новым разработкам / К. М. Кристенсен [и др.] ; пер. с англ. – Альпина. БизнесАльпина Паблишер, 2020. – 302 с.
- 6 Ташмен, М. Победить с помощью инноваций. Практическое руководство по управлению организационными изменениями и обновлениями / М. Ташмен, Ч. О’Рэйлли ; пер. с англ. – 2023. – 272 с.
- 7 Бидуэлл, Дж. Это прорыв! 100 уроков бизнес-инноваций / Дж. Бидуэлл ; пер. с англ. – М. : Альпина Паблишер, 2019. – 264 с.

7 БЕЗОПАСНОСТЬ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК

УДК 656.13.08

ЭНТРОПИЯ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ И УЧЕТ АВАРИЙНОСТИ ДЛЯ ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА МЕГАПОЛИСА

Ю. П. ВАЖНИК

Белорусская ассоциация экспертов и сюрвейеров, г. Минск

Д. В. КАПСКИЙ, Д. В. НАВОЙ

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Д. М. КОРЗЮК

Министерство внутренних дел Республики Беларусь, г. Минск

Транспортные системы городов характеризуются различными негативными факторами, влияние которых необходимо снижать для повышения привлекательности маршрутного пассажирского транспорта (МПТ). Одним из таких показателей является аварийность, которая характеризует как качество транспортной системы, так и движение МПТ в ней. В Минске создана Концепция обеспечения безопасности движения, показывающая положительные результаты (таблица 1, рисунок 1).

Таблица 1 – Показатели мета-анализа аварийности

Показатель	Город						
	Минск	Вена	Берлин	Сток-гольм	Варшава	Москва	Киев
<i>Характеристики аварийности</i>							
Погибшие в ДТП	41	21	52	8	65	673	129
Раненые в ДТП	678	658	2034	172	1242	3389	2476
Раненые/погибшие	16,5	31,3	39,1	21,5	19,1	17,7	19,2
Кэфф. тяжести ДТП	5,7	3,1	2,5	4,4	5,0	5,4	5,0
Погибшие на 1 млн жителей	20,9	11,7	14,6	8,8	35,9	54,6	44,3
Погибшие на 10000 ТС	5,6	2,5	4,0	1,7	5,5	15,3	10,8
Экспозиция аварийности (Смид)	129	128	233	67	144	797	198
Уровень энтропии	0,32	0,16	0,22	0,12	0,45	0,84	0,65
<i>Городские показатели</i>							
Население, тыс. жителей	1959	1797	3562	912	1810	12330	2909
Автопарк, тыс. ТС	728	845	1305	484	1187	4398	1000
Автомобилизация, ТС/1000 жителей	372	470	366	531	656	357	344
Автомобилизация, инд. авт./1000 жителей	328	380	377	390	560	291	213
УДС, км	1484	2820	5334	2735	2837	14500	3334
Площадь, км ²	348,8	415	892	188	523	2561	848
Плотность населения/км ²	5,62	4,33	3,99	4,85	3,46	4,81	3,43
Плотность УДС, км/км ²	4,25	6,80	5,98	6,04	5,42	5,66	3,93
Средняя температура, °С	6,7	10,5	9,9	6,6	8,5	5,8	8,4
Перепад температур «зима-лето», °С	23	21,1	19,1	19,7	21	25,7	24
<i>Индексы развития</i>							
ВРП, млрд дол. США	12,8	76,7	118	43,8	43,1	321	39,6
ВРП на душу	6,5	42,7	34,2	48,1	23,8	26,0	13,6
ВРП ППП	39,3	183,7	157,7	143,0	141,1	553	
ВРП ППП на душу	20,1	102,2	44,3	156,8	78,0	44,8	
ВВП на душу	5,749	49,039	45,000	58,014	13,435	14,591	3,930
ВВП на душу ППП	17,654	47,250	46,893	47,922	26,455	25,411	7,519
Индекс человеческого развития	0,798	0,885	0,916	0,907	0,843	0,798	0,747
Global City Index		30,3	29,4	23,5	13,6	29,5	
Big Mac-Index, дол. США	2,22	3,8	3,9	5,23	2,37	1,53	1,54

Анализ состояния безопасности дорожного движения в городе Минске и оценка состояния безопасности движения показывает действенность комплекса мероприятий по сокращению числа аварий и тяжести их последствий за последние 10 лет (рисунки 2 и 3). Эффективность предложенных принципов и методов обеспечения безопасности движения позволяет повысить качество использования МПТ не только в крупнейшем городе Беларуси, но и в других городах посредством тиражирования данного опыта. Следует отметить, что мероприятия для повышения качества движения МПТ выбираются именно по организации движения: наименее капиталоемкие, не требующие дополнительных существенных капитальных вложений в развитие транспортной сети (уширения дорог, строительства развязок в разных уровнях и пр.).

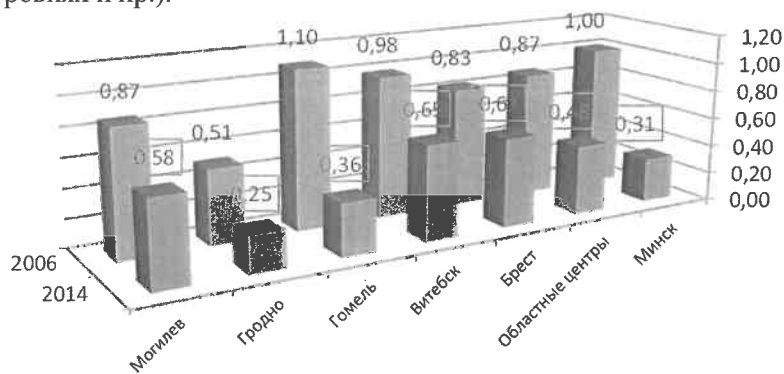


Рисунок 1 – Уровень энтропии (упорядоченности) движения в областных центрах (1.0 – уровень Минска в 2006 году)

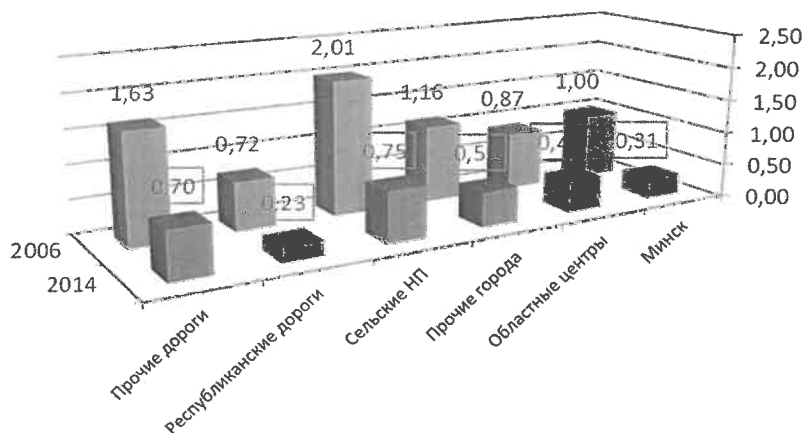
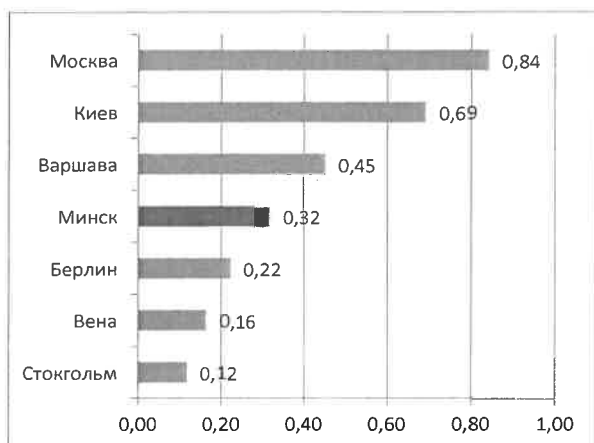


Рисунок 2 – Уровень энтропии (упорядоченности) дорожного движения по населённым пунктам и дорогам (1.0 – уровень Минска в 2006 году)

а)



б)

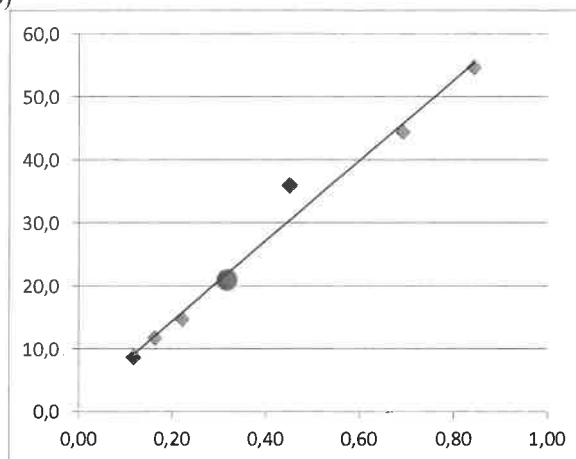


Рисунок 3 – Состояние безопасности дорожного движения в городах мира и Беларуси: а – уровень ОДД; б – энтропия аварийности

ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ ЗА РУБЕЖОМ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ ДАЛЬНЕЙШЕГО РАЗВИТИЯ

С. П. ВАКУЛЕНКО

Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва

А. К. ГОЛОВНИЧ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

В. И. НАРТОВ

Дирекция скоростного сообщения – филиал ОАО «РЖД», г. Москва

История высокоскоростных магистралей (ВСМ) начинается с 1964 года, когда в Японии начал курсировать поезд Синкансэн. В настоящее время по всему миру эксплуатируется около 60 000 км линий ВСМ, которые перевозят более трех миллиардов пассажиров в год. Лидирует в развитии ВСМ Китай, на долю которого приходится почти две трети мировых линий ВСМ. Протяженность ВСМ в Китае в 2023 году достигла 45 000 км, а к 2035 году эта сеть должна достигнуть 70 000 км.

В мире используется четыре различных модели эксплуатации ВСМ:

- японская модель, обеспечивающая эксплуатацию линии с инфраструктурой, предназначенной для высокоскоростных железных дорог;
- французская модель, которая для пропуска высокоскоростных поездов использует как высокоскоростную инфраструктуру, так и обычные модернизированные линии, снижая затраты на сооружение железной дороги;
- испанская модель, в которой обычный железнодорожный транспорт использует высокоскоростную инфраструктуру с технологией раздвижки колесных пар тележек подвижного состава, что обеспечивает сокращение времени нахождения пассажирских составов на пассажирских и технических станциях и снижение затрат на приобретение и обслуживание подвижного состава;
- германо-италийская модель, которая позволяет высокоскоростным поездам использовать обычные линии, а ВСМ обслуживают грузовые перевозки в ночное время.

Европейским союзом разработана стратегия по созданию эффективной мультимодальной транспортной сети по всему континенту, известной как Трансъевропейская транспортная сеть (TEN-T), которая объединяет железные дороги, внутренние водные пути и каботажные морские пути. Эта интегрированная транспортная сеть, в которой ВСМ занимают ведущее место, способствует эффективному перемещению грузов и пассажиров на большие расстояния. Железнодорожная инфраструктура ВСМ включает несколько коридоров существующих и проектируемых высокоскоростных железных дорог.

Коридор Северное море – Балтийское море позволит улучшить связность в странах Балтии и Финляндии за счет включения в коридор проектируемой линии Rail Baltica и Морской магистрали Таллин – Хельсинки. Скандинавско-Средиземноморский коридор соединяет Финляндию и Швецию на севере с Мальтой на юге, проходя через Данию, Германию и Италию.

Высокоскоростные магистрали железных дорог Европы активно расширяются и вносят существенный вклад в общий объем выполняемых пассажирских и грузовых перевозок. Сторонники развития ВСМ объективно усматривают в высоких скоростях на железной дороге многообещающие возможности для перехода от загрязняющих атмосферу автомобилей и самолетов к более чистому виду транспорта. Время в пути является ключевым условием для предпочтения пассажирами высокоскоростного поезда.

Так как существующий транспортный рынок характеризуется налаженными автомобильными и воздушными маршрутами, то использование пассажирами ВСМ следует понимать только в контексте *интермодального выбора*, где пассажиры оценивают позитивные возможности использования высокоскоростных поездов в плане достигаемого комфорта в поездке. Высокоскоростной поезд рассматривается пассажирами только как один из видов транспорта на маршруте достижения конечного пункта поездки.

Проводимые исследования показывают, что ВСМ в ряде случаев эффективнее работают на коротких и средних маршрутах (до 1000 км), которые обычно проходят через густонаселенные центры с высокой плотностью населения. Однако некоторые исследователи ставят под сомнение рациональность планируемых значительных инвестиций в инфраструктуру ВСМ из-за сдерживающих социальных норм (сохранение пригородного движения, кратковременность остановок на станциях в пути следования для пассажиров с ограниченными физическими возможностями). Логичным доводом в пользу дальнейшего использования пассажирами автомобильного и воздушного транспорта является устоявшаяся привычка и достаточный комфорт, когда у пассажиров просто отсутствует мотивация в поисках альтернативных вариантов совершаемых поездок.

Однако в последние годы появляются новые возможности для расширения услуг ВСМ благодаря быстрой урбанизации, изменению ритмов мобильности и достигаемым экологическим преимуществам. Например, за последние 10 лет темпы роста городов составили 11 %. Отчасти основу успеха ВСМ обеспечивает повышение междугородней мобильности пожилых людей. Вторым фактором успеха является рост объема услуг, предоставляемых туристической индустрией. Удобное расположение пассажирских станций ВСМ в центре крупных городов и мегаполисов способствует увеличению доли туристов в общем объеме пассажиропотока.

Для оценки эффективности ВСМ при сравнении с воздушным транспортом определены шесть значимых факторов:

- общее время в пути;
- комфортность условий поездки;
- гендерный признак;
- доход;
- частота поездок;
- проблемы с мобильностью.

Выбор пассажирами ВСМ как альтернативы автомобильному транспорту оказался зависимым только от частоты поездок и общего времени в пути.

В целом можно отметить, что остается ряд существенных проблем, которые сдерживают дальнейшее развитие ВСМ. В настоящее время отсутствуют уверенные прогнозы роста пассажиропотока, который обеспечил бы экономический баланс высоких расходов на строительство и текущее содержание инфраструктуры. Сложными и затратными остаются проекты ВСМ в высоких и полярных географических широтах. Безусловно, определяющим фактором является обеспечение безопасности движения, которая, к сожалению, характеризуется в последние годы невысоким уровнем. С ростом скоростей движения поездов тяжесть аварий становится все более внушительной. Нерешенными проблемами остаются риски столкновения с автотранспортом на переездах и животными. Тем не менее, ВСМ обладает значительным потенциалом для своего дальнейшего роста, который может быть существенно активизирован благодаря успешному решению указанных проблем.

УДК 656.1/.5.072

КОМЬЮНИТИ-ОРИЕНТИРОВАННАЯ ИНТЕГРАЦИЯ СИСТЕМЫ «ПАССАЖИР – ТРАНСПОРТ»

Т. А. ВЛАСЮК

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Отличительной особенностью современной цивилизации является активное использование населением различных видов транспорта, что приводит к разному уровню зависимости от него, при которой человек не может существовать без транспорта. Можно сказать, что в настоящее время появился транспортно-зависимый человек, для которого общественный транспорт или личное транспортное средство являются не только средством передвижения, но средой «обитания», где соединены воедино социальное и конструкторско-технологическое пространство. При этом, как отмечает

Березовская И. П., «Величина социальности пространства и уровень развития транспорта во многом связаны. Социальное пространство представляет собой сложную систему центров и ареалов, а формирование центров – это во многом результат развитости транспорта и многообразия видов транспортных средств. Развитость транспорта определяется плотностью коммуникаций. Территории, которые находятся далеко от системы магистральных линий современного транспорта, обречены на провинциальное положение, сказывающееся на экономической и социально-культурной сфере этих территорий. ... Транспорт не только во многом определяет уровень социальности пространства, он выступает также фактором, обуславливающим уровень материально-производственной сферы общества и формирование специфических хозяйственно-культурных типов человечества» [1].

Именно благодаря специфическим хозяйственно-культурным типам человечества сегодня происходит комьюнити-ориентированная интеграция системы «пассажир – транспорт», отличительные особенности которой приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Особенности комьюнити-ориентированной интеграции системы «пассажир–транспорт»

Классификационный признак	Направления комьюнити-ориентированной интеграции
Социокультурные отношения на транспорте (культурное взаимодействие)	Взаимное уважение пассажиров, «пассажирское братство»
	Оказание помощи (в случае необходимости)
	Соблюдение культуры и этических норм поведения на транспорте («этика пассажира»)
	Арт-инициативы
Взаимодействие с персоналом	Доброжелательное общение
	Быстрая и вежливая помощь
Информационная поддержка пассажиров с использованием современных технологий на транспорте	Информирование пассажиров (мобильные приложения, форумы и блоги)
	Формирование сообществ в социальных сетях, онлайн-платформах и мессенджерах (например, группа)
	Информационные каналы и платформы для оценок и отзывов
	Рекомендации по маршрутам
Чистота и комфорт	Обеспечение и соблюдение гигиенических требований на объектах транспорта и транспортных средствах
	Создание комфортной обстановки
Инклюзивность и доступность	Забота о пассажирах с особыми потребностями
	Приветствие культурного и языкового разнообразия
Позитивное вовлечение пассажиров в социально-значимую общественную деятельность	Скидки и специальные предложения (события или акции)
	Программы лояльности
	Тематические мероприятия для пассажиров

Комьюнити-ориентированная интеграция системы «пассажир – транспорт» делает транспорт для пассажиров более привлекательным, снижает транспортную усталость и уменьшает возможные негативные последствия от поездки, так как позволяет обеспечить общение и коммуникационное взаимодействие в процессе поездки, ибо положительные комьюнити-сообщества пассажиров рассчитывают на проведение мероприятий или маршрутов и создают поддержку, взаимодействие и позитивный опыт поездок. Такое сообщество может принимать разные формы и включать в себя новые элементы. Транспортные комьюнити становятся частью социальной среды, усиливая ее через взаимопомощь, информированность и уважительное отношение к каждому участнику. Они помогают создать комфортное и поддерживающее пространство, где каждый пассажир может ощущать себя частью общества, что делает поездку не простым способом передвижения.

Таким образом, транспортно-зависимость – это критический фактор, который требует особого внимания. Формирование комьюнити-сообщества пассажиров является эффективным способом повышения общей коммуникативности как между индивидуальными пассажирами, так и между ними и транспортными компаниями.

Современный пассажир ищет транспорт, который соответствует его образу жизни: он хочет, не тратя лишние усилия на планирование, чтобы поездка была быстрой, недорогой и комфортной. Для того чтобы минимизировать или предотвратить возникновение транспортных проблем для пассажиров, необходимо использовать комплексный подход к организации транспортной системы, обеспечению высокого уровня комфорта, доступности и надежности.

Список литературы

1 Березовская, И. П. Транспорт как социальное и культурное явление / И. П. Березовская, М. В. Иванов // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Гуманитарные и общественные науки. – 2017. – Т. 8, № 4. – С. 47–55. DOI: 10.18721/JHSS.8405.

УДК 004.9:656.2

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ УСЛУГ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

Т. А. ВЛАСЮК, А. Н. БЕЛОУС, В. Е. МИНИН

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

ЦЗЭН СЯНЬФЭН

Гуанчжоуский профессионально-технический колледж железнодорожного транспорта, Китайская Народная Республика

Железнодорожный транспорт XXI века невозможно представить без информационных услуг, которые оказываются пассажирам на вокзалах и в поездах. При этом особое внимание уделяется доступу в сеть «Интернет» внутри подвижных составов по технологии Wi-Fi. По статистике в среднем пользователь проводит в сети 48 мин. Общий объем потребленного трафика за год составляет более 120 терабайт и в топ-5 железнодорожных вокзалов, где пассажиры активнее всего пользовались беспроводным интернетом, входят Минск, Брест, Гомель, Орша и Жлобин [1]. Например, зона покрытия Wi-Fi (сеть BelRW_ Wi-Fi) вокзала Минск включает зал ожидания, конкорс, привокзальную площадь, гостиницу «Экспресс».

В течение последних пяти лет услуга свободного подключения к Wi-Fi предоставляется 160 точками доступа на 19 вокзалах, среди которых Жодино, Смолевичи, Сморгонь, Пуховичи, Горынь, Слоним, Городея, Ганцевичи, Жабинка, Ивацевичи, Кобрин, Житковичи, Речица и другие, а также 33 остановочными пунктами. Доступ к интернету имеется на 18 электропоездах серии ЭП. Пассажиры на железнодорожных вокзалах помимо бесплатного Wi-Fi имеют возможность зарядить мобильные телефоны в пути следования. Это особенно важно для людей, которые работают во время поездки.

Следует отметить, что для пассажиров железнодорожного транспорта разработано мобильное приложение «БЧ. Мой поезд», где представлена актуальная информация о поездке (рисунок 1).

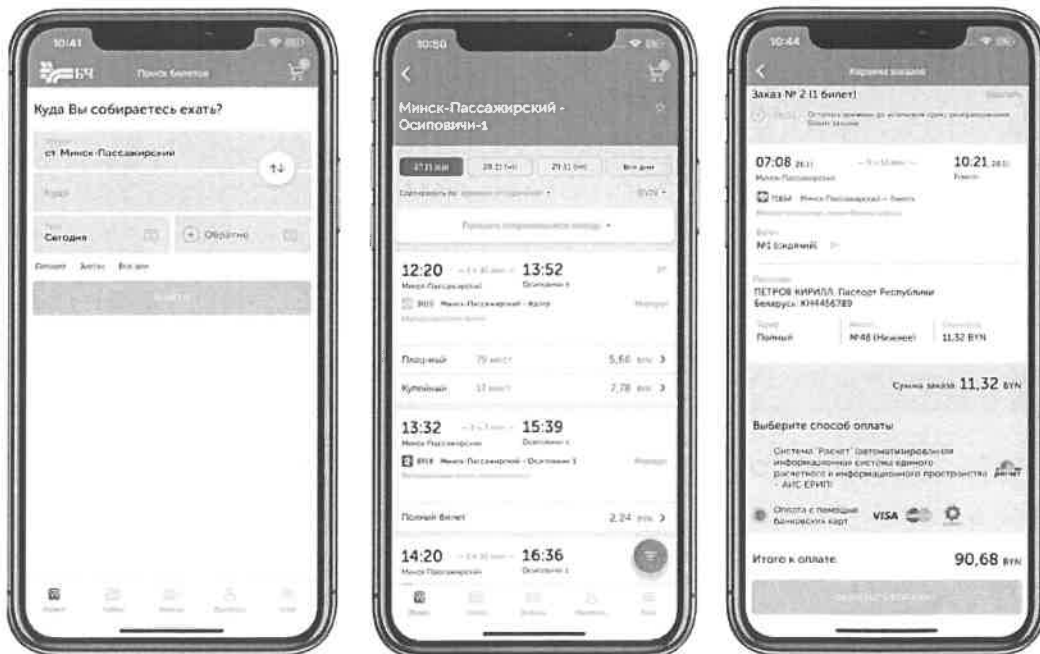


Рисунок 1 – Мобильное приложение «БЧ. Мой поезд»

Приложения для отслеживания поездок, приобретения билетов и планирования маршрутов делают использование железной дороги более удобным за счет экономии времени на приобретение проездных документов, оформление багажа и живности (в случае необходимости), получения актуальной информации в режиме реального времени о наличии свободных мест, стоимости билетов, расписание движения поездов и др.).

По данным Белорусской железной дороги, на сайте pass.rw.by с помощью мобильного приложения «БЧ. Мой поезд» пассажиры купили более 9 млн электронных билетов. Ежедневно мобильное приложение Белорусской железной дороги используют тысячи жителей нашей страны. В настоящее время мобильное приложение «БЧ. Мой поезд» на свои смартфоны и планшеты установили более 180 тыс. пользователей. Ежегодно более 80 % билетов с нумерованными местами и более 70 % с нумерованными местами оформляется через рассматриваемое приложение. При этом количество оформляемых ежемесячно билетов на региональные поезда экономкласса и городских линий постоянно возрастает.

Белорусская железная дорога отмечает, что при покупке билетов на региональные (пригородные) поезда пассажиры все чаще используют терминалы самообслуживания, через которые в настоящее время продано более 6 млн проездных документов (рисунок 2).

Таким образом, применение современных информационных технологий по оказанию услуг пассажирам на железнодорожном транспорте позволяет обеспечить:

- экономию времени на приобретение проездных документов, оформление багажа и живности (в случае необходимости);
- экономию денежных средств при покупке проездных документов на поезда с нумерованными местами, так как тариф за их оформление не взимается (т. е. билет с электронной регистрацией будет обходиться пассажирам дешевле, чем при покупке в кассе);
- дистанционный канал связи по приобретению проездных документов в любое время суток независимо от места нахождения пассажира (в помещении или на открытом воздухе);
- совместимость с большинством платежных систем;
- использование различных способов оплаты (банковские карты, купюры, монеты и др.).

Современные информационные технологии – это удобная альтернатива железнодорожным билетным кассам, которая востребована у пассажиров. Например, по сравнению с прошлым годом число проездных документов, оформленных через терминалы самообслуживания, выросло на 18 %.



Рисунок 2 – Терминалы самообслуживания на железнодорожном вокзале Минск-Пассажирский

Список литературы

1 Wi-Fi в пассажирских поездах [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://mpt.gov.by/ru/news/08-08-2018-3369>. – Дата доступа : 14.09.2024.

УДК 656.211:338.488.1

ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ ТУРИСТСКО-ЭКСКУРСИОННЫХ ПЕРЕВОЗОК НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

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

В Республике Беларусь туристско-экскурсионные перевозки на железнодорожном транспорте осуществляются с 2007 года и представляют собой одно-, двухдневные обзорные экскурсии по Республике Беларусь с целью посещения историко-культурных центров нашей страны, что требует формирования и развития соответствующей инфраструктуры на железнодорожных станциях. Следует отметить, что туризм является важной отраслью экономики Республики Беларусь, где в насто-

ящее время работает более 1000 организаций и занято 4,5 % работающего населения. С каждым годом все более популярным становится внутренний туризм. Так, в 2023 году более 1,7 млн человек отправились изучать родную страну только в составе организованных групп. При этом наиболее популярны среди белорусов однодневные экскурсионные поездки, которые выбирали в 92,1 % случаев. В 2023 году внутренний туристический поток вырос на 15,6 % [1]. Однако для туристско-экскурсионных перевозок население чаще всего использует автомобильный транспорт, что определяется объективными и субъективными причинами.

Анализ работы железнодорожных станций, расположенных в областных центрах Республики Беларусь, показал, что не имеется специализированных путей, оборудованных соответствующими устройствами для стоянки и обслуживания туристических поездов, которые сегодня размещаются на второстепенных путях железнодорожных станций, часто удаленных на значительное расстояние от центра города. Это вынуждает пассажиров-туристов совершать сложные утомительные маршруты к туристическим поездам, что снижает уровень качества и комфорта от поездки по туристическому маршруту. Помимо вышеизложенного следует отметить, что отсутствие специализированных путей, оборудованных соответствующими устройствами для стоянки и обслуживания туристических поездов, усложняет проведение технологических операций на железнодорожной станции, увеличивает затраты на маневровую работу и вызывает задержки в подготовке состава в рейс [2, 3].

В связи с этим для развития туристско-экскурсионных перевозок на железнодорожном транспорте и повышения их эффективности целесообразно рассмотреть возможность:

1) организации туристических туров в период спада основного пассажиропотока, который наблюдается в зимние месяцы года;

2) организации мест для стоянки туристических поездов на одной из ближайших станций железнодорожного узла, расположенной на незначительном расстоянии от города, например, Гомель-Северный (рисунок 1);

3) специализации путей для туристических поездов на железнодорожных станциях, которые должны находиться, непосредственно примыкая к городскому массиву, что обеспечит удобное передвижение пассажиров в пределах города, например, на станции Гомель-Пассажирский это пути № 15 и 16. При таком подходе отпадает необходимость сооружения для пассажиров дополнительных выходов в город, а также сокращаются затраты на создание необходимых коммуникаций для



Рисунок 1 – Схема размещения на железнодорожных станциях Гомельского железнодорожного узла

полного развития группы путей отстоя туристических поездов (рисунок 2).

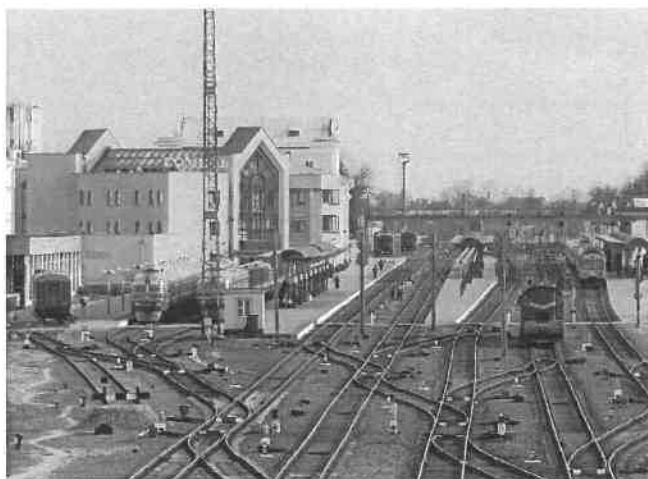


Рисунок 2 – Схема размещения путей № 15 и 16 на железнодорожной станции Гомель-Пассажирский

Таким образом, развитие туристско-экскурсионных перевозок на железнодорожном транспорте способствует улучшению использования парка пассажирских вагонов и снижает неравномерность загрузки проводников в течение года, а также позволяет формировать туристические пассажиропотоки и повышать конкурентоспособность железной дороги.

Список литературы

- 1 В Беларуси заметно вырос туристический поток [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://1prof.by/news/v-strane/v-belarusi-zametno-vyros-turisticheskij-potok>. – Дата доступа : 14.09.2024.
- 2 Правдин, Н. В. Технология работы вокзалов и пассажирских станций / Н. В. Правдин, Л. С. Рябуха, В. И. Лукашев. – М. : Транспорт. 1990. – С. 319.
- 3 Правдин, Н. В. Пассажирские станции / Н. В. Правдин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Транспорт, 1973. – 272 с.

УДК 656.21:004.9

КЛИЕНТООРИЕНТИРОВАННЫЕ КИБЕРФИЗИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ НА ПАССАЖИРСКИХ СТАНЦИЯХ

А. К. ГОЛОВНИЧ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Железнодорожные станции для пассажиров – это всего лишь промежуточные пункты, с которыми приходится иметь дело при совершении поездки. Целью любого потенциального пассажира является малозатратное по времени, максимально недорогое и комфортное путешествие. Ему, как правило, безразлично, каким способом и с помощью какого вида транспорта такая поездка будет совершена (исключая достаточно редкие случаи частных пристрастий к определенному транспорту). Если бы можно было начинать поездку прямо со своей квартиры, любой пассажир, безусловно, с радостью такой возможностью воспользовался. Но нужно купить проездной билет (т. е. заключить договор с предоставляющей транспортные услуги компанией), ознакомиться с дополнительной информацией, имеющей отношение к поездке, которая может оказаться критичной и повлиять на первоначальные целевые установки пассажира. Всё это сформировало определенные нормы в наших отношениях к транспорту, сводящиеся к целому ряду традиционных правил, которые должен соблюдать человек, решившийся влиться в стройные ряды огромной армии пассажиров, миллиарды которых ежедневно перемешаются по безбрежным просторам нашей планеты.

Однако безудержное развитие информационных технологий повсеместно оказывает своё проникающее воздействие, которое начинает сказываться и на нашей транспортной жизни. Интернет-коммуникационная среда обладает достаточно привлекательными ресурсами, позволяющими уменьшить риски и неопределенности планируемой поездки, предоставляя конкретную информацию относительно рационализации маршрута с полным или частичным удовлетворением райдера пассажира. В настоящее время активно формируется виртуальная среда метавселенной, которая благодаря иммерсивному интерфейсу полного погружения пользователя в высокореалистичные динамичные образы моделирует предстоящую поездку по всем элементам транспортного процесса.

Первой компанией, которая стала использовать онлайн-миры, где пользователи среди виртуальных объектов могли контактировать друг с другом посредством своих аватаров, стала Meta (поэтому и созданные таким образом виртуальные миры стали называться метавселенными). Этимологически этот термин восходит к идее американского писателя-фантаста Нила Стивенсона, который в 1992 году опубликовал роман «Лавина», относимый критиками к жанру киберпанка. В этом романе метавселенная – натуралистичное подобие действительности, переносящее в виртуальную жизнь весь бытийный мир реальности.

Модельная реконструкция, создаваемая возможностями настоящего уровня развития информационных технологий, практически стирает различие между реальным и виртуальным, так как пользователь не только может ассоциировать себя с аватаром, но и переносить на него свои интересы, пристрастия, выражающиеся в конструируемом поведении аватара и формировании психологически сложных отношений с другими окружающими персонажами виртуального мира метавселенной.

Нас интересуют возможности метавселенных как основы для построения киберфизической информационно-справочной системы, способной детализированно реконструировать предстоящую поездку пассажира, совершить с ним своеобразное путешествие в ближайшее будущее и показать то, что будет перед его глазами на всём протяжении интересного путешествия (о чем и должна позаботиться метавселенная, включив в него самые яркие, занятные, забавные и захватывающие моменты, не забывая о том, что общая длительность поездки не должна превышать заявленных пассажиром нормативов). Метавселенная может предоставлять клиенту возможность пассивного наблюдения за раскрывающимся перед ним виртуальным миром, никоим образом не обнаруживая для виртуального мира своего присутствия, а может сделать антропоморфного аватара активным объектом метавселенной, который своим присутствием и участием формирует и определяет ситуативное развитие событий.

Представим себе некоторый анонимный образ потенциального клиента транспортных услуг. Пусть это будет служащий риэлтерской компании, находящийся в служебной командировке, которая близится к своему удачному завершению. Для возвращения из командировки он желает воспользоваться услугами железнодорожного транспорта и обращается к информационной среде метавселенной для получения полной информации о наилучшем способе возвращения обратно. Из личного коммуникатора клиента инфосреда скачивает полный райдер транспортных услуг, моделирует варианты альтернативы и визуализирует итоговый оптимизированный арт-фильм по предстоящей поездке. Причем срежиссированная таким образом модельная поездка удовлетворяет всем требованиям пассажира, доставляет его в пункт назначения, включая все пересадки на другие виды транспорта, использование такси, ознакомление с достопримечательными местами в кратковременные периоды ожиданий на различных трансферах и др. По ходу просмотра фильма клиент может вносить различные коррективы в отдельные позиции. Метавселенная мгновенно реагирует на эти указания, оперативно корректируя сюжетную композицию, начиная с точки реконструкции, указанной пользователем. В результате формируется карта услуг пассажира, в которой указывается оплачиваемый транспортный сервис по заказанному перечню услуг. Служащий, завершающий дела в командировке, с помощью виртуальной реконструкции моделирует своё будущее в метавселенной и выбирает логистику обратного путешествия, которое он может оплатить полностью, частично, по выбранным фазам, с отсрочкой платежей и др.

Следует обратить внимание, что метавселенная услуг железнодорожного транспорта обеспечивает сервис по клиентоориентированным критериям (находит маршрут по самому дешевому варианту, минимальному по времени путешествия, с посещением заявленных знаковых пунктов и др.). Естественно, участие железнодорожного транспорта в таких маршрутах если не определяющее, то достаточно весомое, но райдер пассажира в любом случае ставится в приоритет. Поэтому метавселенная услуг железнодорожного транспорта вступает во взаимодействие с аналогичными метавселенными других видов транспорта, получая от них необходимую информацию о расписаниях и рейсах самолетов, автобусов, маршрутах и геолокации такси, картографических и других данных. Исполнение запроса клиента генерирует фрагментированную гипертемпоропространственную метавселенную, которая обслуживает только одного человека и которая обладает всеми доступными сведениями, непосредственно и косвенно связанными с транспортным запросом данного служащего риэлтерской компании.

Метавселенная по сути является виртуальной средой, но коммуникационными точками связанной с реально существующими объектами (вокзалами, такси, самолетами), с которыми наш клиент будет взаимодействовать, где уже будут заказаны под него соответствующие места и где его будут ждать реальные люди из обслуживающего персонала пассажирских станций и аэропортов. Поэтому для пассажира метавселенная – не просто динамические трехмерные изображения, представленные в абстрактной модельной среде, а натурализованная киберфизическая система, адресно указывающая на реальный мир. Если пассажир увидел на экране дисплея некоторую ситуативную картину, изображающую терминал А в аэропорту В с обозначенным виртуальным маршрутом прохода к заявленной точке С, то он будет уверен, что сможет воспользоваться полученной информацией, когда прибудет в аэропорт, а на маршруте прохода к такси в указанной точке его будет ждать такси с уже известным ему номерным знаком (или другим, но переданным по условленной схеме связи до критического времени истечения полезности данной информации).

Киберфизические метавселенные знаменуют новый этап развития симуляционной реальности, когда погружение в моделированную реконструкцию оказывается настолько глубоким и естествен-

ным, что пользователь начинает верить увиденному, относить его к категории реально существующих объектов и объективно происходящих в реальном мире событий. Прагматическое значение используемых метавселенных, в частности представленных в настоящем материале в форме коммуникационных сред, заключается в возможности более эффективного планирования предстоящих важных мероприятий, снижении вероятности принятия неверных управленческих решений, а следовательно, повышении качества нашей жизни в целом, когда знание многочисленных корреляционных связей в сложной социально-технической системе позволяет уверенно прогнозировать её состояния и тем самым заранее подготовиться к наступлению определенных последствий или снизить их негативное влияние посредством упреждающих действий.

УДК 656.62+626/627+62-236

ПРИЧАЛЬНЫЙ ПОДЪЕМНИК КАК РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ ПОСАДКИ ПАССАЖИРОВ С БЕРЕГА НА СУДНО (И ВЫСАДКИ С СУДНА НА БЕРЕГ)

И. И. ГОРДЛЕЕВА

Волжский государственный университет водного транспорта, г. Нижний Новгород, Российская Федерация

Исследование портовой и береговой инфраструктуры на всей территории России, относящейся к пассажирским перевозкам внутренним водным транспортом, выявляет острую необходимость ее совершенствования и приведения в соответствие с современными запросами и требованиями. Техническое и эксплуатационное состояние береговой зоны, пристаней, причальных стенок в подавляющем большинстве практически не изменилось с советских времен. В то же время железнодорожные и автомобильные пассажирские перевозки за последние 30–40 лет вышли совершенно на новый качественный уровень. Во главу поставлены безопасность, доступность и комфорт людей, для маломобильных граждан населения (МГН) и инвалидов соблюдены все современные нормативы, предъявляемые к транспортным средствам, будь то городской автобус или вагон поезда. Железнодорожные станции и автовокзалы оборудованы в соответствии с запросами всех групп населения (выделенные парковочные места, пандусы для инвалидов, заезды для колясок и багажа и т. д.).

Совершенно другая картина на водном транспорте, в особенности на речных маршрутах. Анализ сервиса обслуживания самой значимой в России реки Волги показывает соответствие стандартам пятидесятилетней давности. Модернизация портовой и береговой инфраструктуры со времен введения в эксплуатацию проведена в единичных случаях. Построенные в советский период причалы и причальные стенки устарели и не соответствуют современным нормам и требованиям, предъявляемым к качеству, доступности и безопасности при посадке и высадке пассажиров на всех транзитных и местных маршрутах.

Автором проведено картографическое исследование в крупных населенных пунктах акватории Волги, рассмотрены и отобраны отзывы пассажиров прогулочных и туристических судов о состоянии причалов (пристаней), взятые из открытых источников «Яндекс Карты» [1]. Жалобы пассажиров на шаткие крутые лестницы на причалах, невозможность безбоязненного и безопасного перехода с берега на судно с багажом, детскими колясками, детьми, не говоря уже о людях с ограничениями жизнедеятельности, только подтверждают остроту проблемы (рисунок 1).

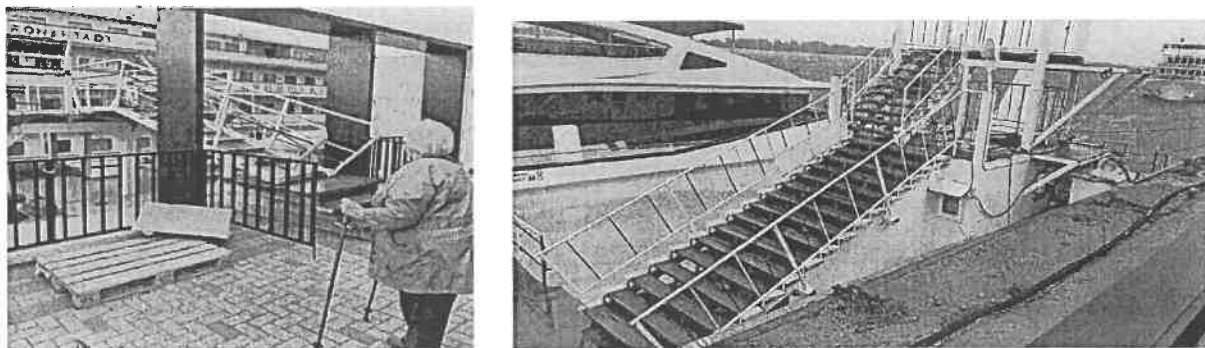


Рисунок 1 – Причал № 8 и № 4, г. Нижний Новгород, сварные лестницы для перехода с судна на берег

При этом на основании утвержденной государственной программы РФ «Доступная среда» [2] разработана и действует новая нормативная база «перевозок пассажиров и их багажа на внутреннем водном транспорте» [3]. В ней прописаны правила перевозки лиц с ограничениями жизнедеятельности для компаний, «оказывающих услуги на транзитных, местных, пригородных и внутригородских маршрутах и на переправах». И если перевозчики на своих судах так или иначе следуют требованиям в соответствии с новыми нормативами и ГОСТами, то в общей системе при посадке-высадке пассажиров с ее составляющими: причальная стенка (берег) – пристань (пonton) – судно доступный и безопасный переход с берега на судно и в обратном направлении отсутствует.

Конечно, следует отметить объективные сложности возведения надежных стационарных конструкций при переходе с судна на берег, связанные со спецификой водного транспорта. К ним относятся качка на воде, изменяющийся уровень воды за навигационный период от начала паводка до середины лета, сильная зависимость от ландшафта конкретной местности и береговой линии, скорость течения реки и другие факторы. В некоторой степени это объясняет отсутствие единых стандартов и их соблюдение в акваториях страны, но не может служить оправданием, так как при классификации по определенным критериям всех прибрежных зон можно выработать единые подходы в рамках каждой группы с одинаковыми характеристиками.

Рассмотрим береговую инфраструктуру в крупных волжских городах, сильно зависящую от такого фактора, как изменяющийся в большом диапазоне уровень воды. К примеру, у причальной стенки в Нижнем Новгороде этот разброс за навигационный сезон составляет 6 м [4]. Причем вода с верхней отметки с конца апреля опускается до нижней к началу июля, и три самых туристических месяца (июль, август, сентябрь) находится на минимуме. Для перехода с судна на берег на понтонах (причалах), являющихся связующим звеном между судном и берегом, установлены сварные лестницы различного конструктива (см. рисунок 1). Естественно при низком уровне воды лестница с понтоном, воспринимая качку, передает ее пассажирам, и чем выше они поднимаются по лестнице, тем большую «шаткость» они ощущают. «Кустарно» сваренные конструкции даже визуально не кажутся безопасными, не говоря о полном несоответствии требованиям, предъявляемым к высадке на берег людей с ограничениями жизнедеятельности.

Наиболее рациональным решением данной проблемы видится подъемник по типу пассажирского лифта, с креплением на причальной стенке, имеющей две позиции останова: верхнюю – на уровне набережной, нижнюю – на понтоне (рисунок 2). Он функционален, более удобен и безопасен для всех участников водных поездок, будь то пассажиры с габаритным багажом, семьи с маленькими детьми в колясках или судовой персонал, обеспечивающий разгрузку-погрузку провизии. Такой подъемник удовлетворяет требованиям ГОСТ 34682.2 [5] для маломобильных граждан населения. Возможность установки на причальной стенке подтверждается прочностным расчетом по подобранным рабочим параметрам, который показывает, что нагрузочная способность причальной стенки много превышает расчетные нагрузки на стену от подъемника (сам расчет [6] в данной работе не представлен).

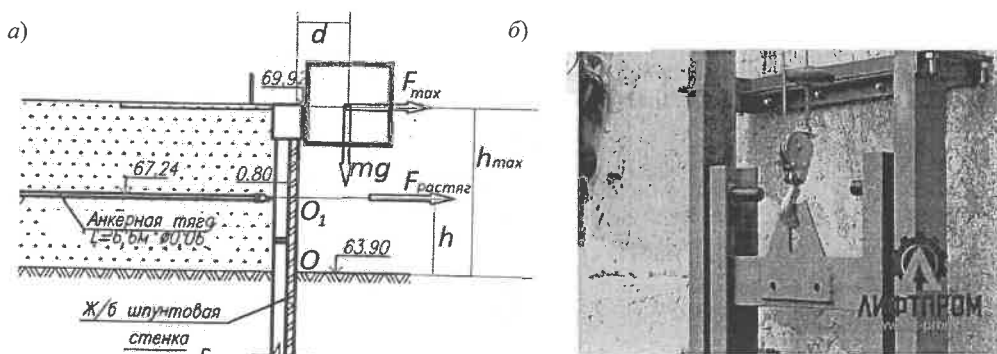


Рисунок 2 – Подъемник:

а – к расчету нагрузочной способности Нижегородской причальной стенки;
б – пример крепления к бетонной стене направляющих подъемника

Для выбора подъемника были определены и рассчитаны характеристики, удовлетворяющие заданным критериям: подъемник консольный, с вертикальными направляющими, крепление к несую-

шей стене с помощью химических анкеров, привод электрический (220v, 380v) тросовый (тельфер), габариты платформы 2×2 м², масса = 2000 кг, высота подъема = 6 м, скорость подъема = 0,15 м/с, мощность привода = 3,5 кВт, время подъема/спуска = 40 с.

На отечественном рынке подъемно-транспортного оборудования имеется достаточно производителей, продукция которых удовлетворяет вышеописанным техническим и рабочим параметрам подъемника, при этом с лицензией на изготовление подъемников (лифтов) для инвалидов. Набор стандартного оборудования, программное обеспечение и предлагаемый монтаж специалистами завода-изготовителя вполне могут быть адаптированы под техническое задание. Существенным здесь является «плавающее» место остановки пассажирской платформы в нижнем положении, так как координаты причала, на который «садится» платформа подъемника, меняются по вертикали вместе с уровнем воды. Эта проблема технически может быть решена датчиком-концевиком, который крепится на днище платформы и служит для размыкания питания кнопки спуска.

Предложенное решение высадки-посадки пассажиров с судна на берег с помощью подъемника является более комфортным и безопасным, удовлетворяет требованиям, предъявляемым к транспортным услугам для людей с ограничениями жизнедеятельности, актуально и своевременно вписывается в общегосударственные задачи по улучшению инфраструктуры прибрежных зон и развития внутреннего водного туризма.

Список литературы

1 Пристань в Приволжском федеральном округе [Электронный ресурс] // Яндекс Карты. – Режим доступа : <https://yandex.ru/maps/47/nizhny-novgorod/search/Пристань/>. – Дата доступа : 08.09.2024.

2 Постановление Правительства РФ от 29 марта 2019 г. № 363 «Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Доступная среда».

3 Приказ Федерального агентства морского и речного транспорта от 30 октября 2015 года № 115 «Об утверждении плана мероприятий Федерального агентства морского и речного транспорта по повышению значений показателей доступности для инвалидов объектов и предоставляемых на них услуг» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://mintrans.goy.ru/documents/2/4679>. – Дата доступа : 08.09.2024.

4 График уровня воды в реке Волга у г. Нижний Новгород [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.sntbugorok.ru/level/uroven-vody-v-volge-na-segodnya-u-nizhnego-novgoroda#graph>. – Дата доступа : 08.09.2024.

5 ГОСТ 34682.2–2020 (EN 81-41:2010). Платформы подъемные для инвалидов и других маломобильных групп населения. Требования безопасности к устройству и установке. Часть. 2. Платформы с вертикальным перемещением. – Введ. 2021.06.01. – М. : Стандартинформ, 2020. – 94 с.

6 Гордлеева, Ю. И. Модернизация причалов в соответствии с требованиями для маломобильных граждан населения (мгн) [Электронный ресурс] / И. Ю. Гордлеева, С. Д. Гордлеев // Транспорт. Горизонты развития. 2024 : материалы IV Междунар. науч.-пром. форума. ФГБОУ ВО «ВГУВТ». – 2024. – Режим доступа : https://vf-река-море.рф/2024/4_4pdf. – Дата доступа : 08.09.2024.

УДК 811.112.2

К ВОПРОСУ О ТЕКСТАХ ПО БЕЗОПАСНОСТИ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК ПРИ ОБУЧЕНИИ ЧТЕНИЮ НА ИНОСТРАННОМ ЯЗЫКЕ

Н. А. ГРИШАНКОВА

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Интенсивная работа над текстом, содержание которого уже известно, психологически не оправдана. Мы считаем, работа в группе в значительно большей степени, чем это обычно бывает, должна быть направлена на выработку у студентов тех речевых умений и навыков, которые являются одной из целей обучения, т. е. умение понимать незнакомый иноязычный текст.

Результаты этого опыта заинтересовали нас по трём причинам.

Во-первых, чтение и перевод текста, подготовленного дома, в аудитории УВО является нерациональным расходованием аудиторного времени. В ряде случаев нам приходилось замечать и ранее, что эпизодическое введение новых, незнакомых текстов по вопросам безопасности пассажирских перевозок вызывало большую заинтересованность и мобилизацию со стороны студентов; чтение новых по содержанию текстов было для них самопроверкой, выявлением своих возможностей в понимании незнакомой иноязычной информации. Необходимо оговориться, что введение в аудито-

рии незнакомых текстов по вопросам безопасности пассажирских перевозок отнюдь не исключает самостоятельной глубокой работы студентов над учебным текстом. Речь идет о контроле проделанной работы, а именно, о проверке знаний и умений на новом материале.

Во-вторых, на устном экзамене по иностранному языку мы предлагаем обучаемым, не пользуясь словарём, понять, прочитать вслух, перевести (частично) и пересказать незнакомый текст по специальности. Это требование вполне обоснованно, так как именно такое умение и нужно будет специалисту. Логически напрашивается вывод, что это умение мы и должны систематически вырабатывать в курсе обучения иностранному языку, целенаправленно тренируя навыки быстрой ориентации и отыскания логических связей в незнакомом тексте по вопросам безопасности пассажирских перевозок.

В-третьих, у нас возникло предположение (в дальнейшем не оправдавшееся), что, задавая на дом один текст для чтения и перевода и контролируя его усвоение по другому тексту приблизительно такого же объёма, мы можем получить существенный выигрыш в объёме читаемых текстов, возможно, даже вдвое. Поэтому кафедрой славянских и романо-германских языков издано пособие «Немецкий язык для инженера» для студентов 1 курса, изучающих специальность 1-37 02 «Железнодорожный транспорт» [1]. Пособие состоит из текстов по транспорту, снабжённых списками слов, подлежащих активному усвоению, лексических и грамматических упражнений и, что является самым главным, приложения к пособию, параллельных текстов, получивших условное название «дублей». «Тексты-дубли» имеют иное содержание, чем основные тексты, повторяют в основном (на 90–95 %) отобранный список-минимум слов основных текстов, включают все грамматические явления, подлежащие усвоению и частично лексику, не вошедшую в список-минимум. «Дубли», разумеется, опираются и на лексику всех предыдущих текстов, причем нередко гораздо основательнее, чем основной текст. Содержание «дублей» во многих случаях связано с содержанием основного текста (например, по теме «Перспективы развития транспортной системы», тексты «Европейская система обеспечения для безопасности движения поездов» и «Система сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ)» [2, с. 7, 51, 70].

Следует заметить, что работа по описываемому пособию [1] проводилась в группах, имеющих два занятия в неделю. За год обучения студентов по пособию «Немецкий язык для инженера» выявились как положительные стороны работы с «дублёрами», так и недостатки. Одновременно вскрылись связанные с этим методом трудности.

К преимуществам работы с незнакомым текстом следует в первую очередь отнести то, что она расширяет языковой опыт студента, давая ему возможность встретиться со знакомыми языковыми формами и узнавать их в новом контексте, причем не в изолированных предложениях (как это обычно бывает в упражнениях), а в логически связанных отрывках. Не менее важным, на наш взгляд, является сам процесс беспереводного понимания нового текста в аудитории, который приучает обучаемых вникать в смысл читаемого, мобилизуя при этом весь свой языковой «багаж», а также пользоваться языковой догадкой. По наблюдению экзаменационной сессии, студенты в большинстве своём показывают большую лёгкость и точность понимания текста, быстрее справляются с экзаменационными устными и письменными заданиями, чем год назад. Выросло число обучаемых, значительно превышающих принятую норму экзаменационной письменной работы, т. е. переводящих письменно до 2000 печатных знаков и больше в академический час.

Конечно, нельзя утверждать, что навык чтения и понимания текста у студентов улучшился лишь в связи с новым методом работы. Необходимо учесть, что в какой-то степени повысился уровень знаний у абитуриентов. К тому же, введя новое пособие во всех группах, изучающих немецкий язык по транспортной специальности, мы не выделили экспериментальных групп, и поэтому не располагаем цифровыми данными.

Следует отметить, что при работе по нашему пособию наблюдается значительная активность и интерес, проявляемые студентами при чтении текстов-«дублей» в аудитории. Кроме того, возросла ответственность обучаемых при самостоятельном переводе основных текстов пособия. Это связано с тем, что «дубль» можно хорошо прочитать и понять лишь после добросовестной работы над основным текстом.

Наибольшей трудностью, с которой мы встретились, был подбор «дублей», ибо найти текст, близкий по содержанию к основному и который включил бы большую часть слов основного текста, было крайне нелегко; но и найдя такой текст, авторы часто сталкивались с необходимостью его

адаптации, порой весьма существенной. Это требовало от составителей пособия хотя бы общего представления о научной проблеме, излагаемой в тексте.

Как показал опыт работы с пособием, введение текста-«дубля» для работы в аудитории не имеет каких-то принципиальных недостатков. Наоборот, оно оказалось очень целесообразным. Однако трудности подбора «дублей» могут быть серьезным препятствием при создании пособий для подобного рода работы.

Необходимо признать, что наши надежды на серьезное увеличение объема читаемого материала за счёт «обзорных дублей» оправдались только частично. Это объясняется довольно большим объемом текущих заданий по всем аспектам (упражнений в разговорной речи, грамматических и лексических упражнений и т. д.), что лишало нас возможности вводить текст-«дубль» на занятии после первой самостоятельной проработки студентами основного текста.

В заключение хотелось бы отметить, что языковой материал текста, который многократно читается и анализируется в группе, усваивается хуже, чем тот же самый материал, поданный в нескольких коротких и разных по содержанию текстах, каждый из которых читается в группе только один раз.

Обучение чтению и беспереводному пониманию текстов по вопросам безопасности пассажирских перевозок с использованием текстов-«дублей» может иметь успех лишь при условии, если «дубли» соответствуют следующим требованиям, а именно: а) уровень трудности тот же, что и основного текста; б) связность и логичность изложения; в) полное повторение грамматических явлений основного текста; г) полное или почти полное повторение слов из списка-минимума основного текста; д) включение ранее изученных грамматических явлений в лексику; е) отсутствие новых слов и выражений за исключением тех, значение которых явствует из контекста.

Соблюдая эти условия при подборе текстов-«дублей», мы считаем систематическое чтение нового текста по вопросам безопасности пассажирских перевозок в аудитории рациональным методом.

Список литературы

1 Гришанкова, Н. А. Немецкий язык для инженера : пособие / Н. А. Гришанкова, М. Н. Липская. – Гомель : БелГУТ, 2022. – 223 с.

2 Основные понятия и определения на железнодорожном транспорте : словарь-справочник по изучению железнодорожной терминологии на русском, английском, немецком, французском и испанском языках / Д. В. Захаров [и др.] ; под ред. Н. А. Гришанковой. – Гомель : БелГУТ, 2016. – 76 с.

УДК 628.9

ПЕРЕХОД К НОРМИРОВАНИЮ СРЕДНЕЙ ОСВЕЩЕННОСТИ ПРИ ИСКУССТВЕННОМ ОСВЕЩЕНИИ ПАССАЖИРСКИХ ПЛАТФОРМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТАНЦИЙ

И. С. ЕВДАСЁВ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

В книгах одного из ведущих советских светотехников Г. М. Кнорринга еще в 70-х гг. прошлого века отмечалось, что «нормирование при общем равномерном освещении минимальной, а не средней освещенности является устаревшей традицией, восходящей к 1928 г., когда создавались первые нормы гигиенического минимума» [1]. Однако эта практика для рабочих мест внутри зданий и части наружных территорий применяется в Республике Беларусь до сегодняшнего дня, о чем свидетельствует основной нормативный документ СН 2.04.03–2020 [2].

В других странах ЕАЭС уже начат переход к нормированию средней освещенности. Например, в 2013 г. в Российской Федерации введен в действие ГОСТ Р 55710–2013 [3] с нормами по средней освещенности рабочих мест. Правда эта попытка перехода не может быть признана удачной, так как параллельно с этим стандартом действует множество нормативных актов, в которых регламентируется нормирование минимальной освещенности. При этом сам стандарт разработан на базе европейского аналога EN 12464-1 (2011) «Свет и освещение. Освещение рабочих мест. Часть 1: Внутреннее освещение рабочих мест». Принципы нормирования в европейском стандарте направлены на создание моделирующего освещения «для объемного восприятия объектов, выявляющее глубину, контуры и текстуру объекта различения или человека» [3] и пока не нашли широкого применения при проектировании в странах ЕАЭС.

Более результативным шагом в переходе к нормированию средней освещенности в Российской Федерации является введение в 2017 г. новой редакции свода правил СП 52.13330.1216 [4]. Настоящий документ является обязательным к применению при проектировании зданий и сооружений различного назначения, мест производства работ вне зданий, площадок промышленных и сельскохозяйственных предприятий, железнодорожных путей площадок предприятий, наружного освещения городских и сельских поселений, автотранспортных тоннелей.

Беглый анализ редакции СП 52.13330 от 2011 г. с нормированием в помещениях минимальной освещенности и редакции 2016 г. с нормами средней освещенности для тех же помещений первоначально вызывает некоторое недоумение из-за большинства одинаковых значений норм для средней и минимальной освещенности при одинаковых условиях зрительной работы. Ответ этому обстоятельству можно найти в редакции указанного свода правил от 2016 г. (до введения изменения № 2): «минимальная освещенность на рабочих местах не должна отличаться от нормируемой средней освещенности в помещении более чем на 10 %». При таком отличии нормы минимальной и средней освещенности действительно могут быть приняты одинаковыми, правильней сказать статистически неразличимыми, ведь погрешность контроля освещенности в большинстве случаев будет сопоставима или даже несколько превосходить 10 %. Однако опыт проектирования показывает, что соблюсти отличие минимальной и средней освещенности в помещении в диапазоне 10 % практически невыполнимая задача. Свод правил СП 52.13330.2016 постоянно дорабатывается и в изменении № 2 от 29.01.2022 г. увеличены значения норм средней освещенности для жилых и общественных зданий на одну-две ступени.

Переход к нормированию средней освещенности начат, но при изменении редакций существующих нормативных актов под требования средней освещенности избежать ошибок не получается. Вероятно, такая же ошибка произошла при разработке и введении в странах ЕАЭС межгосударственного стандарта ГОСТ 34935–2023 «Освещение наружное объектов железнодорожного транспорта. Нормы и методы испытаний» [5]. В анализе этого стандарта остановимся только на одном примере – освещенность пассажирских платформ. В таблице 12 ГОСТ 34935–2023 указано, что освещенность пассажирских платформ станций и остановочных пунктов с повышенной интенсивностью пассажиропотока (более 2 млн человек в год) и телевизионным обзором должна составлять не менее 10 лк, а для станций и остановочных пунктов с меньшим пассажиропотоком – не менее 5 лк. В примечаниях к таблице указано что «нормируют среднюю освещенность» [5].

Неравномерность распределения освещенности (отношение минимальной к максимальной освещенности) на пассажирских платформах нормируется не менее 1:8, тогда минимальная освещенность при средней 5 лк и при допущении симметричного закона распределения этой величины будет равна 1,1. Тем не менее в действующих национальных технических нормативных правовых актах (ГОСТ Р 54984–2012 [6] в Российской Федерации, СТБ 55.127–2019 [7] в Республике Беларусь) минимальная освещенность на платформах нормируется 5 лк, т. е. примерно в 5 раз выше требований международного стандарта ГОСТ 34935–2023.

Если обратиться к истории развития норм освещенности для пассажирских платформ, то более низкие нормы минимальной освещенности применялись в Республике Беларусь до 2019 г., в Российской Федерации до 2012 г. Наименьшее значение нормы минимальной освещенности для пассажирских платформ составляло 2 лк для станций с малым размером пассажиропотока (до 100 тыс. чел. в год), что так же примерно в два раза выше требований международного стандарта ГОСТ 34935-2023. Следовательно, требования по нормам средней освещенности не могли появиться на основе развития нормативно-правовой базы стран ЕАЭС.

Может уровни этих норм заимствованы из результатов зарубежных исследований? Выше было отмечено, что переход к нормированию по средней освещенности как раз в Российской Федерации с такого заимствования и начинался путем переработки EN 12464-1. Обратимся ко второй части этого стандарта EN 12464-2 [8], который содержит нормы средней освещенности для пассажирских платформ (таблица 1).

Таблица 1 – Нормы средней освещенности платформ по требованиям EN 12464-2

Характеристика объекта	Норма средней освещенности, лк
Открытые платформы, очень небольшое количество пассажиров	5
Открытые платформы, небольшое количество пассажиров, например, сельские и местные поезда	10
Открытые платформы, среднее количество пассажиров, пригородные или региональные поезда	20
Открытые платформы, большое количество пассажиров, например междугородние перевозки	50

В европейских стандартах действительно содержится норма средней освещенности 5 лк, но только для пассажирских платформ с очень низким пассажиропотоком. Для платформ со средним и интенсивным пассажиропотоком в классификации национальных стандартов норма превышает требования ГОСТ 34935-2023 в 2–4 раза, а для повышенной интенсивности пассажиропотока – в 5 раз.

Приведенный анализ показывает, что на первых этапах долгожданного перехода к нормированию средней освещенности при искусственном освещении уже возникают и, вероятно, еще будут возникать ошибки, которые могут привести к значительному снижению безопасности на объектах железнодорожного транспорта в темное время суток. Избежать такой опасности в большинстве случаев поможет неформальный подход специалистов проектных организаций к разработке осветительных установок.

Список литературы

- 1 Кнорринг, Г. М. Светотехнические расчеты в установках искусственного освещения / Г. М. Кнорринг. – Л. : Энергия, 1973. – 200 с.
- 2 СН 2.04.03.2020. Строительные нормы Республики Беларусь. Естественное и искусственное освещение = Натуральнае і штучнае асвятленне. – Введ. 2020-10-30. – Минск : Минстройархитектуры, 2021. – 96 с.
- 3 ГОСТ Р 55710–201. Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений. – Введ. 2014-07-01. – М. : Стандартинформ, 2014. – 16 с.
- 4 СП 52.13330–2016. Свод правил «Естественное и искусственное освещение» : утв. приказом М-ва строит. и жил. ком. хоз. РФ от 07.11.2016 г. № 777/пр.; введ. 2017.05.08. – М. : Стандартинформ, 2017. – 116 с.
- 5 ГОСТ 34935–2023. Освещение наружное объектов железнодорожного транспорта. Нормы и методы испытаний = Асвятленне вонкавае аб'ектаў чыгуначнага транспарту. Нормы і метады кантролю. – Введ. 2024-09-01. – Минск : Евразийский совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2023. – 36 с.
- 6 ГОСТ Р 54984–2012. Освещение наружное объектов железнодорожного транспорта. Нормы и методы контроля. – Введ. 2013-01-01. – М. : Стандартинформ, 2013. – 23 с.
- 7 СТН БЧ 55.127–2019. Искусственное освещение наружных территорий и объектов железнодорожного транспорта. – Введ. 2019-10-07.
- 8 BS EN 12464-2:2014. Light and lighting – Lighting of work places Part 2: Outdoor work places.

УДК 656.1

ОСНОВЫ БЕЗОПАСНОСТИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ СРЕДСТВ ПЕРСОНАЛЬНОЙ МОБИЛЬНОСТИ

С. В. ЖИРОМСКИЙ

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

С развитием технологий на территории Республики Беларусь появилось большое количество устройств и транспортных средств, которые на данный момент не подпадают под категорию того или иного вида транспорта.

СПМ – средства персональной мобильности (современные электросамокаты, моноколеса, сигвеи, электровелосипеды и иные средства передвижения) становятся все более популярным средством передвижения в Беларуси, и за этим ростом стоит их простое преимущество – удобство и забота об окружающей среде. Они представляют собой альтернативу автомобилям и общественному транспорту, предоставляя возможность быстрого перемещения по городу без ущерба для экологии.

Однако, несмотря на их преимущества, внедрение нового типа транспорта также влечет за собой определенные проблемы и вопросы.

Из-за насыщенности транспортными средствами трасс, а нынче и пешеходных дорожек, дворовых территорий, следует отметить, что такой транспорт может быть достаточно опасным, если им управляет ребенок, подросток или даже малоопытный взрослый человек. Не рассчитав свои силы и траекторию поворота или склона, можно развить значительную скорость, что создаст высокую вероятность потери управления и приведет к непоправимым последствиям. Можно наблюдать, как никто из пользователей таких мобильных транспортных устройств, выезжая на дорогу, не использует защитную экипировку, чем подвергает свою жизнь и окружающих опасности.

Данные средства передвижения не оборудованы эффективными системами безопасности, однако, вполне способны развивать скорость от 20 до 80 км/ч, в зависимости от мощности электрической силовой установки. Раньше были простые самокаты, теперь же из-за скорости мы получаем высокоэнергетические травмы (когда травматический фактор имеет высочайшую величину силы). Именно это представляется опасным для всех участников дорожного движения. Также требуется

решение вопросов, связанных с парковкой и обеспечением безопасности для пешеходов и других участников дорожного движения.

За 2023 год при помощи видеорегистраторов в столице Беларуси было выявлено 150 случаев пересечения дороги СПМ с превышением скорости и приблизительно столько же случаев пересечения дороги на красный свет, около 120 случаев других нарушений: езды в неположенном месте, отсутствия светоотражателей и световой оптики. Количество нарушений (в сравнении со статистикой за 2022 год) возросло более чем в 6 раз, что связано с ростом популярности персонального эко-транспорта.

Водителям СПМ стоит передвигаться по тротуарам, пешеходным и велосипедным дорожкам, а также в местах, закрытых для движения транспорта (в парках, скверах, дворах и на специально отведенных для катания площадках) не превышая 25 км/ч. Должна быть исправна тормозная система и рулевое управление при их наличии. Также на электросамокатах и скутерах необходимо наличие фары или фонаря в случае движения в темное время суток или в условиях недостаточной видимости. Не стоит забывать соблюдать безопасность и препятствовать движению пешеходов, так как они имеют преимущество. Для того, чтобы пересечь проезжую часть, необходимо заблаговременно снизить скорость. Она не должна быть больше, чем у идущего шагом пешехода – 3–5 км/ч.

Несмотря на это, необходимо соблюдать все меры предосторожности, чтобы не подвергать себя и других опасности:

- использовать защитную экипировку;
- выбирать для катания ровную поверхность;
- соблюдать безопасную дистанцию до любых объектов или предметов во избежание столкновений и несчастных случаев;
- использовать только для перевозки одного человека;
- сохранять безопасную скорость, останавливаться плавно и аккуратно;
- не пользоваться во время движения мобильным телефоном, наушниками и другими гаджетами;
- отказаться от управления при недостаточной освещенности, в узких пространствах, при больших скоплениях людей, а также в местах, где много помех и препятствий;
- своевременно заряжать аккумулятор устройства;
- носить световозвращающие элементы;
- не использовать СПМ в состоянии опьянения или при плохом самочувствии.

Список литературы

- 1 О дорожном движении : Закон Респ. Беларусь от 29 декабря 2023 г. № 329-3 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=H12300329>. – Дата доступа : 29.08.2024.
- 2 О совершенствовании организации дорожного движения : Указ Президента Республики Беларусь от 18.04.2022 № 145 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=P32200145>. – Дата доступа : 29.08.2024.
- 3 Минск-Новости [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://minsknews.by/kak-sleduet-peredvigatsya-na-spm-i-v-kakih-sluchayah-sheringovaya-kompaniya-navsegda-blokiruet-klientov/>. – Дата доступа : 29.08.2024.
- 4 Капский, Д. В. Некоторые аспекты применения средств персональной (индивидуальной) мобильности / Д. В. Капский, Е. Н. Кот // Автотракторостроение и автомобильный транспорт: сб. науч. трудов / редкол. : Д. В. Капский (отв. ред.) [и др.]. В 2 т. Т. 2. – Минск : БНТУ, 2021. – С. 160–165.

УДК 656.222.3

ВАГОНЫ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ РЖД: ШАГ НАВСТРЕЧУ КОМФОРТУ И БЕЗОПАСНОСТИ

Ю. М. ЗЕМСКОВ, Л. С. КУЩЕНКОВА

Нижегородский институт путей сообщения – филиал

*Приволжского государственного университета путей сообщения, г. Нижний Новгород,
Российская Федерация*

Российские железные дороги (РЖД) активно внедряют вагоны нового поколения, которые отличаются от своих предшественников повышенным комфортом, безопасностью и современными технологиями.

Ключевые особенности вагонов нового поколения РЖД:

Улучшенная безопасность. Внедрены системы ABS и EBS (антиблокировочная и электронная тормозные системы), электронное управление тормозами, а также системы контроля за состоянием вагона в реальном времени.

Повышенный комфорт. В новых вагонах используются более эргономичные сиденья с регулировкой наклона спинки, розетки для зарядки гаджетов, кондиционирование и вентиляция воздуха, Wi-Fi, а также увеличенное пространство для багажа.

Современные материалы. В вагонах применяются легкие и прочные материалы, что позволяет снизить вес состава и повысить его энергоэффективность.

Экологичность. РЖД активно внедряет электрические поезда и вагоны, работающие на биотопливе, чтобы снизить выбросы вредных веществ в атмосферу.

Примеры вагонов нового поколения:

Скоростной поезд «Сапсан». Современный высокоскоростной поезд, который курсирует между Москвой и Санкт-Петербургом. Вагоны оснащены комфортабельными креслами, Wi-Fi, системой кондиционирования, баром и другими удобствами.

Электрический поезд «Ласточка». Современный электропоезд, который курсирует по многим направлениям в России. Вагоны «Ласточки» отличаются комфортным интерьером, системами безопасности, информационными табло и Wi-Fi.

Вагон-ресторан «Премиум». Вагоны-рестораны нового поколения, предлагающие пассажирам широкий выбор блюд и напитков.

Спальные вагоны «СВ». Современные спальные вагоны, оборудованные двухместными купе с отдельными душевыми кабинами и туалетами.

Несмотря на значительный прогресс в развитии вагонного хозяйства, РЖД сталкивается с рядом вызовов.

Вагоны нового поколения: вызовы и перспективы

Внедрение вагонов нового поколения – это не просто обновление подвижного состава, а стратегический шаг, направленный на повышение комфорта, безопасности и экологичности железнодорожных перевозок. Однако этот процесс сталкивается с рядом вызовов, решение которых определит будущее железнодорожного транспорта.

Финансирование. Модернизация вагонного парка – дорогостоящий процесс, требующий значительных инвестиций. Необходимость обновления состава сталкивается с ограниченным бюджетом и необходимостью финансировать другие проекты в сфере железнодорожного транспорта.

Инновации и технологии. Разработка новых технологий для вагонов требует постоянных инвестиций в научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы. Это охватывает создание новых материалов, систем безопасности, комфорта, а также внедрение «умных» технологий, автоматизации и экологически чистых решений.

Инфраструктура. Новые вагоны требуют соответствующей инфраструктуры. Необходимо обновить железнодорожные пути, станции, депо, чтобы обеспечить эффективное использование нового подвижного состава.

Кадры. Для обслуживания новых вагонов требуется квалифицированный персонал, обладающий знаниями и навыками работы с современными технологиями. Необходима программа обучения и переподготовки работников железнодорожной отрасли.

Экологические требования. Внедрение экологически чистых технологий в вагонах требует строгого соблюдения экологических нормативов и стандартов. Это ограничивает выбор материалов и технологий, а также увеличивает стоимость разработки и производства вагонов.

Перспективы:

Повышение безопасности. Внедрение новых систем безопасности, таких как ABS, EBS, электронное управление тормозами, а также системы контроля за состоянием вагона в реальном времени, позволит значительно снизить риск аварий и повысить безопасность пассажирских и грузовых перевозок.

Увеличение комфорта. Новые вагоны предлагают пассажирам более комфортные условия для путешествий: удобные сиденья, кондиционирование, Wi-Fi, розетки, увеличенное пространство для багажа. Это повысит привлекательность железнодорожных перевозок и увеличит спрос на этот вид транспорта.

Энергоэффективность. Применение легких материалов, современных технологий и экологически чистых решений позволит снизить потребление топлива и эмиссию вредных веществ, что соответствует целям по снижению влияния железнодорожного транспорта на окружающую среду.

Развитие высокоскоростных перевозок. Новые вагоны позволят развить сеть высокоскоростных железнодорожных линий, что ускорит перемещение пассажиров и грузов и создаст новые возможности для экономического развития регионов.

Интеграция с «умными» технологиями. Внедрение «умных» технологий, таких как автоматизация, дистанционное управление, мониторинг состояния вагона в реальном времени, позволит оптимизировать работу железнодорожного транспорта, повысить эффективность и безопасность перевозок. В целом внедрение вагонов нового поколения – это сложный процесс, который сопряжен с вызовами и перспективами. Успешное решение этих задач позволит трансформировать железнодорожный транспорт в более безопасный, комфортный, экологичный и эффективный вид перевозки пассажиров и грузов.

РЖД стремится к тому, чтобы российские пассажиры могли путешествовать в комфортных и безопасных условиях. Внедрение вагонов нового поколения – важный шаг в этом направлении.

Список литературы

- 1 Морчиладзе, И. Г. Новый вагон со съемным кузовом / И. Г. Морчиладзе // Железные дороги мира. – 2006. – № 2. – С. 32–33.
- 2 Engelmann, J. Новые вагоны грузовой компании RAILION DEUTSCHLAND / J. Engelmann // Железные дороги мира. – 2006. – № 1. – С. 50–55.
- 3 Галиев, И. И. Всесторонне учитывать недостатки предыдущих конструкций / И. И. Галиев, В. А. Нехаев, В. А. Николаев // Железнодорожный транспорт. – 2006. – № 5. – С. 55–58.
- 4 Бороненко, Ю. П. Опыт проектирования трехэлементных тележек / Ю. П. Бороненко, А. М. Орлова // Железнодорожный транспорт. – 2006. – № 5. – С. 58–62.

УДК 656.052.8

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПОДГОТОВКИ ВОДИТЕЛЕЙ КАК МАРШРУТНЫХ ПАССАЖИРСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ, ТАК И ЛИЧНОГО ТРАНСПОРТА

Д. В. КАПСКИЙ, Д. В. РОЖАНСКИЙ, С. Л. ЛАПСКИЙ, А. В. КОРЖОВА
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Решающую роль в формировании водителя играет учебная организация, закладывающая в своего воспитанника основы тех знаний и навыков по управлению автомобилем, которые затем проявляются в дорожном движении. Высокая интенсивность движения, особенно в больших городах, необходимость переработки значительного объема информации в сжатые сроки для выработки единственно правильного решения предъявляют к современному водителю автотранспорта высокие требования.

К сожалению, далеко не всегда выпускник автоучебной организации, успешно сдавший экзамены в ГАИ, удовлетворяет этим требованиям. Но если кандидат в водители сдал в ГАИ установленные экзамены, т. е. подтвердил, что его знания и навыки соответствуют предъявляемым требованиям, и при этом неуверенно чувствует себя на дороге за рулем автомобиля, – это свидетельствует о том, что существующие критерии и методы оценки степени подготовленности водителя неадекватны. В ГАИ основным средством для изменения указанной ситуации в лучшую сторону считают ужесточение правил приема экзаменов и упор на запоминание текста («зазубривание» теста / «набивание руки» «до автоматизма»). Жизнь показала неэффективность такого подхода.

Усложнение теоретического экзамена выше разумного предела дает эффект противоположный ожидаемому. Чем сложнее теоретический экзамен в ГАИ, тем большая доля времени теоретического обучения тратится в лучшем случае на зазубривание текста Правил дорожного движения, а в худшем – на тренировку в решении экзаменационных задач на компьютере, и тем в большей степени изучение Правил дорожного движения превращается в их заучивание.

Следует признать тот факт, что в силу указанной выше причины, в автоучебных организациях не столько обучают Правилам дорожного движения, сколько готовят к прохождению экзаменаци-

онных испытаний в ГАИ. В этом-то и кроется основной недостаток теоретической подготовки будущих водителей. Методика теоретического обучения, основанная на выборе из ряда предложенных вариантов правильного поведения в заданной дорожно-транспортной ситуации, не подходит для подготовки водителей автотранспорта. Ведь на дороге водителю не предъявляют варианты решений! Он сам должен выработать правильную модель поведения в сложившейся дорожной обстановке. В процессе обучения будущих водителей необходимо делать упор на развитие навыков самостоятельного принятия решений, а не на пассивный выбор линии поведения из ряда предложенных кем-то вариантов.

Итак, для того чтобы методика теоретического обучения будущих водителей автотранспорта соответствовала современным требованиям, необходимо, прежде всего, изменить методику теоретического экзамена в ГАИ. Следует отметить, что в ГАИ тоже пытаются экспериментировать, ищут новые формы проведения экзаменов. Например, в этом году была опробована устная форма приема теоретического экзамена. Правда, попытка оказалась неудачной и вызвала много нареканий как со стороны испытуемых, так и со стороны автоучебных организаций, поскольку предварительно не были разработаны четкая методика проведения устного экзамена и критерии оценки знаний.

Чтобы изменить методику теоретического экзамена, экзаменационная компьютерная программа должна содержать, преимущественно, вопросы, относящиеся к различным дорожно-транспортным ситуациям, описывающим реальный процесс. Ответы следует формировать по принципу повествования последовательности действий испытуемого в этой реальной ситуации, а не выбора из нескольких, предлагаемых программой правильного и неправильных ответов, которые могут «всплыть» в неподходящий момент в процессе дорожного движения после получения водительского удостоверения. К минимуму должно быть сведено количество чисто теоретических вопросов, доля которых неоправданно высока в существующих экзаменационных программах. В перспективе возможно создание компьютерных программ, которые в реальном масштабе времени будут воспроизводить на экране монитора дорожно-транспортную ситуацию, а экзаменуемый сможет своими действиями влиять на ее развитие.

Обучение практическому вождению автомобиля также требует внесения существенных корректив с учетом проникновения ИТ-гаджетов в реальную жизнь. Следует шире использовать варианты, связанные с применением дополненной или смешанной реальности при подготовке и формировании практических навыков вождения. Особенно это решение очевидно для крупногабаритных транспортных средств, вождение которых сопряжено с необходимостью наличия автодромов большей вместимости, чем требуемые для категории «В». Это также будет востребовано при переподготовке водителей троллейбусов, автобусов, трамваев и иных маршрутных пассажирских транспортных средств.

Наиболее сложным элементом экзамена на площадке является постановка автомобиля на стоянку боковой стороной, так называемая «диагональная парковка». Конечно, важно научить будущего водителя быстро и правильно парковаться в ограниченном пространстве, но в настоящее время на экзамене используются чрезмерно заниженные размеры габаритов диагональной парковки. На площадке ГАИ длина бокса для парковки определяется как длина автомобиля плюс полтора метра. Этот норматив не обоснован никоим образом. Ведь возможность парковки боковой стороной в ограниченном пространстве зависит помимо длины автомобиля еще и от величины минимального радиуса поворота, базы автомобиля, ряда других факторов. Полученные теоретические зависимости и выполненные расчеты показали, что при существующем методе определения длины бокса для диагональной парковки это упражнение можно выполнить не на всяком автомобиле.

Часы, которые тратятся на овладение навыками диагональной парковки, гораздо с большей пользой можно было бы потратить на приобретение будущим водителем чувства уверенности при управлении автомобилем в плотном транспортном потоке.

Необходимо пересмотреть учебные планы и, уменьшив долю теоретических занятий, существенно увеличить время обучения вождению автомобиля и не на площадке, а в транспортном потоке. Иначе отличник-выпускник автошколы, прекрасно разбирающийся во всех тонкостях и нюансах Правил дорожного движения, будет чувствовать себя беспомощным за рулем автомобиля на городских улицах.

Проблема повышения безопасности дорожного движения не может быть решена простым волевым путем, т. е. путем принуждения всех к заучиванию текста Правил дорожного движения. Пора отказаться от стереотипа, что знание Правил дорожного движения и выполнение их требований – это одно и то же. Проблема соблюдения любых законов, норм и правил, в том числе и Правил до-

рожного движения, – это проблема социальная, которая непосредственно связана с уровнем цивилизованности общества.

Необходимо отметить, что одним из важнейших направлений повышения безопасности на наших автомобильных дорогах и улицах является изменение учебных планов, программ и методик обучения будущих водителей автомобильного транспорта, для чего в первую очередь необходимо изменить экзаменационные программы и правила проведения квалификационных экзаменов в ГАИ.

УДК 656.2

ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СКОРОСТНОГО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА В МЕГАПОЛИСАХ

ЛЮ КАННИ

*Гуанчжоуский профессионально-технический колледж железнодорожного транспорта,
Китайская Народная Республика*

Активная миграция населения в пределах стран по целому ряду причин обусловила рост числа жителей мегаполисов. В результате сформировались мощные городские агломерации с устойчивыми транспортными связями на направлениях «мегаполис – пригород». Однако последовавшее за этим резкое увеличение пассажиропотоков привело к необходимости усиления пропускной способности железнодорожных линий на пригородных направлениях и формированию структуры городской железной дороги, которая показала себя как наиболее эффективный способ перевозки пассажиров в мегаполисе и в целом в агломерации. При этом следует отметить, что железные дороги, в том числе и скоростные, следует рассматривать в городе как один из взаимодействующих видов транспорта, в числе которых другие наземные виды и метро. Поэтому городские железнодорожные сети развиваются по двум основным направлениям [1]:

– интеграции городской железной дороги, в первую очередь с метрополитеном, как обладающим наибольшей пропускной и провозной способностями. Примером такой интегрированной транспортной системы является городская сеть Нью-Йорка, которая обеспечивает наибольшие удобства для пассажиров благодаря компактному расположению всех транспортных устройств, что позволяет достигать посадочных платформ поездов и метро за минимальное время;

– автономизации отдельных транспортных сетей с проектированием дополнительных маршрутов передачи пассажиропотока от одного вида транспорта другому. Связь «железная дорога – метрополитен» Сеула относится к такой категории, требующей организации пересадок с использованием многочисленных лестниц, эскалаторов, траволаторов, соединяющих два вида транспорта. На раннем этапе развития метрополитена в Сеуле самой важной задачей было обеспечение максимальной пропускной способности, но после изменения требований к транспортной системе как клиентоориентированной среде последовал приоритет предоставления качественных транспортных услуг пассажирам, что привело к необходимости решения целого ряда проблем технического и технологического характера. В первую очередь возникла задача необходимости выявления значимых факторов, допускающих формирование *рационального трансфера* как операционной среды передачи пассажиропотока с одного вида транспорта на другой.

Для примера Сеула с перегруженными городскими транспортными маршрутами рассматривается возможность реконструкции пересадочного узла с сооружением новой линии метрополитена большого заглубления Исходя из этого возникает необходимость обеспечения связи новой линии метро с существующей городской железной дорогой. Второй задачей является оценка целесообразности запуска по линии железной дороги высокоскоростного транспорта, который в тесном взаимодействии с «глубоким» метро позволит существенно сократить потери времени пассажиров на поездки. Предполагается, что для условий мегаагломерации Сеула глубокое подземное метро Great Train Express позволит существенно разгрузить транспортный узел с достижением центральных районов мегаполиса с пригорода за 30 минут с учетом пересадки [2].

В других мегаполисах мира также возникают подобные проблемы при перегрузке транспортных артерий, однако их решение в каждом конкретном случае имеет свои особенности. Например, для сложившейся системы организации и технического оснащения пересадочных узлов в Шэньчжэне возникает задача выбора между скоростными и нескоростными поездами. Полученные исследователями соответствующие логит-модели [3] указывают на эффективность их использования и позволяют определить места остановки железнодорожного транспорта в городе, учитывающие время пассажира в пути и расстояния поездки. Использование в логит-моделях генетических алгоритмов позволяет проводить комплексный анализ работоспособности цифровой имитации с привязкой к эксплуатационным и экономическим критериям (учитывать затраты и экономию электроэнергии, используемой на разгоны и замедление поездов-экспрессов при преодолении различного профиля участков; оценивать влияние общей загрузки участка другими поездами; варьировать тарифы на поездки в зависимости от времени суток, интенсивности нагрузки на линию и др.).

В Сеульском транспортном узле был проведен эксперимент, в ходе которого пассажиры были проинформированы о необходимости выбора одного из двух вариантов транспортного обслуживания, которые отличались длительностью времени и поездки, и ожидания (сокращение общего времени поездки, но с увеличением времени ожидания в пересадочном узле, и наоборот). По варианту глубокого подземного метро Great Train Express пассажиры получили исчерпывающую информацию (маршруты и длительность времени движения до посадочных платформ, по переходам с использованием эскалаторов и лестниц, графики прибытия поездов метро по часам суток и др.).

Результаты обработки полученных транспортных карт показали, что предпочтения пассажиров по выбору варианта транспортного обслуживания зависят от целого ряда факторов, в числе которых возраст респондентов, величина их заработной платы, назначение совершаемой поездки, реальная населённость вагонов поездов по текущему маршруту данного вида транспорта [4].

Таким образом, эффективность использования скоростных и высокоскоростных поездов на маршрутах городской агломерации оказывается неоднозначной. При введении в эксплуатацию вариантов с глубоким заложением линий метро пассажиры предпочитают ожидать наземные виды транспорта, чем пользоваться переходами, лестницами, эскалаторами на линии подземного метро, даже если это сокращает их время ожидания (проблема вертикального доступа). И только при значительных перегрузках наземного транспорта пассажиры начинают активно пользоваться «глубоким» метро.

В разработанные логит-модели был введен дополнительный весовой коэффициент допустимого времени нахождения пассажира вне транспортного средства (времени ожидания), который играет роль своеобразного балансира, указывая на предел качества транспортного обслуживания. При этом остаётся открытым вопрос, если этот балансир качнётся в сторону «негативных» значений, то не будет ли это означать, что пассажиры начнут искать другой вид транспорта для совершения своих поездок (например, скоростной трамвай)?

Оказалось, что выбор скоростного вида транспорта указывает на большее влияние ожиданий или дополнительного времени в пути на железнодорожном транспорте, чем при использовании автомобиля. Такой факт может означать, что следует определённым образом организовать работу городских видов транспорта, чтобы пассажир не испытывал психологический дискомфорт от ожиданий. Если нельзя изменить графики движения поездов, сокращающие продолжительность ожиданий пассажиров, то следует использовать другие компенсирующие усталость приёмы (например, эффектный визуальный дизайн станции, установку на посадочных платформах метрополитена и других городских видов транспорта зеркал, больших мониторов для демонстрации рекламных роликов, анонсов, синопсисов, логлайнов новых фильмов и др.).

Как известно, эффективным решением, исключая перегрузку маршрутов следования пассажиров в часы пик, является подключение дополнительных технических средств (турникетов, эскалаторов, траволаторов), и при этом важно, чтобы пассажиры знали о таких ресурсах (например, из напольных информационных стендов), что способствует повышению их уверенности в надёжности и безопасности в первую очередь подземного метро, а следовательно, способствует преодолению психологического дискомфорта вертикального доступа и повышает эффективность комплексного использования пассажирских видов транспорта в пересадочном узле.

Список литературы

- 1 **Vuchic, V. R.** *Urban Transit: Operations, Planning and Economics* / V. R. Vuchic. – Wiley : Hoboken, NJ, USA, 2005.
- 2 *Travel Changes and Transportation Policy Issues by Construction of Metropolitan Express Railway in Korea*; Krihs Special Report 57; Korea Research Institute of Human Settlement: Yeongigun, Korea, 2020.
- 3 *Stop Plan of Express and Local Train for Regional Rail Transit Line* / Q. Luo [et al.]. – *J. Adv. Transportation*, 2018. – P. 1–11.
- 4 **Baek, J.** *An investigation into passenger preference for express trains during peak hours* / J. Baek, K. Sohn. – *Transportation*, 2016. – P. 623–641.

UDC 654.6.4

RESEARCH ON THE AVERAGE MINIMUM HEADWAY OF NON-OVERTAKING SECTIONS IN HIGH-SPEED RAILWAYS

LIU KANGNI

GuangZhou Railway Polytechnic, Chinese People's Republic

With the rapid development of high-speed railways in China, the backbone network of high-speed railways has been basically formed, and the sharp increase in passenger traffic has led to the capacity of some sections of busy high-speed railways approaching saturation [1].

Due to the differences in transport objects, the capacity of passenger and freight mixed railway lines is maximized by fully utilizing existing facilities. However, the capacity of high-speed railways is influenced not only by facilities but also closely tied to passenger flow. For passenger and freight mixed railway lines, freight trains can be flexibly scheduled for stops and overtaking, resulting in a relatively flat timetable. In contrast, high-speed railways, which serve passengers, have certain requirements for transport service quality, and their capacity has the following characteristics:

1 The passenger flow section is the unit for calculating the capacity of high-speed railways. Due to the inability to flexibly arrange stops and overtaking, which is constrained by passenger demand, the capacity of high-speed railways should be described using the passenger flow section as the unit.

2 The capacity of high-speed railways has a strong time-of-day characteristic. Given the clear peak and off-peak periods in passenger flow, it is highly practical to calculate the capacity of high-speed railways for specific time periods.

3 The effectiveness of the capacity of high-speed railways. The capacity of high-speed railways must be combined with passenger demand; only the capacity that meets passenger demand is considered effective. Otherwise, it is deemed ineffective capacity.

Currently, three methods are commonly used to calculate railway capacity both domestically and internationally: computer simulation, deduction coefficient method, and average minimum headway method [2]. While computer simulation has the function of graphical analysis and calculation, the large number of feasible solutions generated by computer layout makes it difficult to compare and optimize [3]. The deduction coefficient method is widely used in China for railway capacity calculation. This method is based on the capacity of parallel running diagrams and calculates the capacity of non-parallel running diagrams by computing the deduction coefficients for different types of trains [4]. However, the deduction coefficient method calculates the full capacity of a tightly packed diagram, which is rigid and does not accurately reflect the actual utilization of high-speed railway capacity. The average minimum headway method, commonly used in Germany and Western European countries, emphasizes the quality of train operations. It is a flexible capacity calculation method that considers a certain buffer time based on the structural relationship between train operation lines. In principle, this method can accurately calculate the capacity utilization of China's high-speed railways and effectively improve operational service quality [5]. Given that the foreign approach of using sections as capacity calculation units does not suit the passenger characteristics of China's high-speed railway sections, it is urgent to study the minimum headway of high-speed railway sections using the principles of this method, making it applicable to the calculation of average minimum headway capacity for China's high-speed railways.

Zhao Dong and Hu Sij [6] developed a new method for calculating the capacity of high-speed railways based on the principle of calculating the average minimum headway between trains. However, the minimum headway is still calculated on a section-by-section basis, failing to reflect the characteristics of high-speed railway passenger flow sections. Wu Xu, Cui Yanping, et al. [7] analyzed the average minimum headway for sections of high-speed railways without overtaking, but their analysis was limited to some stopping patterns of operating train sets, failing to derive the average minimum headway for any stopping pattern. Chen Weidong [8] compared the applicability of the average minimum headway method for passenger and freight mixed lines and high-speed railways, but the calculation of the minimum headway still relies on sections. In summary, the current analysis of the average minimum headway method is mainly based on the average minimum headway between sections, which cannot adapt to the characteristics of high-speed railway passenger flow sections, leading to poor practicality of the method. The calculation of the average minimum headway for sections is influenced by various factors such as train stopping patterns, train types, and the number of intermediate stations, and has been primarily qualitative in the past, lacking quantitative mathematical description. This paper starts with sections of high-speed railways without overtaking, analyzes the stopping patterns of operating train sets, and derives a method for calculating the average minimum headway for high-speed railway sections, significantly improving the applicability of the average minimum headway method in the capacity calculation of high-speed railways, which is of great significance for the market-oriented development of China's high-speed railways.

Reference

- 1 **Luo, Sheng.** Study on the Average Minimum Headway for Non-Overtaking Sections of High-Speed Railways / S. Luo, X. Jian, T. Feng // Comprehensive Transportation. – 2024. – No 46 (07). – P. 89–94.
- 2 **Miao-Miao, L.** High-Speed Railway Carrying Capacity Calculation Method / L. Miao-Miao, N. Shao-quan, C. Ding-jun // Journal of Transportation Engineering and Information. – 2016. – № 14 (1). – P. 19–24.
- 3 **Duan, J.** Research on Improvement of High-Speed Railway Throughput Capacity Calculation Method / J. Duan. – Chengdu : Southwest Jiaotong University, 2012.
- 4 **Leeuw, F.** The Concept of Capacity / F. Leeuw // Publications of the American Statistical Association. – 1962. – Is. 57 (300). – P. 826–840.
- 5 **Peng, Q.** Transport Organization of Passenger Dedicated Lines / Q. Peng. – Beijing : Science Press, 2007.
- 6 **Zhao, D.** A New Method for Calculating the Throughput Capacity of High-Speed Railway Sections / D. Zhao, S. Hu // Journal of the China Railway Society. – 2018. – Is. 9. – P. 6.
- 7 Calculation Method for the Through Capacity of High-Speed Railway Sections without Overtaking / X. Wu [et al.] // China Railway Science. – 2015. – Is. 5. – P. 6.

УДК 656.214

ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕВОЗОК ПАССАЖИРОВ НА БЕЛОРУССКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГЕ

А. А. МИХАЛЬЧЕНКО

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

В. С. КОЦУР

Белорусская железная дорога, г. Минск

Существующая транспортная маршрутная сеть Белорусской железной дороги обеспечивает перевозки пассажиров в международном, межрегиональном, региональном и городском видах сообщений.

Актуальное расписание движения поездов в международном сообщении предусматривает направление пассажирского сообщения с городами, расположенными в России. При выполнении перевозок в международном сообщении используются поезда экономкласса и бизнес-класса. Это позволяет расширить доступ к транспортным услугам в международном сообщении гражданам Беларуси и России с различным достатком. На международных маршрутах применяются поезда с ло-

комотивной и мотор-вагонной тягой. Особой актуальностью у пассажиров пользуются поезда бизнес-класса «Ласточка». Они находятся в движении между Минском и Москвой всего 7 ч и отправляются в обоих направлениях зеркально утром и вечером. При этом тариф проезда намного ниже, чем при проезде в обычных поездах с локомотивной тягой. Для пассажиров, у которых есть необходимость прибытия в Минск и Москву в утренний период суток, предлагаются ночные поезда с высоким уровнем комфорта при проезде. Необходимо отметить предоставление пассажирам мест в поездах, следующих в зоны массового отдыха в России – Сочи, Адлер, Анапу с удобным прибытием на конечные пункты.

Межрегиональные пассажирские перевозки в сообщении Беларуси организованы по основным пассажирообразующим направлениям в прямом и беспересадочном сообщении. Пассажирам представлена возможность проезда в межрегиональном сообщении между областными центрами и столицей государства, а также между областными центрами страны и городами республиканского подчинения. Для перевозок пассажиров в межрегиональном сообщении используются в ночном сообщении поезда с локомотивной тягой, а в дневном – современные электропоезда и дизель-поезда повышенной комфортности. В ночном сообщении применяется расписание движения поездов по системе «Ночь-утро» с отправлением из областных центров в вечерний период (в 22–23 ч) и прибытием в Минск и областные центры в утренний период (не позднее 7 ч). С учётом того, что период прибытия на конечный пункт и тариф на проезд удобны для пассажиров, эти поезда пользуются популярностью у населения.

Вторая группа поездов национального железнодорожного пассажирского формата включает поезда, назначаемые в дневной период обращения. Это поезда бизнес-класса. Поездки выполняются в комфортабельных электро- и дизельных поездах современной конструкции. Часть поездов следует без остановок по промежуточным пунктам, что позволяет обеспечить их прибытие на конечные пункты назначения не позднее 10 ч. В обратном направлении эти поезда отправляются из начальных пунктов в районе 19 ч и прибывают в пункт назначения в период работы городского транспорта. Такое расписание движения поездов является удобным для пассажиров и придерживается основных системных принципов интегрированной логистики пассажирских перевозок с завершающим циклом поездки пассажира.

При проезде в международном и межрегиональном видах сообщения Белорусская железная дорога предлагает пассажирам удобные каналы самообслуживания по оформлению проездных документов. Потребителю доступно оформление электронных проездных документов, как на официальном сайте Белорусской железной дороги, так и в мобильном приложении интернета. Такая услуга пользуется большим спросом, особенно у молодёжи.

Выполнение региональных (ранее они назывались пригородные) перевозок носит массовый характер. Их объём превышает размеры перевозок в международном и межрегиональном видах сообщения в 10 раз. Однако следует отметить высокий уровень убыточности этого вида сообщения для железной дороги. В мировой практике этот вид сообщения является также убыточным. Окупаемость расходов при его выполнении составляет в среднем 18–25 %. Остальную часть убытков погашает бюджет государства. При этом погашается не финансовая часть убытков, а материальная их часть: топливно-энергетические ресурсы на эти перевозки отпускаются по льготным тарифам (в 2–3 раза от их стоимости или по себестоимости); приобретение подвижного состава производится за счёт бюджета у национальных предприятий-производителей по себестоимости; оплата стоимости коммуникаций, используемых для социально значимых перевозок, не производится. Она погашается из прибыли по другим видам деятельности железной дороги при льготном налогообложении самой прибыли железнодорожной администрации.

На Белорусской железной дороге используется вид сообщения – городские перевозки. Они выполняются между г. Минском и городами-спутниками на станциях Смолевичи, Руденск, Беларусь. Это новый вид сообщения, который стал популярным у жителей этих населённых пунктов.

Пассажирские перевозки следует рассматривать как важное направление в современной транспортной отрасли. Они включают в себя транспортировку пассажиров и управление персоналом железной дороги, являются неотъемлемой частью коммерческой и общественной сфер общества страны. Они относятся к процессу перевозки людей из одного места в другое. Это может включать туризм, бизнес, образование, медицинское обслуживание и другие аспекты. Для осуществления перевозок используются различные виды транспорта. При их выполнении различными видами

транспорта имеются ограничения: на воздушном транспорте более 60 % граждан по физическим и медицинским показаниям не могут его использовать; автомобильный транспорт имеет ограничения по климатическим условиям его использования. Железнодорожный транспорт таких ограничений не имеет. Поезда не имеют преимуществ в скорости и эффективности, но они соответствуют строгим правилам безопасности. Автомобиль более гибкий, но ограничен пробками на дорогах, погодными и дорожными условиями. Поездки на расстояния до 800 км воздушным транспортом нерациональны: предполётный контроль проводится за длительный период времени до вылета; аэропорты располагаются на значительном расстоянии от городов, что предполагает продолжительную доставку пассажира в аэропорт; послеполётные процедуры занимают также много времени (получение багажа, прохождение пограничного и таможенного контроля). В результате, например при поездке из Москвы в Минск электропоездом «Ласточка» продолжительность поездки составляет 7 ч, а при использовании самолёта и сопутствующих процедур – 6 ч. При этом стоимость проезда выше в три раза.

С ускорением урбанизации и постоянным повышением требований людей к путешествиям организация пассажирских перевозок должна быть более интеллектуальной и персонализированной. Технологии искусственного интеллекта и Интернета могут помочь организациям пассажирских перевозок добиться более точного прогнозирования и планирования объёмов и направлений их выполнения. Важным является также условие соответствия выполнения пассажирских перевозок экологическим требованиям, соблюдение которых достигается на транспорте за счёт сокращения выбросов углерода и экономии энергии. При перевозках электропоездами экологическая нагрузка на окружающую среду сокращается в шесть-семь раз.

В сфере устойчивого развития пассажирских перевозок к характеристикам системы пассажирского транспорта следует относить высокую зависимость от состояния транспортных средств, необходимость эффективного управления персоналом эксплуатационной системы и сферы обслуживания пассажиров на вокзалах и в поездах, высокие требования к безопасности и комфорту. Отрасль пассажирских перевозок сталкивается с проблемами и будущими тенденциями, такими как необходимость быть более интеллектуальной и персонализированной, соответствовать экологическим требованиям и активно изучать новые бизнес-модели и модели сотрудничества. Повышение эффективности выполнения пассажирских перевозок является важной задачей устойчивого развития предприятий пассажирской отрасли железной дороги. Для этого разрабатывается концепция развития пассажирских перевозок по всем видам сообщений, а также указываются проблемы и возможности их решения. При этом анализируется практическое значение и разрабатывается теоретическая основа повышения эффективности выполнения пассажирских перевозок, выдвигаются стратегии улучшения их выполнения с техническими инновациями, оптимизацией управления, модернизацией услуг и инновациями в области защиты окружающей среды.

УДК 656

ФИКСАЦИЯ ПРОЕЗДА МАРШРУТНЫХ ПАССАЖИРСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ И ЛИЧНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ НА ЗАПРЕЩАЮЩИЙ СИГНАЛ СВЕТОФОРА

Д. В. НАВОЙ, Д. В. КАПСКИЙ, И. Г. ГАМУЛЬСКИЙ, А. В. КОРЖОВА
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Автоматизированная система видеодетектирования дорожного движения (далее – АСВД) предназначена для повышения безопасности дорожного движения путем использования интеллектуальных средств видеонаблюдения для определения нарушителей правил дорожного движения (далее – ПДД) [1, 2]. К основным функциям АСВДД относятся [3, 4]: определение нарушителей скоростного режима; определение нарушителей, проезжающих на запрещающий сигнал светофора; определение нарушителей правил маневрирования (выезд на встречную полосу движения, разворот в

запрещенном месте, выезд на полосу общественного транспорта); определение нарушителей правил парковки (определение транспортных средств, находящихся в зоне действия дорожных знаков, запрещающих остановку-стоянку); распознавание регистрационных знаков автотранспортных средств и идентификация разыскиваемых транспортных средств; автоматизированный прием заявлений и сообщений граждан о происшествиях на дороге и нарушениях правил дорожного движения. Определение нарушителей, проезжающих на запрещающий сигнал светофора, является задачей, содержащей в себе решения по следующим направлениям [1, 3, 5]: юридическому; алгоритмическому; техническому; организационному.

Для доказательства проезда нарушителем на запрещающий сигнал светофора предлагается использовать изображение автомобиля, его регистрационного знака и сигналов светофора в одном кадре. Причем для доказательства вины необходимо наличие нескольких (3–4) фотографий, показывающих динамику движения автомобиля при нарушении ПДД. Рассмотрим алгоритмическое направление. Предлагается рассмотреть несколько вариантов реализации алгоритма определения нарушителя, проезжающего на запрещающий сигнал светофора. Варианты основаны на различных подходах к установке камер видеодетектирования, а также различных конфигурациях перекрестков и регулируемых пешеходных переходов. Основным исполнительным элементом при детектировании такого нарушения, как проезд на запрещающий сигнал светофора, является интеллектуальная видеокамера. Для прикладного распределения контролируемых зон на перекрестке применим видеокамеры компании Bosch серии Reg. На рисунке 1 показаны контролируемые зоны и расстояния до детектируемых регистрационных знаков. Расстояние от видеокамеры до детектируемого номерного знака определяет качество «картинки». Так, на расстоянии 5 метров от видеокамеры до детектируемого транспортного средства вероятность распознавания наибольшая, а на расстоянии 35 метров – наименьшая. Следует отметить, что детектирование выполняется для единичной полосы движения шириной 3 метра.

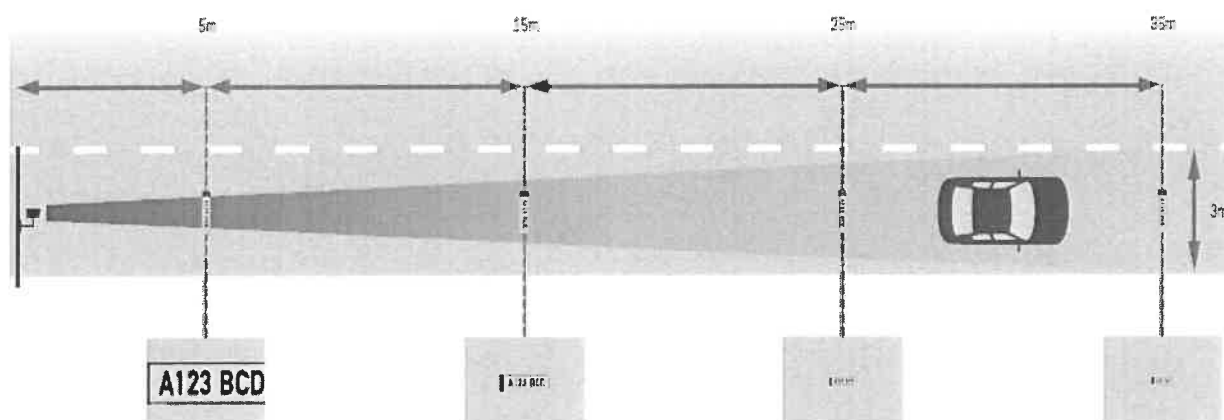


Рисунок 1 – Контролируемые зоны и расстояния до детектируемых регистрационных знаков для полосы движения

На рисунке 2 представлена схема установки периферийного оборудования и контролируемые зоны. При данном подходе предлагается использование двух интеллектуальных видеокамер, расположенных до контролируемого входа пересечения. Преимуществом такой расстановки видеокамер является их минимальное количество для контролируемого направления. На рисунке 3 представлена схема установки периферийного оборудования и контролируемые зоны. При данном подходе предлагается использование четырех интеллектуальных видеокамер, расположенных до пересечения и после контролируемого входа пересечения. Необходимое количество кадров, а также расположение «зон распознавания регистрационных знаков транспортного средства» могут модифицироваться и изменяться. Возможен вариант, когда вместо видеокамер № 1, 2 будут установлены фотокамеры, которые будут реагировать на событие (снимать кадры 1, 2, 3) по команде с камер № 3, 4 в случае появления автомобиля в зоне «красного света».

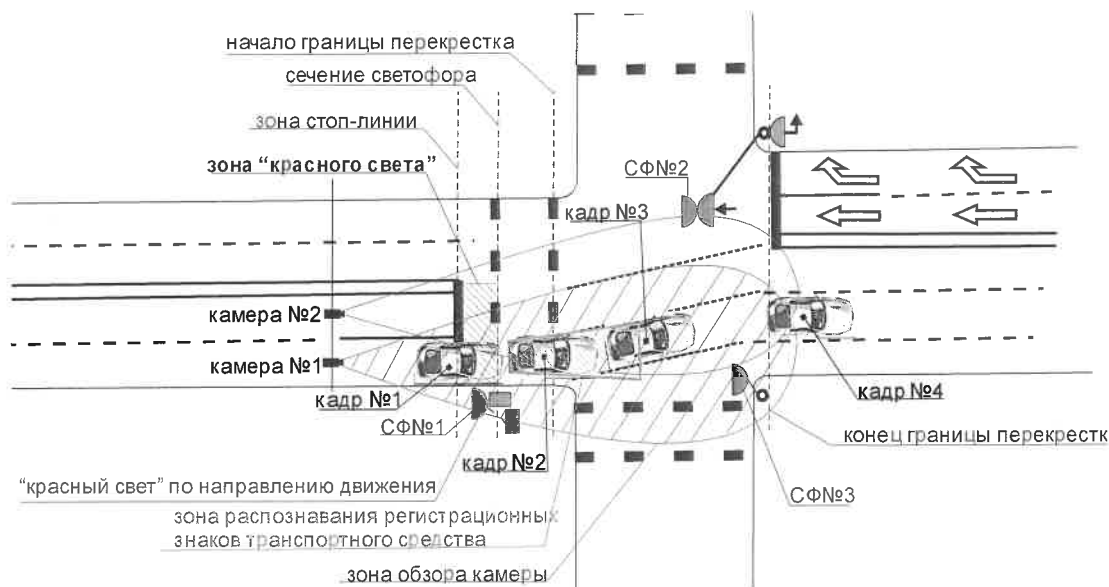


Рисунок 2 – Схема установки периферийного оборудования и контролируемые зоны для видеокамер, расположенных до контролируемого входа перекрестка

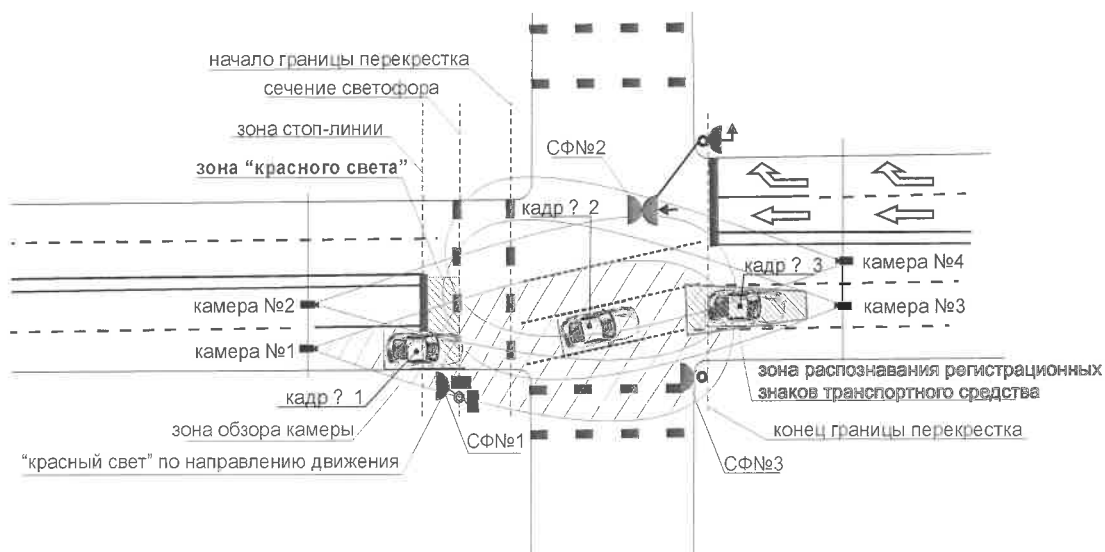


Рисунок 3 – Схема установки периферийного оборудования и контролируемые зоны для видеокамер, расположенных до и после контролируемого входа перекрестка

Преимуществом такой расстановки видеокамер является большая доказательная база, включающая в себя не только возможность идентификации номерного знака, но и возможность идентификации личности водителя. Также появляется возможность идентификации нарушения «не пристегнут ремнем безопасности» и «разговор по мобильному телефону в движении». Недостатком является необходимость дополнительной установки видеокамер на пересечении. Также в ночное время суток в случае использования инфракрасной вспышки камеры № 3, 4 могут ослеплять водителя, поэтому при такой схеме расстановки периферийного оборудования использование вспышек не рекомендуется.

Возможен вариант установки совместно с видеокамерами во входном сечении также детекторов транспорта. Тип детектора транспорта принципиально не важен, но в рассмотренном далее примере приведен беспроводной детектор транспорта, монтируемый в проезжую часть с зарядкой энергией от проезжающих автомобилей. На рисунке 4 представлена схема установки периферийного оборудования и контролируемые зоны. Схема контроля нарушений проезда на запрещающий сигнал светофора для право- и левоповоротных автомобилей представлена на рисунке 5.

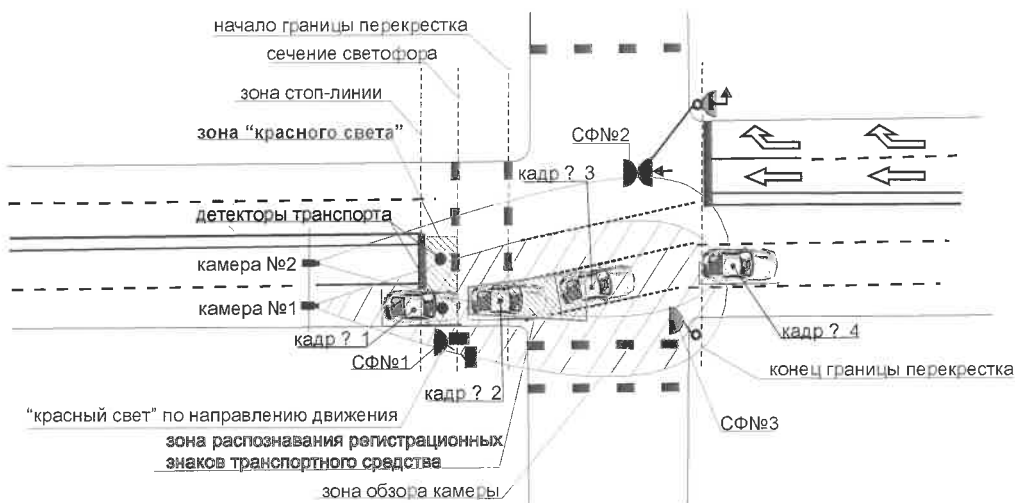


Рисунок 4 – Схема установки периферийного оборудования и контролируемые зоны для видеокамер и детекторов транспорта, расположенных до контролируемого входа перекрестка

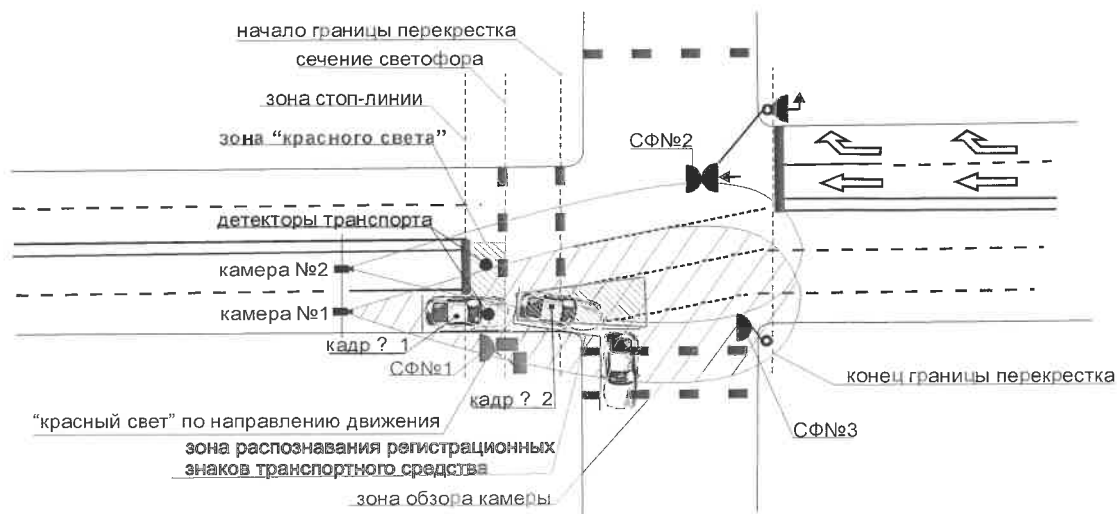


Рисунок 5 – Схема установки периферийного оборудования и контролируемые зоны для контроля правоповоротных транспортных средств

Достоинство схемы установки оборудования, указанной на рисунках 4 и 5 в том, что помимо выполнения функций видеоаналитики для автоматизированной системы видеодетектирования дорожного движения, наличие детекторов транспорта позволяет также получать статистические данные для автоматизированной системы управления дорожным движением. Также при таком расположении оборудования отсутствует «мертвая зона» для видеокамер № 1, 2 при распознавании регистрационных знаков автомобилей. Детектор транспорта даст информацию о наличии транспорта в зоне «красного света» точнее, чем видеокамера. И настройки установки камер упрощаются, так как можно установить камеру немного выше, чем указано на рисунке 1. К недостаткам следует отнести дополнительную необходимость монтажа детекторов транспорта и сложность в настройке совместной работы видеокамер и детекторов транспорта.

Список литературы

- 1 Синергия подходов к совершенствованию интеллектуальных транспортных систем городов в России и Белоруссии / И. Н. Пугачев [и др.]. – Хабаровск : ТОГУ, 2020. – 230 с.
- 2 Капский, Д. В. Управление в интеллектуальной транспортной системе г. Минска / Д. В. Капский, Д. В. Навой, П. А. Пегин // Наука и техника. – 2018. – Т. 17, № 5. – С. 401–412.
- 3 Капский, Д. В. Развитие автоматизированной системы управления дорожным движением Минска как части интеллектуальной транспортной системы города / Д. В. Капский, Д. В. Навой // Наука и техника. – 2017. – Т. 16, № 1. – С. 38–47. – DOI 10.21122/2227-1031-2017-16-1-38-48. – EDN YMFDXR.

4 Капский, Д. В. Создание интеллектуальной транспортной системы крупнейших городов / Д. В. Капский, Д. В. Навой // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. Промышленность. Прикладные науки. – 2017. – № 3. – С. 66–75. – EDN ZCPRCD.

5 Автоматизированные системы управления дорожным движением : учеб. пособие для учреждений высшего образования по специальности Организация дорожного движения / Д. В. Капский [и др.]. – Минск ; М. : Издательский Дом «Инфра-М», 2015. – 367 с.

УДК 656

ПЕРЕМЕННЫЕ УКАЗАТЕЛИ РЕКОМЕНДУЕМОЙ СКОРОСТИ ДЛЯ УПОРЯДОЧИВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ МАРШРУТНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Д. В. НАВОЙ, Д. В. РОЖАНСКИЙ, А. В. КОРЖОВА, И. Г. ГАМУЛЬСКИЙ

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Использование электронных указателей переменной рекомендуемой скорости (УСК) – одна из важнейших форм реализации управляющих воздействий, используемых при организации дорожного движения на городских улицах [1, 2]. Информация на УСК носит рекомендательный характер и позволяет донести до участников движения предусмотренный организаторами движения режим движения. Использование УСК входит в систему информационного обеспечения участников движения и является одновременно эффективным средством управления транспортным потоком. Недостатком системы управления без УСК является отсутствие обратной связи между системой управления дорожным движением и участниками движения. Водители не имеют совершенно никакой информации о режиме движения, что приводит к хаотичному движению транспортного потока. Помимо информации о рекомендуемой скорости движения на электронное устройство можно выводить иную информацию, полезную для участников движения, так например, температурный режим, маршрутное ориентирование и т. д.

Устройство УСК является одним из параметров информирования участников движения об условиях и режимах движения. Чрезмерный объем информации отрицательно влияет на ее восприятие. Исходя из этого информацию, воспринимаемую участниками движения, следует дифференцировать на обязательную, дополнительную, сопутствующую, вредную. В зависимости от статуса магистрали информация от УСК может быть обязательной и дополнительной. Так, для городских магистралей первого статуса информация от УСК является обязательной, для городских магистралей второго и других статусов – дополнительной.

Обязательный перечень управляющих воздействий на магистральной городской улице различного статуса определяет количество УСК и информационные технологические параметры привязки реализованных алгоритмов.

Уровни восприятия УСК участниками движения по управляющим воздействиям

Основные рекомендации по дизайну систем «визуализации» [2, 3] с использованием УСК: минимальное количество информации в сечении объекта УДС; минимальное количество информации на одном УСК; использование символов вместо слов; использование информационных тоннелей; дублирование и повторение наиболее важной информации о дорожном движении; использование цветowych схем и геометрических размеров технических средств организации и регулирования дорожного движения, оказывающих максимальный эффект на восприятие участников движения [4–6]. Недостаток УСК – необходимость контроля водителями скорости по спидометру. Доказано, что 90 % информации, получаемой водителями во время движения, является зрительной информацией. Основные положения визуального функционирования можно разделить на следующие виды: зрительное восприятие – способность видеть детали объекта наблюдения, что касается расстояния от водителя до зрительного объекта; периферийное зрение – известно, что неподвижные объекты менее замечаемы периферийным зрением, чем центральным (основным). Некоторые изменения в детектировании динамических режимов также происходят в зависимости от статической видимости; зрительная избирательность – некоторые объекты, наблюдаемые водителями, не воспринимаются как важные и игнорируются водителями даже при хорошей видимости и контрастности; контрастная чувствительность – восприятие видимой информации дорожного знака и восприятие символов и фона, на котором они нанесены; ночное зрительное восприятие; движения глаз и зри-

тельный поиск; цветовое восприятие – должно быть достаточно изучено с учетом того, что у 8 % мужчин нарушено цветовое восприятие; оценка расстояния до объекта – этот аспект должен быть оптимизирован, для исключения недооценки водителями расстояния до объекта; ощущение скорости (восприятие процесса движения) – один из важнейших показателей для безопасности движения в транспортном потоке.

Для каждой магистрали проектируется привязка УСК в зависимости от реализуемого управляющего воздействия. Пример технологической привязки УСК для двух координируемых объектов приведен на рисунок 1.

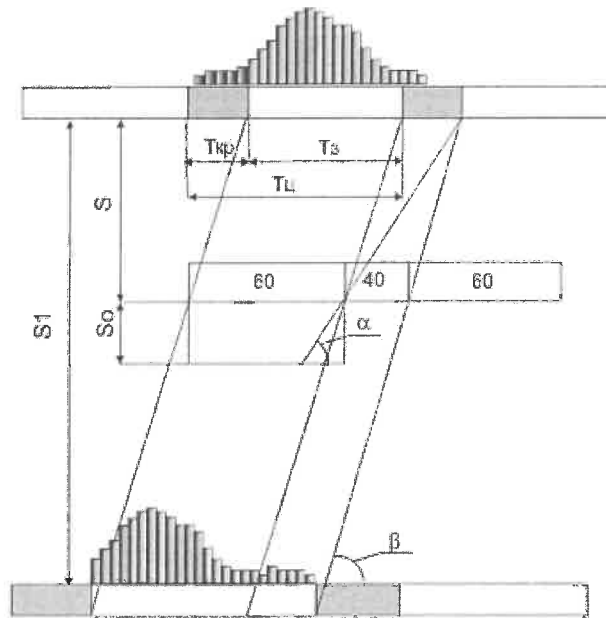


Рисунок 1 – Пример работы УСК на скоординированных светофорных объектах:

S – расстояние от точки установки УСК в сечении дороги до стоп-линии, м; $S1$ – расстояние между регулируемыми пересечениями, м; $S0$ – расстояние, с которого водители начинают воспринимать информацию на УСК и придерживаться рекомендуемой скорости (60÷80 м); $Tз$ – продолжительность горения разрешающего сигнала, с; $Tкр$ – продолжительность горения запрещающего сигнала, с

Алгоритм функционирования УСК для двух регулируемых пересечений: выбирается единое текущее системное время от 1 до $Tц$; задается интервал скоростей от минимальной до максимальной с определенной скоростью (рекомендовано от 40 до 60 км/ч с шагом 10 км/ч); проверяется возможность прохождения транспортного потока расстояния $(S+S0)$ таким образом, чтобы для текущего времени в сечении УСК выполнялось условие достижения регулируемого пересечения с заранее заданной скоростью на разрешающий сигнал светофора; в случае выполнения условия выводится на табло рекомендуемая скорость, с которой транспортный поток пройдет расстояние $(S+S0)$ на разрешающий сигнал светофора; в случае невыполнения условия значение времени, необходимого для проезда участка $S+S0$, увеличивается до тех пор, пока не выполнится условие прохождения на зеленый сигнал; в случае выполнения условия по времени проезда на зеленый сигнал и условия соответствия скорости заданному интервалу скоростей с шагом n , на УСК выводится расчетная скорость; далее идет увеличение времени, необходимого для проезда участка $(S+S0)$ с учетом шага скоростей до максимального значения скорости, с выводом расчетных скоростей на УСК. Алгоритм отслеживает ленту безостановочного движения и задает нужную скорость внутри ленты для собирания либо растягивания «пачки» автомобилей.

Рекомендуется устанавливать УСК на входящих пересечениях магистрали для формирования «пачки» автомобилей, далее идеальным случаем является установка УСК на каждом перегоне между регулируемыми пересечениями и дважды в случае протяженности перегона более 600 м. В случае отсутствия возможности установки на каждом перегоне предлагается устанавливать УСК в местах, где изменяется скорость транспортного потока в зависимости от реализованного базового плана координации, что определяется в течение проектного цикла создания технологии управления на магистрали. Возможны следующие места установки в привязке к участку магистрали в зави-

симости от качества восприятия: до регулируемого пересечения в границах перекрестка, в сечении стоп-линии; после регулируемого пересечения в границах перекрестка; на перегоне между регулируемыми пересечениями, причем следует разделить протяженность перегона на участки (первый – менее 100 м, второй – 100–300 м, третий – 300–600 м, четвертый – 600 м и более). Основным требованием при выборе места установки в сечении городской улицы является использование информационных туннелей. Высота установки УСК рекомендуется в пределах 6,0–7,5 м. Необходимым условием является обеспечение оптимальной видимости для всех водителей, поэтому рекомендуется устанавливать УСК на выносных конструкциях (рисунок 2) либо фермах таким образом, чтобы указатель скорости находился посередине проезжей части, предназначенной для движения транспортных средств одного регулируемого направления.

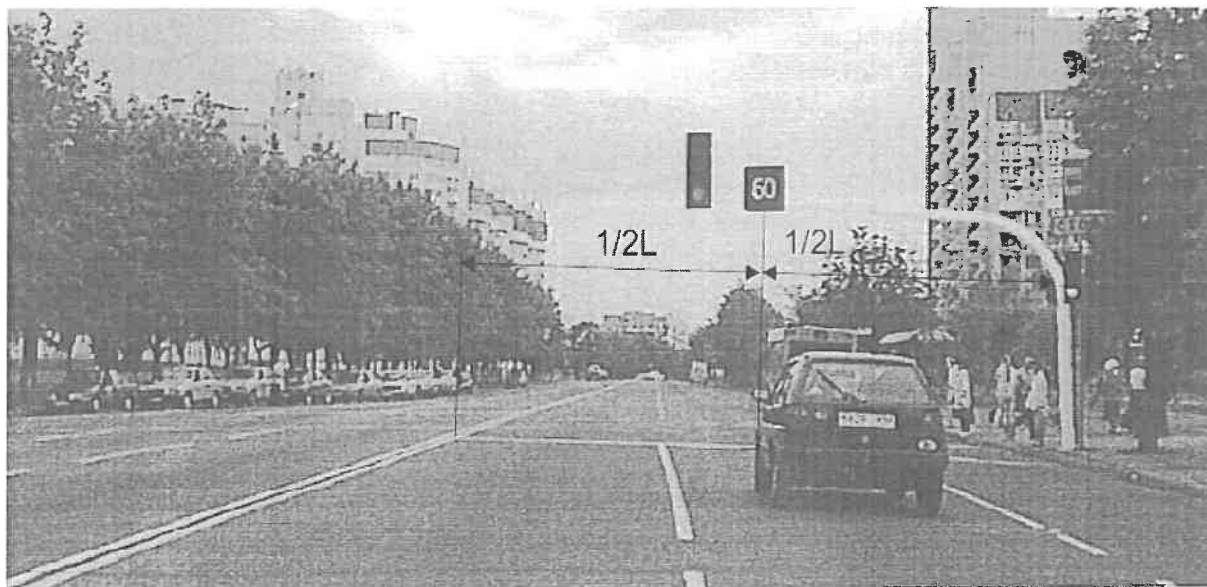


Рисунок 2 – Схема установки УСК на выносной консоли над трехполосной проезжей частью

На приведенном рисунке УСК установлен в границах перекрестка и используется совместно с дополнительным светофором. Однако такое размещение УСК нужно использовать только на внутренних перегонах, когда транспортный поток уже получил информацию о режиме движения.

Помимо использования УСК в составе базовых расчетных планов координации, а также при оптимизации сдвигов по магистрали в зависимости от параметров транспортных потоков возможно использовать саму несущую конструкцию УСК для дополнительной информации участникам движения. Установка датчиков погодных условий и измерение коэффициента сцепления с дорогой позволяют изменять сами управляющие воздействия с отправкой информации в АСУДД и выработкой управленческих решений в зависимости от дорожной обстановки. Возможно использование УСК также и с информацией о маршрутном ориентировании участников движения.

В дальнейшем возможна интеграция системы управления УСК и системы соблюдения скорости автомобилем путем ее автоматического контроля без участия водителя. Установленный на автомобиле приемник получает сигнал от УСК о предписанном режиме движения и в автоматизированном режиме ограничивает либо дает рекомендацию о повышении скорости автомобиля. Подобные системы прошли успешные испытания в Западной Европе, однако на настоящий момент не нашли широкого применения на европейских дорогах, т.к. проект имеет ряд недостатков экономического и социального характеров.

Список литературы

1 Автоматизированные системы управления дорожным движением : учеб. пособие для учреждений высшего образования по специальности «Организация дорожного движения» / Д. В. Капский [и др.]. – Минск ; М. : Издательский дом «Инфра-М», 2015. – 367 с.

2 Капский, Д. В. Развитие автоматизированной системы управления дорожным движением Минска как части интеллектуальной транспортной системы города / Д. В. Капский, Д. В. Навой // Наука и техника. – 2017. – Т. 16, № 1. – С. 38–47. – DOI: 10.21122/2227-1031-2017-16-1-38-48. – EDN YMFDXR.

3 Капский, Д. В. Создание интеллектуальной транспортной системы крупнейших городов / Д. В. Капский, Д. В. Навой // Вестник Полоцкого государственного университета. Сер. В. Промышленность. Прикладные науки. – 2017. – № 3. – С. 66–75. – EDN ZCPRCD.

4 Иносэ, Х. Управление дорожным движением : [пер. с англ.] / Х. Иносэ, Т. Хамада. – М. : Транспорт, 1983. – 248 с.

5 Синергия подходов к совершенствованию интеллектуальных транспортных систем городов в России и Белоруссии / И. Н. Пугачев [и др.]. – Хабаровск : ТОГУ, 2020. – 230 с.

6 Капский, Д. В. Управление в интеллектуальной транспортной системе г. Минска / Д. В. Капский, Д. В. Навой, П. А. Пегин // Наука и техника. – 2018. – Т. 17, № 5. – С. 401–412.

УДК 656.6

ТРАП ДЛЯ ПЕРЕСАДКИ ПАССАЖИРОВ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

И. В. НИКИТАЕВ

*Волжский государственный университет водного транспорта, г. Нижний Новгород,
Российская Федерация*

Судовой телескопический трап представляет собой устройство поворотного типа, используемое для безопасного перемещения персонала между судном и буровой платформой. Условия эксплуатации трапа: рабочая температура до -28°C , температура в походном режиме до -40°C , обледенение, отсутствие или минимальная качка судна при работе трапа, сильная вибрация при движении судна во льдах, сильная раскачка судна.

Основные составляющие конструкции трапа приведены на рисунке 1: стрела трапа с основной и телескопической частями; механизм наклона стрелы вверх и вниз от горизонтали; накопительная палуба на основной раме; механизм поворота основной рамы по часовой и против часовой стрелки; механизм поворота вокруг продольной оси трапа (компенсация поперечного наклона трапа); основание, монтируемое на фундамент палубы; комплект гидравлического оборудования; комплект электротехнического оборудования; комплект приборов безопасности; закрытая кабина оператора с основным пультом управления.

Проектируемый трап не имеет активной системы компенсации колебаний судна. Все механизмы трапа обеспечивают статическое позиционирование элементов трапа для «прицеливания» к точке присоединения на платформе или точке укладки на судне. При стыковке трапа с платформой механизм телескопирования обеспечивает поджатие оконечного устройства к точке присоединения на платформе с постоянным усилием, механизм изменения угла наклона трапа и поворота основной рамы переводится в режим свободного перемещения.

В данной статье приведено исполнение стрелы трапа с основной и телескопической частями, соответствующими прочностным характеристикам.



Рисунок 1 – Телескопический трап в штатном режиме работы

Схема фиксации стрелы трапа и действующие нагрузки показаны на рисунке 2.

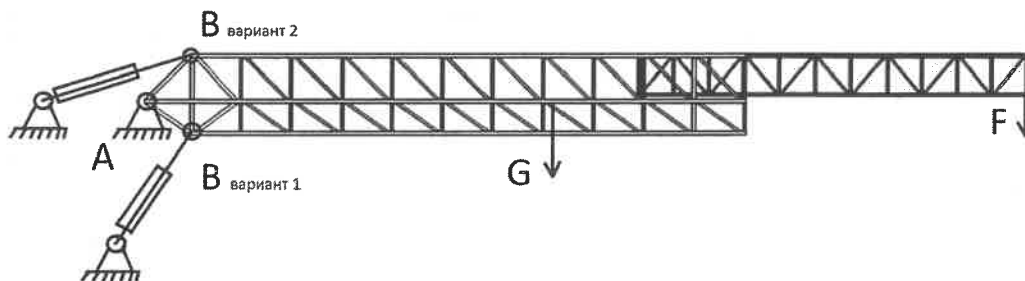


Рисунок 2 – Схема фиксации стрелы трапа и приложение нагрузки

На рисунке 2:

A – шарнирно неподвижная опора, соединяющая стрелу трапа с основной рамой;

B_{вариант1} – нижний узел, соединяющий стрелу трапа с механизмом наклона стрелы на основной раме;

F = 3 000 Н – сила тяжести пассажиров в количестве 3 человек (в режиме эвакуации раненного пассажира допускается одновременный переход по трапу 3 человек). Сила F приложена к концу стрелы, так как трап при стыковке с буровой платформой по оси Z фиксируется только механизмом наклона стрелы;

M = 3 900 кг – общая масса стрелы трапа;

G = 38 220 Н – сила тяжести стрелы трапа.

Расчет прочности проводился в программном комплексе Ansys методом конечных элементов. В данном расчете не учтены волнение моря и динамические нагрузки, действующие на трап.

На рисунках 3 и 4 показаны напряжения, действующие на элементы каркаса стрелы трапа, и деформация стрелы при креплении механизма наклона стрелы на нижний узел, согласно рисунку 1.

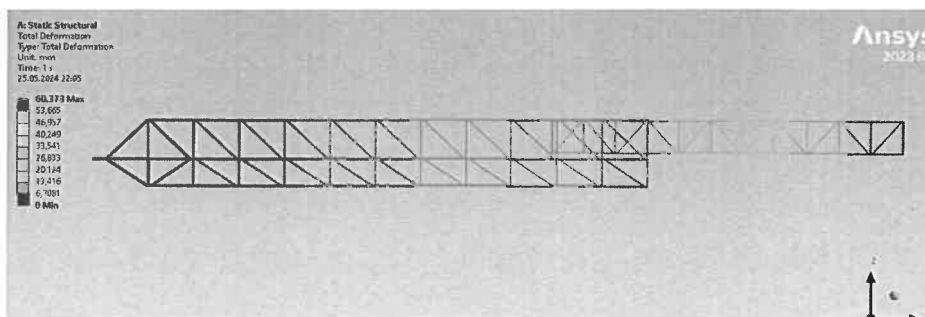


Рисунок 3 – Деформация стрелы трапа (вариант 1)

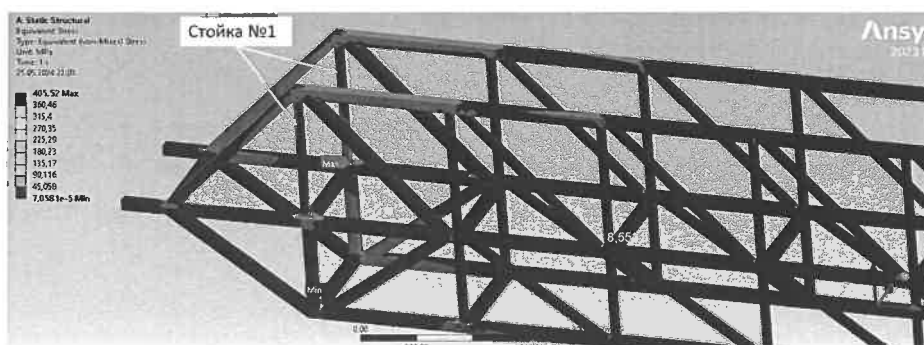


Рисунок 4 – Эквивалентные напряжения (вариант 1)

Анализ расчета прочности

Наибольшую нагрузку силовые профили получают в сварных соединениях.

Согласно варианту 1 (крепление механизма наклона стрелы на нижний узел) расчет прочности показал максимальную деформацию 60 мм, максимальное напряжение 406 МПа в зоне сварного соединения стоек № 1 с продольными балками основания стрелы. Данное напряжение превышает

предел текучести стали F36W – 355 МПа, поэтому принято решение усилить стойки № 1, увеличив сечение, и перенести механизм наклона стрелы на верхний узел согласно варианту 2.

Усиление стоек № 1 и перенос механизма наклона стрелы на верхний узел улучшили прочностные характеристики стрелы трапа, но для положительных результатов анализа прочности при совокупных нагрузках (полное волнение моря и динамические нагрузки на трап) требуются дополнительные исследования по возможным усилениям конструкции и уменьшением массы стрелы трапа.

УДК 656.02

РАЗВИТИЕ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО СООБЩЕНИЯ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Т. Г. СЕРГЕЕВА, О. П. КИЗЛЯК, Г. И. НИКИФОРОВА

*Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I,
Российская Федерация*

С развитием всевозможных сфер жизни человека растет интерес не только к путешествиям, но и более комфортному и быстрому передвижению во время поездок к месту работы и обратно. В связи с этим, чтобы повысить качество и востребованность железнодорожных перевозок, необходимо сократить время в пути для пассажиров, заинтересованных в экономии своего времени.

Выполненный анализ показал, что высокоскоростные пассажирские железнодорожные перевозки протяженностью от 400 до 700 км имеют большее преимущество по сравнению с авиационным транспортом, так как большинство железнодорожных транспортно-пересадочных узлов расположены в центре города, что нельзя сказать об аэропортах.

Процессы глобализации и взаимной интеграции ставят перед обществом задачи объединения пространства Евразийского континента в единую транспортную систему, которая должна отвечать требованиям современного человека к скорости, удобству и доступности, как ценовой, так и географической.

С 2010 года по Указу Президента Российской Федерации от 16.03.2010 г. № 321 «О мерах по организации движения высокоскоростного железнодорожного транспорта в Российской Федерации» происходит разработка проектов на различных участках железных дорог Российской Федерации по внедрению высокоскоростного движения [1]. Также был издан Указ Президента Российской Федерации от 21.07.2020 г. № 474 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года», по которому происходит плотное развитие всех сфер жизни, что повлияло в том числе на разработку стратегии развития ОАО «РЖД» [2]. Перспективная сеть скоростного и высокоскоростного железнодорожного сообщения приведена на рисунке 1.

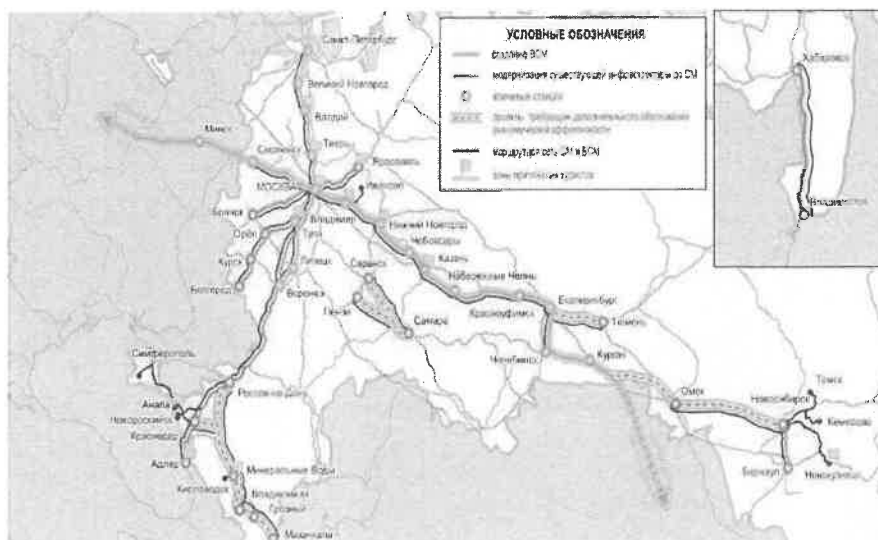


Рисунок 1 – Перспективная сеть скоростного и высокоскоростного железнодорожного сообщения

Внедрение скоростной магистрали на направлении Москва – Ярославль – это важнейшая задача, которая окажет глубокое влияние на транспортную инфраструктуру России и станет катализатором ее модернизации. Реализация этого проекта также принесет ощутимую экономическую выгоду, стимулируя развитие прилегающих территорий и повышая конкурентоспособность страны.

В настоящее время на направлении Москва – Ярославль не существует скоростного и высокоскоростного движения, среднее время в пути в железнодорожном сообщении составляет 3 часа 53 минуты. На участке Москва – Ярославль ежедневно курсирует 21 пара поездов дальнего сообщения. Из них шесть являются поездами, обращающимися только на участке Москва – Ярославль и следующими с максимальной скоростью, время в пути на таком поезде занимает в среднем 3 часа 10 минут. Следует отметить, что с минимальным временем в пути от станции Ярославль-Московский до станции Москва-Ярославская следует «Ласточка», которая была введена в эксплуатацию в 2020 году. Время следования составляет 2 часа 58 минут. В том числе на данном участке обращаются поезда, для которых Ярославль является промежуточным остановочным пунктом. Время в пути на таких поездах гораздо больше, чем на перечисленных ранее [3].

Изменение пассажиропотока на направлении Москва – Ярославль представлено на рисунке 2.

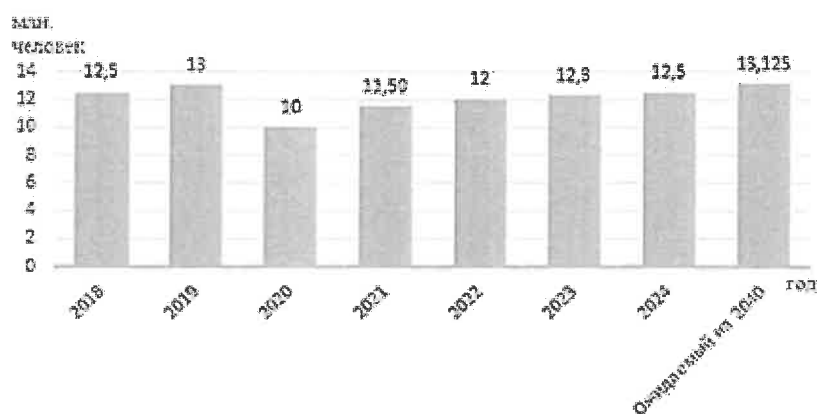


Рисунок 2 – Пассажиропоток на направлении Москва – Ярославль

Проект реконструкции скоростной магистрали между Москвой и Ярославлем включает в себя обновление основных путей существующей железной дороги от станции Москва-Ярославская до станции Ярославль-Главный для достижения максимальной скорости движения поездов 140–160 км/ч. Эта магистраль будет использоваться для экспресс-поездов на маршруте Москва – Ярославль и ускоренных региональных поездов на маршруте Москва – Александров. Это позволит избежать конкуренции между ускоренными региональными поездами и традиционными пригородными поездами в пригороде Ярославского направления Московского железнодорожного узла.

С открытием данной скоростной магистрали время в пути между Москвой и Ярославлем с учетом всех остановок сократится до 2 часов 30 минут, что на 50 минут меньше, чем по существующей железнодорожной линии. Кроме того, реализация проекта скоростной магистрали Москва – Ярославль будет способствовать развитию внутреннего туризма в пределах туристических маршрутов Золотого кольца России.

Также следует предусмотреть возможность перевозки по ВСМ потребительских товаров с высокой добавленной стоимостью, таких, как электроника и бытовая техника, одежда и обувь, аксессуары, фармацевтическая продукция, косметика и продукты питания, требующие соблюдения температурного режима транспортировки.

Для оказания всего спектра логистических услуг, в том числе доставки груза «от двери до двери», потребуются создание соответствующей транспортной инфраструктуры, специализированных контейнеров, которые возможно применять на различных видах транспорта [4, 5]. Применение специализированных грузовых контейнеров с использованием современных технических средств, роботизированных технологий обеспечит необходимую скорость обработки грузов, сокращение времени на выполнение операций погрузки/выгрузки.

Важной особенностью терминалов станет их интеграция в функциональные транспортные мультимодальные хабы, обеспечивающие сквозную «бесшовную» обработку грузов между всеми видами транспорта.

Список литературы

1 Указ Президента Российской Федерации от 16.03.2010 г. № 321 «О мерах по организации движения высокоскоростного железнодорожного транспорта в Российской Федерации» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?doc_itself=&vkart=card&nd=102136576&page=1&rdk=0. – Дата доступа : 28.09.2024.

2 Указ Президента Российской Федерации от 21.07.2020 г. № 474 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://publication.pravo.gov.ru/document/view/0001202007210012>. – Дата доступа : 28.09.2024.

3 Оценка конкурентоспособности высокоскоростного железнодорожного и авиационного транспорта на расстояние перевозки до 1000 км / А. С. Кожевникова [и др.] // Управление эксплуатационной работой на транспорте (Уэрт–2022) : сб. трудов Междунар. науч.-практ. конф., Санкт-Петербург, 15–16 марта 2022 года / под ред. А. Ю. Панычева, Т. С. Титовой, О. Д. Покровской; отв. за вып. А. В. Сугоровский [и др.]. – СПб. : ФГБОУ ВО ПГУПС, 2022. – С. 253–257. – EDN ODQZTP.

4 Вопросы оценки эффективности транспортных процессов в цепях поставок / Т. Г. Сергеева [и др.] // Транспортное дело России. – 2024. – № 1. – С. 267–269. – EDN DKFZDQ.

5 Никифорова, Г. И. Развитие пассажирских перевозок в современных условиях / Г. И. Никифорова, Т. Г. Сергеева, О. П. Кизляк // Инновационное развитие транспортного и строительного комплексов : материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 70-летию БелИИЖТа – БелГУТа, Гомель, 16–17 ноября 2023 г. / под ред. Ю. И. Кулаженко. – Гомель : БелГУТ, 2023. – С. 261–263. – EDN GJGIJN.

УДК 612.845.552: 004.932

РЕКОЛОРИЗАЦИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ И ВИДЕО ДЛЯ МАШИНИСТОВ С АХРОМАТОПСИЕЙ С ЦЕЛЬЮ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ БЕЗОПАСНЫХ ПАССАЖИРСКИХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПЕРЕВОЗОК

В. В. СИНИЦЫНА

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск

Как известно, аномалии цветового зрения не только препятствуют корректному восприятию окружающей человека визуальной информации, но и представляют собой серьезные помехи на пути освоения многих профессий. Одной из таких профессий является машинист поезда. Так, среди аномалий цветового зрения, не позволяющих человеку работать на должности машиниста поезда, особенно выделяется ахроматоПСия, встречающаяся лишь у 1 из 30 000 человек на земном шаре и представляющая собой аномалию цветового зрения, при которой наблюдается дисфункция колбочковой системы. Люди с ахроматоПСией видят мир в оттенках серого цвета, причем два абсолютно различных для нормального трихромата цвета могут быть восприняты ахроматопом как одинаковые оттенки серого. Стоит отметить, что в темное время суток люди с ахроматоПСией хорошо ориентируются в пространстве вследствие корректно функционирующих палочек, представляющих собой клетки-рецепторы сетчатки, чувствительные к силе света и действующие преимущественно при сумеречном или ночном зрении.

Кроме того, из-за такого сопутствующего заболевания, как светобоязнь, люди с ахроматоПСией вынуждены в дневное время суток использовать солнцезащитные очки. А вследствие распространенности среди ахроматопов гиперметропии или, реже, миопии, люди с ахроматоПСией обычно пользуются в повседневной жизни очками для коррекции гиперметропии или миопии.

В литературе указаны две формы ахроматоПСии: полная и неполная. АхроматоПСия является полной, если у человека наблюдаются абсолютное отсутствие восприятия цвета и такие сопутствующие заболевания, как нистагм и светобоязнь, и неполной, если у человека присутствует небольшое цветоразличение и либо отсутствуют нистагм и светобоязнь, либо же они присутствуют в более легкой форме [1]. Наиболее распространенной является полная ахроматоПСия. Кроме того, встречается как врожденная ахроматоПСия, так и приобретенная. Приобретенная ахроматоПСия именуется церебральной (или центральной) и связана с повреждением коры головного мозга [2]. В ICD (International Classification of Diseases) ахроматоПСия имеет код H53.51 [3].

В «Перечне медицинских противопоказаний к работе по должностям работников железнодорожного транспорта общего пользования, непосредственно обеспечивающих перевозочный процесс» Республики Беларусь указано, что в случае наличия у работника монохроматизма, а ахрома-

топсия представляет собой палочковый монохроматизм, данное нарушение классифицируется в качестве выраженного нарушения способности к трудовой деятельности. Стоит отметить, что машинисты не могут осуществлять пассажирские перевозки при наличии данной аномалии [4].

Запрет на работу машинистами для людей с ахроматопсией вполне обоснован, так как в процессе управления транспортным средством у машиниста с ахроматопсией могут возникать сложности в случае необходимости определить цвет какого-либо объекта или же отличить один объект от другого по цвету.

На сегодняшний день в литературе встречаются два основных метода реколоризации изображений для ахроматопов. В первом методе предполагается, что разница, воспринимаемая между двумя цветами, пропорциональна их соответствующей воспринимаемой разнице в оттенках серого цвета. Второй метод дополняет предыдущий, используя целевую константу пропорциональности K . Идея данного метода состоит в сохранении постоянства яркости и контраста. Контраст не меняет своего значения благодаря сохранению относительного расстояния между каждой парой цветов.

Стоит отметить, что в существующих методах не указаны используемые последовательности обработки цветов, не уделено внимание вопросу помощи людям с ахроматопсией в возможности различать цвета, схожие в восприятии ахроматопов, но совершенно отличные в представлении нормальных трихроматов, не учитывается наличие у людей с ахроматопсией такого сопутствующего заболевания, как светобоязнь.

Разработка новых методов реколоризации изображений и видео способствует не только развитию безграничного доступа людей с цветоаномалиями к любому типу визуальной информации, но и предоставляет возможность вовлечения в профессии людей, испытывающих трудности с подобного рода деятельностью в силу наличия у них ахроматопсии.

Целью данной работы является определение возможности применения методов реколоризации изображений и видео для ахроматопов в работе машинистов с ахроматопсией с целью осуществления безопасных пассажирских железнодорожных перевозок.

Кроме того, поставлены следующие задачи:

- определить, в каких случаях необходимо применение методов реколоризации изображений и видео для ахроматопов в работе машинистов;
- обозначить особенности применяемых методов реколоризации.

Очевидно, что методы реколоризации изображений и видео призваны помогать машинистам корректно различать цвета сигналов светофора, железнодорожных знаков, а также различных элементов на панели управления. Так как не представляется возможным сделать цветовую составляющую реколоризованных визуальных данных для машинистов с ахроматопсией, близкой в восприятии к тем цветам, которые наблюдает нормальный трихромат, необходимо сделать цвета на изображении или видео наиболее различимыми.

Следует также учитывать наличие у ахроматопов такого сопутствующего заболевания, как светобоязнь, которая, соответственно, требует от людей с ахроматопсией ношения солнцезащитных очков в светлое время суток. В случае наличия у машиниста гиперметропии или миопии необходимо также использование машинистом соответствующих очков. Кроме того, машинист поезда должен иметь возможность различать цвета моргающих ламп на панели управления в кабине так же хорошо, как и сигналы светофоров, железнодорожные знаки.

Реализовать методы следует в программном обеспечении, применяемом в очках, которые позволяют загружать соответствующее программное обеспечение и отображать окружающую действительность в соответствии с наиболее корректным для работников с ахроматопсией представлением. В связи с этим необходимо упомянуть некоторые особенности методов реколоризации. Так, скорость обработки программным обеспечением принимаемой информации должна быть довольно высокой, т. е. важны такие характеристики, как скорость обработки видеопотока, распознавание ключевых для наблюдения объектов и их реколоризация. Вероятности выхода из строя устройства, сбоя алгоритмов должны стремиться к нулю, так как подобные неполадки повлекут за собой катастрофические последствия.

Таким образом, необходимо отметить, что проблема наличия ахроматопсии у машинистов поездов является достаточно актуальной, так как не позволяет людям с данной цветовой аномалией за-

нимать данную должность. Однако на сегодняшний день возможно применение методов реколоризации визуальной информации, которые помогут машинистам с ахроматопсией осуществлять безопасные пассажирские железнодорожные перевозки. Следует особенно отметить, что такие методы реколоризации должны помогать машинистам отличать оттенки серого друг от друга, если данные цвета в изначальном своем представлении для нормальных трихроматов являются разными цветами. Кроме того, необходимо учитывать наличие у машинистов с ахроматопсией таких сопутствующих заболеваний, как светобоязнь, гиперметропия, миопия, что подразумевает ношение машинистами солнцезащитных очков или же очков для коррекции гиперметропии или миопии.

Список литературы

1 Achromatopsia: clinical features, molecular genetics, animal models and therapeutic options / N. Hirji [et al.] // *Ophthalmic Genetics*. – 2018. – Vol. 39, № 2. – P. 149–157.

2 Bartolomeo, P. The anatomy of cerebral achromatopsia: a reappraisal and comparison of two case reports / P. Bartolomeo, A.-C. Bachoud-Levi, M. T. Schotten // *Cortex*. – 2014. – Vol. 56. – P. 138–144.

3 ICD.Codes [Electronic resource]. – Mode of access : <https://icd.codes/>. – Date of access : 15.09.2024.

4 Об организации медицинского обеспечения безопасности движения и эксплуатации железнодорожного транспорта общего пользования и об установлении отдельных форм медицинских документов [Электронный ресурс] : постановление М-ва здравоохранения Респ. Беларусь, 31 окт. 2012 г. № 171 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2012.

УДК 656.13

ОСОБЕННОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЕ УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ СИМБИОТИЧЕСКОГО ГОРОДА

С. В. СКИРКОВСКИЙ

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

За последние сто лет мир столкнулся с быстрой урбанизацией. По данным ООН, с 2007 года более половины населения Земли проживает в городах. К 2050 году около 70 % жителей планеты будут жить в городах, что создаст новые вызовы для планирования городского пространства и стратегий бизнеса. Города генерируют 80 % глобального ВВП, но также ответственны за 70 % глобальных выбросов углерода и более 60 % использования ресурсов. Транспортная система городов должна быть устойчивой и способной адаптироваться к изменениям для обеспечения устойчивого развития. Поэтому новые тренды в развитии городов уже сформировали принципиально новую концепцию их развития, которую можно представить четырьмя определениями: «Избегай (лишней мобильности) – Заменяй (мобильность цифровой активностью) – Сдвигай (все перемещения в экологичное поле) – Улучшай (перемещения)» [1].

С помощью математического моделирования решаются различные задачи в области транспортно-градостроительного проектирования. Можно выделить следующие группы задач:

- выявление особенностей действующей транспортной системы;
- оценка последствий принятия решений по развитию транспортной системы;
- определение параметров объектов транспортной инфраструктуры на основе анализа спроса на передвижения.

Моделирование также используется для решения других задач в сфере транспортно-градостроительного проектирования и территориального анализа [2].

Стадия постановки задачи с использованием математического моделирования включает:

- уяснение целей задачи и предварительную оценку возможных результатов её решения;
- определение целевого критерия (эффективности, качества, целевой функции);
- формулировку задачи в соответствии с поставленными целями.

Выявление ключевых характеристик городской транспортной системы происходит во время изучения текущего состояния и комплексной оценки территории. С помощью моделирования определяются общие и зональные показатели работы транспортной системы, такие как среднее время

передвижения, общий объём перемещений, процент использования личного транспорта и время до центра города. Анализ транспортных потоков и числовых показателей помогает определить проблемные зоны и неудовлетворённый спрос на перемещение [3].

Последствия принятия проектных решений оцениваются на основе системы критериев, учитывающих особенности целей и задач проекта. Критерии могут отражать реакцию транспортной системы и изменения параметров доступности территории.

Одно из направлений применения математического моделирования – анализ спроса на передвижения и определение параметров объектов транспортной инфраструктуры. В качестве параметров могут выступать количество полос движения, размещение мостов и путепроводов, количество эскалаторов и частота движения общественного транспорта [3,4].

Задачи по определению спроса возникают при работе над проектами планировки крупных планировочных образований, проектировании объектов массового посещения или крупных производственных зон. Важно использовать модель для всей городской агломерации, чтобы обеспечить адекватное распределение корреспондентов между пунктами тяготения.

Список литературы

1 Капский, Д. В. Применение математического моделирования при транспортном планировании / Д. В. Капский, С. В. Скиркоцкий // Инновационное развитие транспортного и строительного комплексов : материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 70-летию БелИИЖТа – БелГУТа, Гомель, 16–17 ноября 2023 г. / под ред. Ю. И. Кулаженко. – Гомель : БелГУТ, 2023. – С. 242–244.

2 Транспортное моделирование и оценка условий дорожного движения с использованием навигационной информации : [монография] / Д. В. Капский [и др.]. – Минск : Капитал Принт, 2018. – 144 с.

3 Лосин, Л. А. Опыт математического моделирования при разработке транспортных разделов генеральных планов городов // Социально-экономические проблемы развития транспортных систем городов и зон их влияния : материалы XIV Междунар. науч.-практ. конф. – Екатеринбург : АМБ, 2008. – С. 94–97.

4 Капский, Д. В. Методология повышения качества дорожного движения : [монография] / Д. В. Капский. – Минск : БНТУ, 2018. – 372 с.

УДК 656.13

ЦИФРОВИЗАЦИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ КАК УСЛОВИЕ РАЗВИТИЯ УСТОЙЧИВОЙ ГОРОДСКОЙ МОБИЛЬНОСТИ

С. В. СКИРКОВСКИЙ

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Рост автомобилизации и урбанизация породили множество проблем в городах: пробки, загрязнение окружающей среды, ухудшение городского ландшафта и неравенство в доступе к средствам передвижения. Новый подход к городской мобильности предполагает равенство, доступность и устойчивость. Создание устойчивых городов позволит повысить качество жизни горожан и сохранить здоровье населения. Использование личных автомобилей с двигателями внутреннего сгорания препятствует развитию устойчивой мобильности и замедляет развитие городов [1].

Транспортные системы, основанные на использовании автомобилей с двигателями внутреннего сгорания, оказывают негативное воздействие на окружающую среду, увеличивая выбросы парниковых газов и создавая проблемы для пешеходов и велосипедистов [2].

Процесс урбанизации приводит к увеличению мобильности городских жителей, и эта тенденция наблюдается в условиях ограниченных инвестиционных ресурсов на транспортную инфраструктуру и энергоресурсов для функционирования транспортных систем. Различные социальные группы имеют разные возможности для удовлетворения своих потребностей в передвижениях. В первую очередь материальные и технические проблемы с обеспечением мобильности испытывают малообеспеченные и маломобильные слои населения. Проблема неравенства в обеспечении мобильности жителей городов обостряется [3].

Затраты на управление и содержание транспортной инфраструктуры значительно возросли во многих странах, и невозможно обеспечить адекватные темпы развития транспортной инфраструктуры в соответствии с темпами роста автомобилизации.

Такое положение дел требует новых подходов к обеспечению мобильности населения, основанных на принципах равенства, доступности и устойчивости передвижений. Только формирование устойчивых городов может обеспечить приемлемый уровень качества жизни и здоровья жителей не только нынешнего, но и будущих поколений [3–5].

В современных условиях передвижение на личных автомобилях, особенно с двигателями внутреннего сгорания, является главным препятствием для обеспечения устойчивой мобильности и поступательного развития. Города, ориентированные исключительно на автомобильные передвижения, будут неудобными для жизни и неэффективными в своём развитии [4].

Для решения этих проблем необходимо перейти к устойчивым городским транспортным системам, основанным на принципах равенства, доступности и экологической устойчивости. Это подразумевает развитие общественного транспорта, велосипедных дорожек и пешеходных зон, а также цифровизацию транспортных систем [6].

Цифровая трансформация создаст условия для внедрения новых моделей мобильности, таких как общественный транспорт, велосипеды и пешеходные зоны. Это поможет снизить нагрузку на дороги, уменьшить выбросы вредных веществ и улучшить экологическую ситуацию. Кроме того, развитие общественного транспорта и велосипедных дорожек сделает города более доступными для всех жителей, независимо от их материального положения.

Формирование устойчивых городских транспортных систем требует соблюдения следующих принципов:

- активное развитие общественного транспорта;
- внедрение передовых технологий и методов передвижения, обеспечивающих безопасность, доступность и комфорт;
- обеспечение равных возможностей и справедливости в удовлетворении транспортных потребностей для всех социальных групп населения;
- разработка и внедрение методов формирования спроса на экологичные виды передвижения;
- эффективное взаимодействие различных видов городского транспорта с акцентом на экологически чистые альтернативы;
- популяризация и создание благоприятных условий для активного использования велосипедов, ходьбы и средств индивидуальной мобильности;
- применение межотраслевого подхода для достижения баланса между удовлетворением транспортных потребностей и соблюдением требований в области здравоохранения, экологии и энергоэффективности;
- интеграция транспортного и территориального планирования;
- организация транспортного планирования на основе принципов прозрачности и участия всех заинтересованных сторон.

В Республике Беларусь в последнее время активно внедряют меры по обеспечению устойчивой городской мобильности, такие как развитие велосипедных дорожек, использование средств индивидуальной мобильности и экологически чистого транспорта.

Таким образом, переход к устойчивой городской мобильности является ключевым фактором для решения транспортных проблем и создания комфортных условий для жизни в городах.

Список литературы

1 Преобразование нашего мира: Повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030 года / Резолюция от 25 сентября 2015 года № 70/1 // Генеральная Ассамблея Организации Объединенных Наций.

2 Скирковский, С. В. Теоретические и практические подходы к созданию и развитию интеллектуальной транспортной системы города : [монография] / С. В. Скирковский, Д. В. Капский, Д. В. Навой. – Гомель : БелГУТ, 2022. – 171 с.

3 Лобашов, А. О. Планирование устойчивой городской мобильности : учеб.-метод. пособие / А. О. Лобашов [и др.]. – Минск : БНТУ, 2022. – 180 с.

4 Скирковский, С. В. Моделирование функционально-планировочной структуры города. / С. В. Скирковский, Д. В. Капский, Л. А. Лосин // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2021. – № 2 (43). – С. 11–15.

5 Капский, Д. В. Транспорт в планировке городов : учеб.-метод. пособие / Д. В. Капский, С. В. Скирковский. – Минск : БНТУ, 2015. – 144 с.

6 Устойчивая городская мобильность: теория и практика развития : учеб. / А. О. Лобашов [и др.]. – М. ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2023. – 236 с.

**ПРОБЛЕМЫ И ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛИ
РАСЧЕТА МЕЖРАЙОННЫХ КОРРЕСПОНДЕНЦИЙ
С УЧЕТОМ ТРАНСПОРТНОГО СПРОСА**

С. В. СКИРКОВСКИЙ

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Д. В. КАПСКИЙ

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Как и в рыночной ситуации, в сфере транспортных услуг действует так называемое рыночное равновесие (равновесие спроса и предложения). Потокораспределение в транспортной сети является аналогом рыночной ситуации равновесия, в которой участники движения создают спрос на использование элементов транспортной системы, возможности этих элементов выступают как предложение, а ценой являются затраты (времени, стоимости, уровня комфорта) участников движения, возникающие при использовании этих элементов. В случае, когда спрос превышает возможности предложения, происходит ухудшение условий движения, приводящее к росту таких затрат. Суммарный прирост таких затрат может использоваться как один из показателей общей перегрузки транспортной системы. Для отдельных участков сети такой рост может служить индикатором их недостаточной пропускной (провозной) способности. Кроме того, известно, что улучшение условий движения провоцирует увеличение трафика – проявляется так называемый индуцированный спрос [1, 2].

Нужно отметить, что в последние годы в практике градостроительного планирования транспортный спрос зачастую стал рассматриваться не как заранее заданная величина, определяющая структуру потокораспределения, а как инструмент управления транспортной системой города. В частности, за последние десятилетия накоплен опыт использования целого комплекса регулирующих мер, направленных на снижение спроса на использование индивидуального транспорта, особенно в ареалах плотной городской застройки. Моделирование матрицы межрайонных корреспонденций – основной этап расчета параметров транспортного спроса. Задача распределения передвижений (корреспонденций) между парами транспортных районов при известных значениях «отправлений» и «прибытий», определенных на этапе генерации поездок, имеет бесконечное множество решений.

Модели расчета межрайонных корреспонденций подразделяются на две большие группы: агрегированные и дезагрегированные. Агрегированные модели построены на усредненных значениях переменных, определяющих спрос на передвижения. Количество передвижений, определяемых агрегированными моделями, рассчитывается пропорционально размеру территории, генерирующей спрос, а спрос оценивается пропорционально населению, проживающему в транспортном районе. Количество передвижений, привлекаемых в тот или иной транспортный район, рассчитывается пропорционально количеству источников притяжения, располагающихся на рассматриваемой территории. Однако межрайонные корреспонденции – это совокупный результат индивидуальных передвижений городских жителей. Поэтому логично пользоваться дезагрегированными моделями как инструментом, чувствительным к индивидуальному транспортному поведению респондентов. Дезагрегированные модели описывают транспортное поведение индивида, учитывая влияние на него социально-экономических и градостроительных факторов. Поведенческие принципы связаны с двумя возможными ситуациями: 1) пользователи сети независимо друг от друга выбирают маршруты следования, соответствующие их минимальным транспортным расходам (время, деньги); 2) пользователи сети выбирают маршруты следования исходя из минимизации общих транспортных расходов в сети. Данные поведенческие принципы получили названия соответственно первого и второго принципов Вардропа. В первом случае каждый стремится достигнуть конечного пункта своей поездки как можно выгоднее для себя и из имеющихся возможных вариантов следования выбирает тот маршрут, по которому будет нести минимальные затраты (временные, финансовые, моральные и т. п.) на проезд. Поэтому данный принцип также называют пользовательской оптимизацией. Второй принцип Вардропа предполагает централизованное управление движением в сети. Соответствующее ему распределение транспортных потоков называют системным оптимумом, а сам принцип – системной оптимизацией [1, 3].

Говоря о 20–30-летней перспективе, на которую разрабатываются многие проекты, нельзя ориентироваться на конфигурацию сети, так как построение ее и является одной из основных целей разработки таких проектов. Таким образом, возникает потребность в разработке досетевых моделей формирования межрайонных корреспонденций, которые учитывали бы общий уровень транспортного обслуживания, скоростные параметры сети, но были бы менее подвержены влиянию геометрических особенностей и ограничений сети. Такие модели позволят более адекватно выявлять потенциальный спрос на межрайонные передвижения.

В течение длительного времени при разработке транспортных моделей принималось упрощающее предположение о том, что система мест приложения имеет однородную структуру. То есть отраслевая структура мест приложения труда в разных районах принималась одинаковой, и считалось, что все жители города, занятые в разных отраслях, одинаково реагируют на затраты, связанные с межрайонными передвижениями. Сейчас учитываются не только особенности территориального размещения мест приложения труда разных отраслей и времени осуществления корреспонденций, но и различия в уровнях автомобилизации, подвижности и других показателях.

При построении моделей расчета межрайонных корреспонденций транспортных систем городских агломераций применяются различные математические методы. Наилучшим образом при моделировании нагрузки в симбиотических транспортных системах, позволяющих учитывать транспортный спрос с целью снижения загрузки центральных районов крупных городов, показали себя гравитационная и энтропийная модели с учетом разделения потоков по способам передвижения.

Таким образом, при моделировании отраслевой структуры мест приложения труда предполагается, что для каждого жителя города взаимозаменяемыми являются рабочие места только той отрасли, в которой он занят, следовательно, возможность его выбора ограничена не общим количеством рабочих мест в районе, а только количеством рабочих мест района в соответствующей отрасли. Соответственно, и в районе отправления этот выбор осуществляют только жители, которые заняты в отрасли. В результате в модели формируется набор матриц корреспонденций по числу принятых отраслевых групп и способов передвижения внутри каждой группы [1, 4].

Список литературы

- 1 Капский, Д. В. Транспорт в планировке городов : пособие для студентов специальности 1-44 01 02 «Организация дорожного движения». В 10 ч. / Д. В. Капский, Л. А. Лосин. – Минск : БНТУ, 2019. – Ч. 1. Транспортное планирование: математическое моделирование. – 94 с.
- 2 Транспортное моделирование и оценка условий дорожного движения с использованием навигационной информации : [монография] / Д. В. Капский [и др.]. – Минск : Капитал Принт, 2018. – 144 с.
- 3 Введение в математическое моделирование транспортных потоков / под ред. А. В. Гасникова. – М. : Изд-во МЦНМО, 2012. – 377 с.
- 4 Федоров, В. П. Методы математического моделирования для проектирования городской транспортной системы на досетевом уровне / В. П. Федоров, Л. А. Лосин // Транспорт Российской Федерации. – 2012. – № 2 (39). – С. 42–45.

УДК 656.7.025

МЕРЫ ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ ТОРГОВЛЕ ЛЮДЬМИ В НАЦИОНАЛЬНОМ АЭРОПОРТУ МИНСК

Т. П. ФЕРАПОНТОВА

*Учебный центр авиационной безопасности ИКАО РУП «Национальный аэропорт Минск»,
г. Минск, Республика Беларусь*

Почему торговля людьми существует в современном обществе?

Торговля людьми (траффикинг) – это серьезная социальная проблема, представляющая опасность для фундаментальных прав человека: на жизнь, на свободу передвижения, на то, чтобы не подвергаться пыткам. В условиях растущей глобализации траффикинг стал всеобщей проблемой. Торговля людьми характерна для всех стран – и экономически развитых, и государств, переживающих переходный политический и экономический период, пострадавших от войн и локальных конфликтов.

В 2023 году на 32-й сессии Комиссии ООН по предупреждению преступности и уголовному правосудию была принята инициированная делегацией Беларуси резолюция «Принятие мер против

торговли людьми в коммерческих операциях, государственных закупках и цепочках поставок товаров и услуг».

Республика Беларусь активно взаимодействует с Управлением ООН по наркотикам и преступности (УНП ООН) по вопросам борьбы с торговлей людьми, а также является координатором созданной в ООН в 2010 году Группы друзей, объединившихся в борьбе с торговлей людьми.

По оценкам, торговля людьми приносит миллиарды долларов в год, являясь второй по прибыльности формой транснациональной преступности после торговли наркотиками.

Жертвами торговли людьми в мире каждый год становятся порядка 27 миллионов человек, а ежегодный доход, который приносит преступникам данная противозаконная деятельность, оценивается в 150 млрд дол. США. Борьба с торговлей людьми является одним из приоритетов деятельности Республики Беларусь на международной арене.

В последние несколько лет значительно выросло число выявленных жертв торговли людьми, особенно в странах Америки и Азии, но это, по мнению экспертов, свидетельствует не только о росте преступности, но и о том, что странам удается раскрывать все больше таких преступлений и находить потерпевших.

Согласно Всемирному докладу Управления ООН по наркотикам и преступности *о торговле людьми* за 2022 год, который является седьмым в своем роде, подготовленным по поручению Генеральной Ассамблеи в рамках Глобального плана действий ООН по борьбе с торговлей людьми 2010 года, преступники эксплуатируют самых незащищенных: 30 % выявленных пострадавших – дети, почти 70 % – женщины и несовершеннолетние девочки.

Ежегодный отчет Государственного департамента США о торговле людьми за 2024 год содержит самую полную в мире оценку этой отвратительной практики, а также усилий правительств и заинтересованных сторон по всему миру по борьбе с ней.

Согласно данному отчету Республика Беларусь за 2023 год выявила 381 жертву торговли людьми, что больше, чем 210 человек за 2022 год. Из 381 жертвы 269 были детьми, и, по крайней мере, 41 жертва эксплуатировалась за границей.

Авиация представляет собой один из способов транспортировки, используемых торговцами людьми. Весьма вероятно, что члены кабинного экипажа и другие сотрудники эксплуатанта на борту воздушного судна и в аэропорту столкнутся с ситуацией торговли людьми.

Существует необходимость подготовки всего соответствующего персонала в этой области, как на начальном уровне, так и на постоянной основе, чтобы способствовать выявлению торговли людьми и реагированию на нее во время полетов. Согласно Циркуляру 352 «Инструктивные указания по подготовке кабинного экипажа в области выявления торговли людьми и реагирование на нее» **учебный центр авиационной безопасности ИКАО РУП «Национальный аэропорт Минск» осуществляет данное обучение.**

Программа подготовки соответствующего персонала включает следующее:

- любые изменения в законодательстве или национальных правилах в отношении торговли людьми, влияющие на функции и обязанности членов кабинных экипажей;
- конкретные примеры ситуаций, происходящих в нашей стране, и из мировой практики;
- ссылки на учреждения по борьбе с торговлей людьми и источники полезной информации, публикации, с которыми можно ознакомиться по желанию.

Во время обучения важно повышать уровень осведомленности слушателей о проблеме торговли людьми в авиации, обеспечивать понимание роли сотрудников в выявлении предполагаемых случаев на борту и реагировании на них, затрагивать вопросы взаимодействия и поддержания связи между заинтересованными лицами.

В своей практике мы уделяем значение следующим вопросам:

1) общая информация о торговле людьми:

- элементы торговли людьми;
- причины, по которым происходит торговля людьми, включая описание жертв и торговцев;
- виды торговли людьми;

2) признаки жертв торговли людьми:

- общие признаки;
- особые признаки для наблюдения в полете;

3) процедуры, связанные с выявлением торговли людьми и реагированием на нее:

- управление ситуацией;
- концепция «не навреди».

На занятиях с авиационным персоналом мы используем аудиторную подготовку с элементами круглого стола, где каждый может высказать свое мнение о проблеме, поделиться историей или примером. Потому что, как правило, «через 5 рукопожатий» слушатели сталкивались с данной ситуацией. Мы обращаем внимание на проработку алгоритма действий в предполагаемых случаях, уделяем внимание сигналам оповещения с просьбой о помощи, разбираем видеопримеры с порядком действия и принципами взаимодействия с другими службами.

Как показала практика повышения осведомленности заинтересованных служб, авиационный персонал уделяет большее внимание безопасности пассажиров при возникновении подозрительных признаков. Сотрудники службы сервиса авиакомпании представляют собой первый барьер для обнаружения сомнительного поведения у пассажиров, задавая вопросы, у них есть шанс выявить возможные признаки торговли людьми. Затем в дело вступают сотрудники службы безопасности, они проводят дополнительные процедуры в случае возникновения опасений в отношении пассажиров. Бортпроводники каabinного экипажа при проведении профайлинга во время полета фиксируют и проверяют все возможные сомнения и подозрения в отношении пассажиров. Ну и конечно, летный экипаж, как ответственный за безопасность пассажиров на борту, принимает все необходимые меры, взаимодействуя с заинтересованными лицами на земле.

Повышая уровень осведомленности о проблеме торговли людьми в авиации, мы обеспечиваем понимание роли сотрудников в выявлении предполагаемых случаев на борту и в аэропорту и реагировании на них.

Подводя итоги, хотелось бы отметить, что меры противодействия торговле людьми в Республике Беларусь имеют комплексный характер. Совместно принимаемые действия позволяют не допустить вербовку, транспортировку, передачу, укрывательства людей с целью их эксплуатации для получения прибыли, потому что безопасность пассажиров это дело каждого, а не отдельных структур, подразделений и служб.

Список литературы

- 1 Борьба с торговлей людьми [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://www.mfa.gov.by/multilateral/global_issues/trafficking. – Дата доступа : 23.09.2024.
- 2 Противодействие торговле людьми [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://redcross-gomel.by/antitrafficking/>. – Дата доступа : 23.09.2024.
- 3 **Бородич, А. И.** Международное сотрудничество в противодействии торговле людьми [Электронный ресурс] / А. И. Бородич // Вестник Академии МВД Республики Беларусь. – 2020. – № 1. – С. 181–185. – Режим доступа : https://elib.amia.by/bitstream/docs/4815/1/2020_1_181.pdf. – Дата доступа : 23.09.2024.
- 4 Торговля людьми процветает во всех без исключения странах и регионах [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://news.un.org/ru/story/2019/01/1348092>. – Дата доступа : 23.09.2024.
- 5 2024 Trafficking in Person Reports [Electronic resource]. – Mode of access : <https://www.state.gov/reports/2024-trafficking-in-persons-report/>. – Date of access : 23.09.2024.
- 6 United Nations [Electronic resource]. – Mode of access : <https://www.unodc.org/unodc/en/data-and-analysis/glotip.html>. – Date of access : 23.09.2024.
- 7 Инструктивные указания по подготовке каabinного экипажа в области выявления торговли людьми и реагирования на нее [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://www.icao.int/safety/airnavigation/OPS/CabinSafety/Documents/Cir352_Russian.pdf. – Дата доступа : 23.09.2024.

УДК 656

ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ ОРГАНИЗАЦИИ ВЕЛОСИПЕДНОГО ДВИЖЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ЗАЩИЩЕННЫХ ВЕЛОСИПЕДНЫХ ПОЛОС

Д. П. ХОДОСКИН, А. А. МИХАЛКО

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

В нашей стране, как и во многих других странах мира, наблюдается рост числа велосипедистов. Связано это с различными тенденциями, в том числе в сфере общественного транспорта. Во-первых, велосипед характеризуется как простотой использования, так и удобством его эксплуатации. Активному развитию велосипедного движения в Республике Беларусь способствует принятие концепций и программ развития велосипедного движения как основы организации движения всех средств персональной

мобильности, а также внесение изменений в действующее законодательство. Во-вторых, изменения в правила дорожного движения создали ряд условий, способствующих наиболее активному использованию велосипедов. Всё это в совокупности (что-то косвенно!) на сегодняшний день всё еще создает условия для совершения дорожно-транспортных происшествий (ДТП) с велосипедистами.

Во многих городах и странах для защиты велосипедистов устраивают «защищённые» полосы движения, которые представляют собой специально выделенное пространство, отделённое от проезжей части и пешеходных тротуаров с помощью специальных мер: парковочных мест, делиниаторов, малых архитектурных форм, газонов, деревьев или кустарников, оград и т. п. Такие полосы обладают следующими преимуществами [1]: существенно более высокая степень защиты велосипедистов относительно обычных рекомендательных или обязательных велополос; существенно более низкая стоимость (примерно в 10 раз) относительно велодорожек и приподнятых (гибридных) велополос; существенно более короткий период строительства с минимальными помехами дорожному движению; практически полное исключение возможности незаконной парковки автомобилей на полосе; обеспечение хорошей видимости и обзорности для всех участников дорожного движения; хорошая совместимость с дизайном «защищённых» остановок общественного транспорта; отличная совместимость с дизайном «защищённых» велоперекрёстков и «защищённых» круговых велоперекрёстков; адаптируемость к возможному увеличению интенсивности велосипедного движения в будущем; удобство зимнего содержания, так как имеется место для складирования снега.

Велосипедисты по-разному оценивают удобство защищённых полос различной конструкции: наиболее удобными считаются те, которые обеспечивают максимально возможное ощущение безопасности (рисунок 1). При правильном выборе методов разделения (отделения) транспортного потока можно практически полностью исключить несанкционированную парковку автомобилей на защищённой велополосе. Одним из критических недостатков обычных велосипедных полос считается их несовместимость с остановками общественного транспорта, например, автобусными [2]. Как правило, полосы просто прерываются в местах остановок, ставя велосипедистов перед выбором: объезжать автобус слева по проезжей части, подвергая себя опасности, или справа, выезжая на тротуар и подвергая опасности пассажиров и пешеходов, или останавливаться и ждать позади автобуса, теряя попусту своё время. Дизайн защищённых велополос хорошо сочетается с безопасным дизайном автобусных остановок, поскольку оставляет место для обустройства посадочной площадки. Эта посадочная площадка (даже совсем небольшая) позволяет разделить пассажиров и велосипедистов в момент входа/выхода, существенно повышая безопасность для тех и других. Статистика свидетельствует, что наибольшее количество ДТП с участием велосипедистов и автомобилей происходят на перекрёстках. Защищённые велосипедные полосы отлично сочетаются и с дизайном наиболее безопасных перекрёстков. Дизайн защищённых велополос хорошо сочетается с необходимостью их содержания (особенно зимнего). Единственное, что при этом требуется, – обеспечить достаточную для проезда уборочной техники ширину полосы (рисунок 2) [1]. Однако такое расположение может стать опасным на перекрёстках и выездах: из движущегося автомобиля велосипеды на велосипедной полосе вы видите хорошо, а за парковками – очень плохо. Таким образом, если между последним припаркованным транспортным средством и следующим перекрёстком не остается большого расстояния, риск ДТП на повороте увеличивается (рисунок 3) [3–5].



Рисунок 1 – Примеры наиболее удобных (защищённых) вариантов велосипедных полос [1]

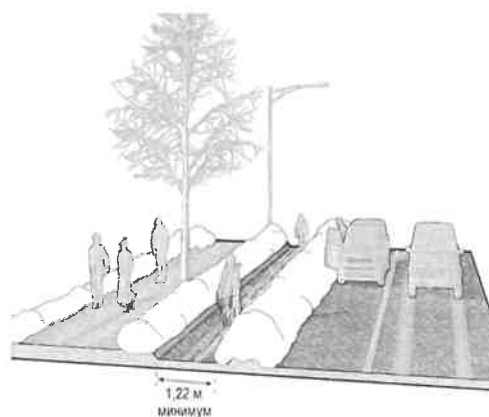


Рисунок 2 – Приспособленность защищённой велосипедной полосы к зимнему содержанию [1]

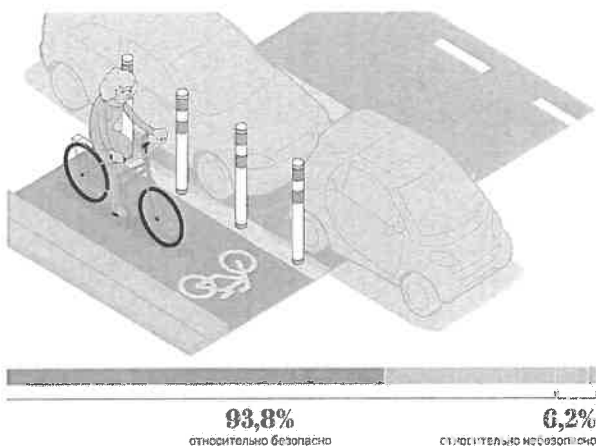


Рисунок 3 – Неудовлетворительная видимость велосипедиста из-за припаркованного транспорта [3]

Таким образом, защищённая велосипедная полоса является наиболее безопасным и эффективным решением для организации движения велосипедистов, как одних из наиболее уязвимых участников дорожного движения, в городах. Однако её устройство требует дополнительного землеотвода. Как его получить – задача и для тех, кто планирует движение, и для тех, кого оно касается. Проблемой для развития велосипедного движения является также и высокая зависимость от погодных условий (опыт показывает, что иногда прибегают к полному укрытию полосы, учитывая небольшую их ширину). Другой проблемой являются гидрогеологические условия и наличие разнообразных подземных коммуникаций, которые осложняют выполнение оснований для путей под велосипедное движение.

Список литературы

- 1 Велосипедный транспорт в городах : [монография] / Ю. В. Трофименко [и др.]. – М. : МАДИ, 2020. – 154 с.
- 2 Руководство по развитию велодорожек AASHTO (США) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://docviewer.yandex.by/view/358587982/?page=1&*=awyuhwRPyc0. – Дата доступа : 10.04.2024.
- 3 Какие велодорожки безопаснее? [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://alexradchenko.medium.com/какие-дороги-будут-в-берлине-db3892d0aca6>. – Дата доступа : 10.04.2024.
- 4 Как сделать перекрёсток безопасным для велосипедов [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://velonation.bike/2018/10/16/intersection/>. – Дата доступа : 10.04.2024.
- 5 Причины снижения дорожной аварийности с участием велосипедистов [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://elib.institutemvd.by/jspui/bitstream/MVD_NAM/6754/1/kasjanov.pdf. – Дата доступа : 19.05.2024.

УДК 629.4.02

КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СТРУННОГО ТРАНСПОРТА КАК ОСНОВА ЕГО КОМФОРТА И БЕЗОПАСНОСТИ

А. Э. ЮНИЦКИЙ, С. В. АРТЮШЕВСКИЙ
ЗАО «Струнные технологии», г. Минск, Республика Беларусь

В докладе рассматриваются особенности конструкции струнного транспорта и используемых систем пассажирских и грузовых рельсовых транспортных средств (РТС), обеспечивающих комфорт и безопасность движения. РТС представляет собой беспилотный электромобиль, управление которым осуществляется автоматической системой управления (АСУ) без присутствия в нём оператора. Основные требования к разрабатываемому РТС [1] заключаются в том, что оно должно быть:

- безопасным и комфортным для пассажиров;
- экологичным;
- энергоэффективным.

Особенностью исполнения подвижного состава РТС uST является модульность конструкции (рисунок 1), когда РТС состоит из отдельных модулей, таких как:

- тяговый модуль – часть РТС (рисунок 1, б), предназначенная для обеспечения всех режимов движения по путевой структуре, с изменением направления и скорости движения, а также обеспечения остановки и стоянки;
- пассажирский модуль – часть РТС, предназначенная для размещения и безопасной перевозки пассажиров и багажа в виде ручной клади, пассажирообмен на остановках и регламентированные параметры микроклимата;
- грузовой модуль – часть РТС, предназначенная для размещения, крепления и транспортирования груза.

При комбинировании модульность конструкции позволяет получать требуемую в данный период характеристику транспортного комплекса (ТК) по грузо-, пассажиропотоку. К примеру, пассажирский и грузовой модули могут быть как отдельными РТС, так и частью одного составного РТС, при этом грузовой и пассажирский модули могут быть взаимозаменяемыми при одном и том же тяговом модуле.

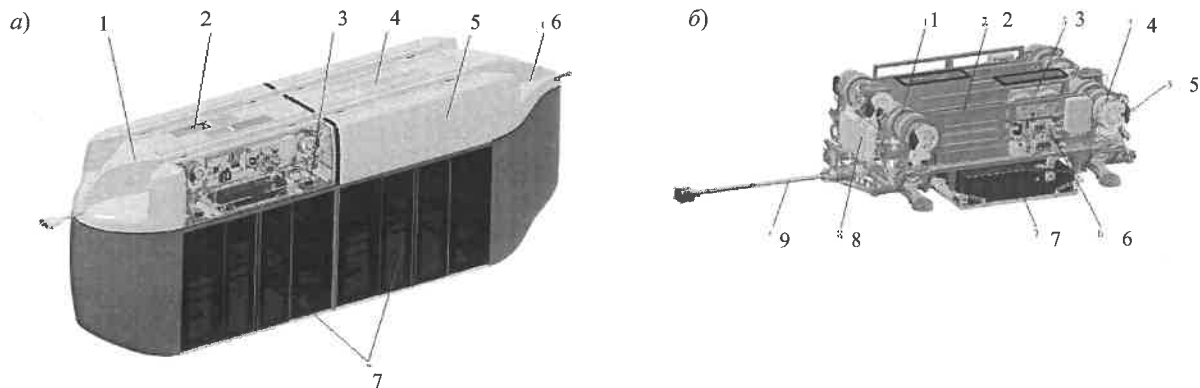


Рисунок 1 – Модульность конструкции РТС uST:

a – общий вид РТС юнибус U4-220 (1, 2, 6 – обтекатели; 3 – передний тяговый модуль; 4, 5 – задний тяговый модуль; 7 – пассажирские модули); *б* – тяговый модуль РТС юнибус U4-220 (1 – колесо; 2 – рама; 3 – система охлаждения; 4 – электродвигатель; 5 – фрикционный тормоз; 6 – гидросистема; 7 – накопитель энергии; 8 – инвертор; 9 – АБУ)

Основу тягового модуля составляет тяговая тележка, образующая несущую систему РТС с приводом [2]. Тяговая тележка состоит из колёсных блоков, связанных между собой рамой с установленными на ней элементами рабочих систем (пневматика, гидравлика, система охлаждения, тормозная система, система подрессоривания, система тягового электропривода, система электропитания и пр.).

Конфигурация тягового модуля зависит от типа путевой структуры, который может быть навесным, если модуль располагается выше дорожки качения, либо подвесным (ниже дорожки качения соответственно). Неотъемлемой его частью являются опорные колёса со ступичным узлом, соединительные элементы и система подвески тяговой тележки.

Назначение подвески – сделать езду безопасной, плавной и комфортной. Для этих целей оптимально подходит пневматическая двухступенчатая подвеска в комбинации пневморессор рукавного и баллонного типов. Рукавный пневмоэлемент имеет большой ход и предназначен для обеспечения комфортного проезда зон изменения деформативности пути. Эти возмущения имеют низкую частоту и большую амплитуду. Пневмоэлемент баллонного типа направлен на поглощение низкоамплитудных высокочастотных колебаний, связанных с микронеровностью пути. Достигнутый показатель плавности хода W составляет 2,5–3,0.

Первая основная ступень подвески регулирует перемещение колёс в продольном и поперечном направлениях, демпфируя вертикальные колебания, передаваемые на раму тележки. Также она отвечает за равномерное распределение нагрузки на колёса, обеспечивая требуемые характеристики торможения и сцепления для предотвращения угрозы схода с рельсов. Вторая ступень подвески соединяет тележку с корпусом РТС, отвечает за стабильность положения кузова при прохождении кривых, а также во время разгона и торможения. Эта ступень обеспечивает высокую динамическую подвижность РТС во всех направлениях. Функционально первичная подвеска гасит низкочастотные колебания, а вторичная убирает тряску.

Применение регулируемой системы подрессоривания позволяет реализовать ряд дополнительных функций безопасности РТС:

- поддержание требуемой высоты пола грузового/пассажирского модуля относительно перрона вне зависимости от степени загрузки РТС;
- минимизация величины продольного крена кузова при разгоне и торможении РТС за счёт изменения высоты пневморессор на соответствующей оси;
- минимизация величины поперечного крена кузова при прохождении РТС радиусных участков пути и ветровом воздействии.

Ходовая система РТС [3] обеспечивает составную часть системы комплексной безопасности движения UST и достигается преимущественно за счёт:

– кинематики рычагов подвески (в случае выхода из строя упругого элемента одной оси вся нагрузка переходит на второй без поперечного крена кузовного модуля относительно тягового модуля);

– геометрической формы каркаса тележки, реализованной в виде подковы, охватывающей рельс по периметру, что исключает возможность падения РТС с рельса (установку РТС на путевую структуру производят на специальных участках пути);

– наличия боковых направляющих роликов/лыж, которые в штатном режиме движения не контактируют с боковыми поверхностями рельсового элемента и вступают в контакт при внештатных ситуациях;

– наличия отбойников, исключающих попадание посторонних предметов под опорные колёса;

– исключения человеческого фактора (АСУ обеспечивает полный контроль скорости и маршрута, бесперебойную круглосуточную эксплуатацию, безопасные перевозки пассажиров и грузов даже в сложных погодных условиях).

Описанная выше архитектура модульного конструктивного исполнения РТС uST внедрена в различных разработанных, изготовленных и испытанных типах транспорта (таких как U4-210, U4-220, U5-54304, U4-212 и пр.). Все перечисленные РТС прошли сертификацию на подтверждение безопасности и готовы к внедрению в адресных проектах.

Список литературы

1 Юницкий, А. Э. Транспортно-инфраструктурные комплексы Юницкого как комплексное решение транспортных проблем в области энергоэффективности, экологичности и безопасности / А. Э. Юницкий, С. В. Артюшевский // Транспорт России: проблемы и перспективы-2022 : материалы Междунар. науч.-практ. конф., 9–10 ноября 2022 г. – СПб. : ИПТ РАН, 2022. – С. 139.

2 Юницкий, А. Э. Струнный транспорт для городских перевозок пассажиров / А. Э. Юницкий, В. А. Гарах, М. И. Цырлин // Наука и техника транспорта. – 2021. – №. 3. – С. 19–25.

3 Конструктивные особенности юникара тропического для городских перевозок пассажиров / А. Э. Юницкий [и др.] // Инновационный транспорт. – 2021. – №. 1. – С. 8–15.

УДК 629.4.05

СНИЖЕНИЕ ВЕТРОВЫХ КОЛЕБАНИЙ ПОДВЕСНОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА UST ЗА СЧЁТ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМЫ ГИРОСТАБИЛИЗАЦИИ

*А. Э. ЮНИЦКИЙ, С. В. АРТЮШЕВСКИЙ, И. А. КУЗЬМИН, Г. А. КУРИНСКАЯ
ЗАО «Струнные технологии», г. Минск, Республика Беларусь*

Юнилайт представляет собой подвесное бирельсовое автоматизированное самодвижущееся транспортное средство (ТС) струнных транспортных систем Юницкого [1, 2] массой 1600 кг, состоящее из транспортного и пассажирского модулей. Основным силовым элементом является рама. В движение его приводят электродвигатели, которые установлены на каждом колесе. Для гашения колебаний применены моноамортизаторы, установленные под наклоном на рычагах подвески (рисунок 1).

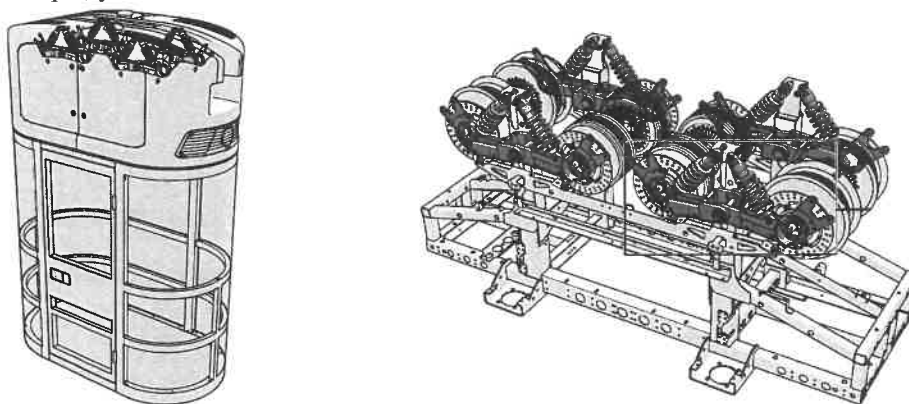


Рисунок 1 – Подвеска Юнилайта

В условиях ветровых нагрузок необходимо поддержание параметров углового положения во время движения ТС, чего можно добиться с помощью системы гиросtabilизации. Для этого требуется создание необходимого значения величины противомомента возмущающей силе.

Расчёт проводился в два этапа для трёх типов маховиков в спаренной схеме массой 2×25 кг, 2×50 кг и 2×100 кг. Цель первого расчёта – определить время достижения максимального крена ТС различной загруженности с гиросtabilизатором (ГС) при воздействии ветра и гравитации. Все схемы показали состоятельность и возможность применения, отличительной характеристикой стала частота вращения, от 5600 об/мин для 100-килограммовых маховиков до 14 000 об/мин при 25-килограммовых и геометрические параметры вращающихся элементов. Результаты расчёта маховиков 2×50 кг показаны на рисунке 2.

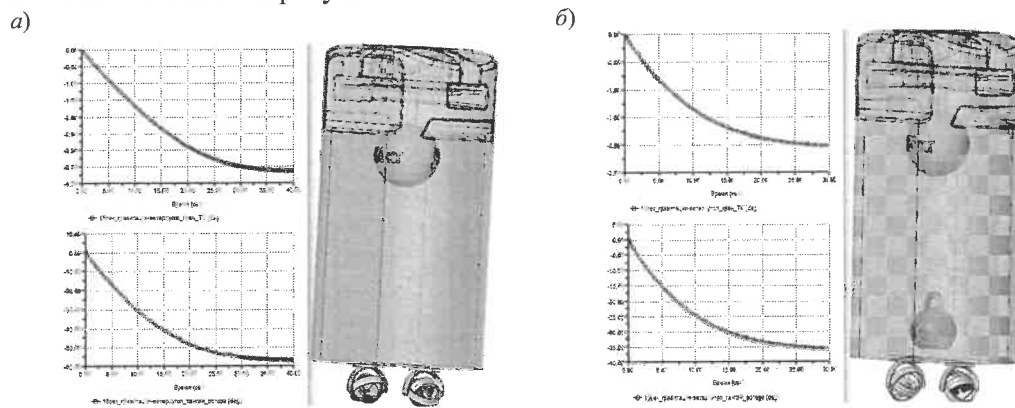


Рисунок 2 – Результаты динамического расчёта ТС Юнилайт на воздействие гравитации и ветра: а – без полезной нагрузки; б – с полезной нагрузкой

Цель второго расчёта – определить амплитуду крена ТС различной загруженности с гиросtabilизатором для трёх типов маховиков при воздействии пульсирующего ветра и гравитации. Результаты расчёта маховиков 2×50 кг показаны на рисунке 3 и в таблице 1. В расчёте были применены демпфирование вращения ТС (25 m N sec/deg) и рамки гироскопа (5 m N sec/deg), вычисленные эмпирически для максимально приближённого к реальности поведения ТС при внешнем воздействии. Для уточнения этих величин необходимы натурные испытания.

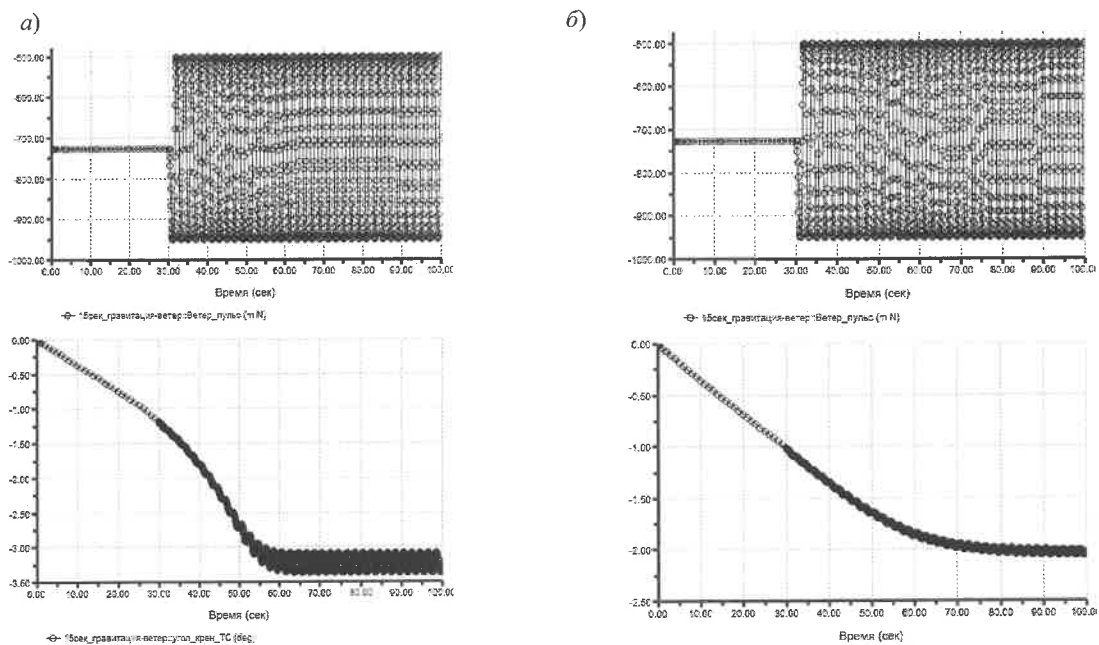


Рисунок 3 – Результаты динамического расчёта ТС Юнилайт на воздействие гравитации и пульсирующего ветра: а – без полезной нагрузки; б – с полезной нагрузкой

Таблица 1 – Результаты расчётов трёх типов маховиков в спаренной схеме для двух условий эксплуатации – при статичном ветре и при пульсирующем

Расчётный показатель	Варианты ГС ТС Юнилайт			
	Без ГС	ГС 2×25 кг	ГС 2×50 кг	ГС 2×100 кг
Скорость вращения гироскопа, об/мин	–	14 000	8 600	5 800
Момент инерции гироскопа, кг·м ²	–	2 × 0,36	2 × 2,13	2×10,48
Масса полезного груза, кг	450	350	300	200
Крен ТС при статичной ветровой нагрузке, град, без груза / с грузом	5,3 / 2,2	5,3 / 2,2	5,3 / 2,2	0,6 / 0,7 (в течение 187 с / 191 с)
Среднеквадратичный Крен ТС, град, без груза / с грузом	5,01 / 2,14	3,75 / 2,1	3,19 / 2,02	2,5 / 2,3 (предел гироскопа)
Амплитуда колебаний крена ТС, ± град, без груза / с грузом	3,12 / 0,8	0,43 / 0,3	0,06 / 0,02	<0,1 / <0,1 (предел гироскопа)
Время стабилизации крена ТС, с, без груза / с грузом	35 / 45	30 / 30	60 / 80	184 / 195 (предел гироскопа)

Исходя из поставленной задачи – обеспечить стабильное положение ТС с максимальным отклонением $\pm 5^\circ$ при ветре до 15 м/с – с точки зрения компоновки ТС, безопасности и требований к приводным элементам, предлагается применить спаренный двухмаховичный гироскоп с массой каждого маховика 50 кг и частотой вращения 8 600 об/мин. Угол статичного отклонения при этом будет от $2,02^\circ$ до $3,19^\circ$ (в зависимости от загрузки ТС), а амплитуда колебаний от пульсирующей ветровой нагрузки 15 ± 30 % м/с не более $\pm 0,06^\circ$.

Предложенные схемы показывают возможность комбинирования ГС с различными массогабаритными характеристиками для встраивания в конструкцию кузовов подвесных ТС. Ключевым фактором является момент сопротивления, который малоэффективен для статичной нагрузки, так как имеет накопительный эффект и высокоэффективен для гашения переменной составляющей ветровой нагрузки.

Список литературы

1 Юницкий, А. Э. Транспортно-инфраструктурные комплексы Юницкого как комплексное решение транспортных проблем в области энергоэффективности, экологичности и безопасности / А. Э. Юницкий, С. В. Артюшевский // Транспорт России: проблемы и перспективы-2022 : материалы Междунар. науч.-практ. конф., 9–10 ноября 2022 г. – СПб. : ИИТ РАН, 2022. – С. 139.

2 Юницкий, А. Э. Струнный транспорт для городских перевозок пассажиров / А. Э. Юницкий, В. А. Гарах, М. И. Цырлин // Наука и техника транспорта. – 2021. – №. 3. – С. 19–25.

8 ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ В ОБЕСПЕЧЕНИИ БЕЗОПАСНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

УДК 539.3

ФОРМИРОВАНИЕ РАСЧЕТНОЙ СХЕМЫ ОБОЛОЧЕЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ПЕРЕМЕННЫХ НАГРУЖЕНИЯХ

А. АБДУСАТТАРОВ, Ф. Э. АБДУКАДИРОВ, С. Ш. ХОЖАХМАТОВ

Ташкентский государственный транспортный университет, Республика Узбекистан

На основе соотношений нелинейной теории оболочек и вариационного принципа получены уравнения равновесия для оболочечных конструкций подкрепленных шпангоутами.

Следуя [1, 2], обозначим через $\sigma_{ij}^{(n)}$ и $\varepsilon_{ij}^{(n)}$ компоненты напряжений и деформаций при n -м нагружении элементов оболочечных конструкций. Введем разности:

$$\bar{\sigma}_{ij}^{(n)} = (-1)^{(n)} (\sigma_{ij}^{(n+1)} - \sigma_{ij}^{(n)}), \quad \bar{\varepsilon}_{ij}^{(n)} = (-1)^{(n)} (\varepsilon_{ij}^{(n+1)} - \varepsilon_{ij}^{(n)}). \quad (1)$$

Согласно [2] приводим следующие уравнения для оболочечного элемента, связывающие напряжения и деформации, при переменном нагружении:

$$\bar{\sigma}_{11}^{(n)} = \left(K - \frac{2}{9} \frac{\bar{\sigma}_u^{(n)}}{\bar{\varepsilon}_u^{(n)}} \right) \bar{\theta}^{(n)} + \frac{2}{3} \frac{\bar{\sigma}_u^{(n)}}{\bar{\varepsilon}_u^{(n)}} \bar{\varepsilon}_{11}^{(n)} \quad (1 \rightarrow 2); \quad \bar{\sigma}_{12}^{(n)} = \frac{\bar{\sigma}_u^{(n)}}{3 \bar{\varepsilon}_u^{(n)}} \bar{\varepsilon}_{12}^{(n)}, \quad (2)$$

$$\bar{\sigma}_u^{(n)} = \Phi(\bar{\varepsilon}_u^{(n)}). \quad (3)$$

Соотношения (2) преобразуем, пренебрегая $\bar{\sigma}_{33}^{(n)}$ относительно $\bar{\sigma}_{11}^{(n)}$ и $\bar{\sigma}_{22}^{(n)}$, и в результате получим следующие зависимости:

$$\bar{\varepsilon}_{11}^{(n)} = \frac{1}{9K} (\bar{\sigma}_{11}^{(n)} + \bar{\sigma}_{22}^{(n)}) + \frac{1}{E_c} \left(\bar{\sigma}_{11}^{(n)} - \frac{1}{2} \bar{\sigma}_{22}^{(n)} \right); \quad (1 \rightarrow 2)$$

$$\bar{\varepsilon}_{33}^{(n)} = -\frac{1 - \alpha_c^{(n)}}{1 + 2\alpha_c^{(n)}} (\bar{\varepsilon}_{11}^{(n)} + \bar{\varepsilon}_{22}^{(n)}); \quad \bar{\varepsilon}_{12}^{(n)} = \frac{3}{E_c} \bar{\sigma}_{11}^{(n)}, \quad (4)$$

где

$$\alpha_c^{(n)} = \frac{2}{9} \frac{E_c^{(n)}}{K}, \quad E_c^{(n)} = \frac{\bar{\sigma}_u^{(n)}}{\bar{\varepsilon}_u^{(n)}}, \quad E_k^{(n)} = \frac{d\bar{\sigma}_u^{(n)}}{d\bar{\varepsilon}_u^{(n)}}. \quad (5)$$

При линейной аппроксимации диаграмм деформирования (3) имеем

$$\omega^{(n)} = \begin{cases} 0, & \text{при } \bar{\varepsilon}_u^{(n)} \leq \varepsilon_{sn} \\ \lambda_n \left(1 - \frac{\varepsilon_{sn}}{\bar{\varepsilon}_u^{(n)}} \right), & \text{при } \bar{\varepsilon}_u^{(n)} > \varepsilon_{sn} \end{cases} \quad (6)$$

В случае обобщенного принципа Мазинга $\lambda_n = \lambda$, $\varepsilon_{sn} = \alpha_n \varepsilon_s$, масштабный коэффициент определяется из эксперимента и может быть выражен в следующем виде для упрочняющихся и разупрочняющихся материалов [3]:

$$\alpha_n = Q(n-1)^\alpha \quad (7)$$

и для циклически анизотропных материалов

$$\alpha_n = Q^*(n-1)^\kappa + \left\{ \frac{Q-Q^*}{2} + (-1)^n \frac{Q-Q^*}{2} \right\} (n-1)^\kappa, \quad (8)$$

где Q, Q^*, α, κ – константы материала.

Применяя способ линеаризации по методу Ньютона – Канторовича к зависимости (4), получили следующие соотношения, связывающие внутренние усилия и моменты в срединной поверхности

оболочечного элемента с компонентами тангенциальной и изгибной деформаций этой поверхности на $(s + 1)$ -м приближении [4]:

$$\bar{N}^{(s+1)} = [\bar{C}^{(s)}] \bar{\varepsilon}^{(s+1)} - \bar{D}^{(s)}, \quad (9)$$

$$\text{где} \quad \bar{N}^{(s+1)} = [\bar{T}_{11} \bar{T}_{22} \bar{M}_{11} \bar{M}_{22} \bar{S} \bar{H}]^T; \quad \bar{\varepsilon}^{(s+1)} = [\bar{E}_{11} \bar{E}_{22} \bar{K}_{11} \bar{K}_{22} \bar{E}_{22} 2\bar{K}_{12}]^T \quad (10)$$

$$\bar{S} = \bar{T}_{12} - K_2 \bar{M}_{21}; \quad \bar{M}_{21} = \bar{T}_{21} - K_2 \bar{M}_{12}; \quad \bar{H} = \bar{M}_{12} = \bar{M}_{21}$$

Аналогичным образом, повторив все выкладки, как для исходного нагружения [4], установим физические соотношения для кругового кольца:

$$\bar{Q}_k = [\bar{G}_{13}] \bar{\varepsilon}_k, \quad (11)$$

$$\text{где} \quad \bar{Q}_k = [\bar{T} \bar{M}_x \bar{M}_z \bar{M}]^T; \quad \bar{\varepsilon}_k = [\bar{\varepsilon} \bar{\kappa}_x \bar{\kappa}_z \bar{\kappa}]^T, \quad (12)$$

Для решения краевых задач к приведенным соотношениям следует присоединить уравнение равновесия оболочечных конструкций и соответствующие граничные условия.

Предположим, что внешние нагрузки, действующие на конструкции, могут быть представлены в виде рядов Фурье [4] по кольцевой координате a_2 с периодом 2γ . Для p -го оболочечного элемента на $(s + 1)$ -м приближении метода Ньютона – Канторовича получаем системы соотношений (индексы для простоты опущены): геометрические и физические соотношения, а также уравнения равновесия.

Полученная система алгебраических и дифференциальных уравнений относительно неизвестных, может быть сведена к системе восьми обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка относительно неизвестных:

$$y_1 = \bar{T}_{11}; \quad y_2 = \bar{Q}_{11} + \bar{n}\bar{H}; \quad y_3 = \bar{M}_{11}; \quad y_4 = \bar{S} + 2k_2\bar{H}; \quad y_5 = \bar{U}; \quad y_6 = \bar{W}; \quad y_7 = \bar{\theta}; \quad y_8 = \bar{V}.$$

Эта систему можно представить в виде [4]

$$\bar{Y}' = \bar{f}(\alpha_1, \bar{Y}^{(s)}, \bar{Y}) + \bar{b}(\alpha_1, \bar{Y}^{(s)}), \quad (13)$$

где

$$\begin{aligned} f_1 &= -\psi(y_1 - \bar{T}_{22}^*) - \bar{n}(y_4 - 2k_2\bar{H}) - k_1 y_2; \\ f_2 &= -\psi y_2 + \bar{n}(\bar{Q}_{22} - 2\psi\bar{H}) + k_1 y_1 + k_2 \bar{T}_{22}^*; \\ f_3 &= -\psi(y_3 - \bar{M}_{22}^*) + y_2 - 2\bar{n}\bar{H} + \bar{Q}_{11}^*; \\ f_4 &= -\psi y_4 + \bar{n}\bar{T}_{22}^* + k_2 \bar{Q}_{22}; \quad f_5 = \bar{E}_{11}^* - k_1 y_6 - y_7^{(s)} y_7; \\ f_6 &= k_1 y_5 - y_7; \quad f_7 = \bar{K}_{11}^*; \\ f_8 &= \bar{E}_{12} + \psi y_8 + \bar{n} y_5 - y_7^{(s)} \bar{\theta}_2 - \bar{\theta}_2^{(s)} y_7. \end{aligned} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} b_1 &= -\bar{q}_1 + \psi \bar{T}_{22}^{**}; \quad b_2 = -\bar{q}_3 + k_2 \bar{T}_{22}^{**} + \bar{n}^2 \bar{M}_{22}^{**} + \bar{n} \bar{Q}_{22}^{\sim}; \\ b_3 &= \psi \bar{M}_{22}^{**} + \bar{Q}_{11}^{\sim}; \quad b_4 = -\bar{q}_2 + k_2 \bar{T}_{22}^{**} + \bar{n}^2 \bar{M}_{22}^{**}; \\ b_5 &= \bar{E}_{11}^{**}; \quad b_6 = 0; \quad b_7 = \bar{K}_{11}^{**}; \quad b_8 = 0. \end{aligned}$$

Величины \bar{E}_{22}^* , \bar{K}_{22}^* , \bar{H} , \bar{Q}_{22} , \bar{Q}_{22}^{\sim} в выражении (14) вычисляются по аналогичным формулам [4].

Соотношения связывающие деформации $\bar{\varepsilon}_k$ срединной линии i -го кольцевого элемента с перемещениями $\bar{\Delta}_i$, этой линии при повторном нагружении можно представить в следующем виде:

$$\bar{\varepsilon}_k = [G_0] \bar{\Delta}_i, \quad (15)$$

где

$$[G_0] = \begin{bmatrix} 0 & k_r & 0 & \tilde{n} \\ \tilde{n} & 0 & -k_r & 0 \\ 0 & \tilde{n} & 0 & k_r \tilde{n} \\ k_r \tilde{n} & 0 & -\tilde{n} & 0 \end{bmatrix}; \quad \bar{\varepsilon}_k = [\bar{\varepsilon} \bar{\kappa}_x \bar{\kappa}_z \bar{\kappa}]^T; \\ \bar{\Delta}_i = [\bar{U}_i \bar{W}_i \bar{\varphi}_i \bar{\gamma}_i]^T$$

физические соотношения для кольцевого элемента имеют вид

$$\bar{Q}_k = [G_1] \bar{\Delta}_i; \quad [G_1] = [\bar{G}_3] [G_0] \quad (16)$$

$$[\bar{G}_3] = \begin{bmatrix} EF\bar{\zeta}_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & E\bar{\zeta}_2 & E\bar{\zeta}_{xz} & 0 \\ 0 & E\bar{\zeta}_{xz} & E\bar{\zeta}_x & 0 \\ 0 & 0 & 0 & G_1\bar{\zeta}_k \end{bmatrix}$$

Уравнения равновесия i -го кольцевого элемента принимают вид

$$[G_i] \bar{\Delta}_i = \|\theta_i\| \bar{f}_i + \sum_j \sum_s \xi_i^{ijs} [\varphi_i^{ijs}] \bar{p}_i^{ijs} + \sum_j \sum_s \xi_{Ci}^{ijs} [\varphi_{Ci}^{ijs}] \bar{p}_{Ci}^{ijs}.$$

Обобщенные перемещения $\bar{W}_i^{ijs} = [y_{5i}^{ijs} y_{6i}^{ijs} y_{7i}^{ijs} y_{8i}^{ijs}]^T$ оболочечного элемента, примыкающего к i -му узловому элементу, связаны с обобщенными перемещениями $\bar{\Delta}_i$ срединной линии узлового элемента соотношением $\bar{W}_i^{ijs} = [\varphi_i^{ijs}] \bar{\Delta}_i$.

Таким образом, получили разрешающую систему уравнений в $(s + 1)$ -м приближении, описывающую упругопластическое поведение оболочечной конструкции при переменном нагружении:

$$\frac{dY_p^{(s+1)}}{d\alpha_1^p} = \bar{f}^p(\alpha_1^p, \bar{n}^p, Y_p^{(s)}, Y_p^{(s+1)}) + b^p(\alpha_1^p, \bar{n}^p, Y_p^{(s)}), \quad (17)$$

$$[G_i] \bar{\Delta}_i = \|\theta_i\| \bar{f}_i + \sum_j \sum_s \xi_i^{ijs} [\varphi_i^{ijs}] \bar{p}_i^{ijs} + \sum_j \sum_s \xi_{Ci}^{ijs} [\varphi_{Ci}^{ijs}] \bar{p}_{Ci}^{ijs}. \quad (18)$$

Решение системы (17), (18) позволяет определить неизвестные \bar{Y}_p ($p = \overline{1, N_s}$) и $\bar{\Delta}_i$ ($i = \overline{1, N_r}$), а следовательно, и все компоненты НДС оболочечных и кольцевых элементов конструкции при переменном нагружении.

Согласно обобщенному принципу Мазинга после определения величин с чертой искомые решения, например прогиб и напряжение, найдем по формулам [2]

$$W^{(n)} = W' - \sum_{k=2}^n (-1)^k \bar{W}^{(k)}, \quad \sigma_{ij}^{(n)} = \sigma'_{ij} - \sum_{k=2}^n (-1)^k \bar{\sigma}_{ij}^{(k)} \quad (19)$$

здесь величины $\bar{W}^{(k)}$ и $\bar{\sigma}_{ij}^{(k)}$ находятся на основе теоремы о переменном нагружении.

На основе разработанной методики расчета и процедур приводятся решения ряда упругопластических задач при повторном нагружении, анализируется кинетика НДС составных оболочечных конструкций [5]

Список литературы

- 1 Ильюшин, А. А. Пластичность / А. А. Ильюшин. – М. : Гостехиздат, 1948. – 376 с.
- 2 Москвитин, В. В. Циклические нагружения элементов конструкций / В. В. Москвитин. – М. : Наука, 1981. – 344 с.
- 3 Гусенков, А. П. Малоцикловая прочность оболочечных конструкций / А. П. Гусенков, Г. В. Москвитин, В. Н. Хошилов. – М. : Наука, 1989. – 254 с.
- 4 Мяченков, В. И. Методы и алгоритмы расчета пространственных конструкций на ЭВМ / В. И. Мяченков, В. П. Мальцев. – М. : Машиностроение, 1984. – 280 с.
- 5 Абдусаттаров, А. Деформирование и повреждаемость упругопластических элементов конструкций при циклических нагружениях / А. Абдусаттаров, Э. И. Старовойтов, Н. Б. Рузиева. – Ташкент : IDEAL PRESS, 2023. – 381 с.

УДК 539.3.677.021

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ТКАНЫХ КОНСТРУКЦИЙ И ДЕФОРМАЦИОННЫХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ С УЧЕТОМ ПОВРЕЖДАЕМОСТИ

А. АБДУСАТТАРОВ,

Ташкентский государственный транспортный университет, Республика Узбекистан

А. Д. ДАМИНОВ, Ю. О. МАТНАЗАРОВ

Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности, Республика Узбекистан

А. А. МУРАДОВ

Наманганский инженерно-технологический институт, Республика Узбекистан

В последние годы интенсивно развивается подход к анализу структуры композитных материалов, основанный на введении макроскопического параметра, характеризующего на макроуровне степень поврежденности материалов. Вопросы прогнозирования деформационных свойств и теоретико-экспериментальные исследования повреждаемости и длительной прочности композиционных материалов, в том числе текстильных, разработка математических моделей и методов расчета с учетом структуры материалов являются актуальной задачей [1–3].

В настоящее время достигнуты значительные успехи в создании композиционных материалов с желаемым комплексом свойств. Особый интерес вызывают конструкционные материалы в виде ориентированных волокнистых слоистых композитов [4, 5]. Строение ткани определяется совокупностью различных факторов, в том числе геометрическими характеристиками взаимного расположения нитей основы и утка с перегибами друг на друга при переходе с одной стороны ткани на другую.

В работе рассмотрены критерии оценки структуры тканых конструкций с использованием арсенала теории узлов. Тканые конструкции широко применяются во многих отраслях техники в качестве как несущих элементов в составе сложных структур, так и самостоятельных структурных единиц. Здесь рассматривается класс однослойных тканей произвольного переплетения из нити основы и утка любого волокнистого состава. Такая конструкция представлена состоящей из элементарных ячеек, в интегрированном виде определяющих ее структурную способность, известных в технологическом обиходе как одиночные ткацкие перекрытия. Отмечено, что в категориях теории узлов перекрытие есть пересечение топологических линий, являющееся переходом или проходом в зависимости от расположения искомой линии по отношению к другой линии на пересечении. Совокупность этих переходов и проходов в пределах раппорта составляет математический узел. Тканям разных переплетений соответствуют узлы разных порядков. В зависимости от этого геометрическая форма топологической линии, соответствующей основе и утку, может представлять собой прямую, полудугу или дугу [5]. Проведенный структурный анализ позволил оценить степень заузленности нитей в ткани по известной формуле.

Для некоторых видов наиболее распространенных переплетений приведем сравнительные численные величины традиционного коэффициента переплетения и его топологического эквивалента – степени заузленности нитей в ткани. Полотняное переплетение в этом смысле представляет собой некий эталон, в котором реализован максимум потенциала взаимной переплетенности нитей двух систем. Все остальные переплетения – отход в той или иной степени от этого максимума, а численные значения их коэффициентов представляют собой, по сути, процент реализации от максимума. И действительно, саржа 1/2 (или саржа 2/1) с коэффициентом 0,67 имеет 67 % от максимума переплетенности нитей в полотняном переплетении, саржа 1/3 (или саржа 3/1) – уже 50 % от полотняного, а рыхлое переплетение – сатин 12/5 – всего 16 %, что весьма логично.

Также экспериментально проанализирован характер изменения исходных свойств нитей и пряжи в ходе ткачества с отбором различных образцов. Изучено влияние фактора скорости на механическое поведение нитей и пряжи. Ввиду нестабильности природы волокнистых текстильных композитных материалов в работах [3, 4] отмечена необходимость привлечения к исследованию проблемы обрывности теории длительной прочности и повреждаемости.

Согласно критерию прочности [1] за характеристику степени накопления повреждений примем следующую функцию:

$$\eta(x_\alpha, t) = \frac{1+m}{B^{m+1}} \int_0^t (t-\tau)^m \sigma^{\alpha(1+m)}(\tau) d\tau. \quad (1)$$

В частности, при $\sigma = \sigma_0 = \text{const}$ из (1) получим следующее выражение для функции повреждаемости:

$$\eta = \frac{t^{m+1} \sigma_0^{(1+m)\alpha}}{B^{1+m}}, \quad (2)$$

а при постоянной скорости нагружения $\sigma = \dot{\sigma} t$,

$$\eta = \frac{1+m}{B^{1+m}} t^{m+1} \dot{\sigma}^{\alpha(1+m)} \frac{\Gamma(1+m)\Gamma(1+\beta)}{\Gamma(2+m+\beta)}, \quad (3)$$

где Γ – гамма-функция, α и β – параметры долговечности [2].

В работах [3] показана исключительная важность анализа причин обрыва нитей и их разрушения в процессе переработки. Развивающийся во времени феноменологический процесс разрушения в указанных работах рассматривается как некоторый процесс накопления повреждений, различных пор и дефектов. Используя критерии повреждаемости [1], разработаны теоретические основы переработки нитей и тканей с учетом вязкоупругих свойств материалов. Приведен обширный экспериментальный материал по изучению свойств ползучести и релаксации для различных текстильных материалов. Для оценки напряженно-деформированного состояния нитей на ткацком станке ис-

пользованы линейно-вязкоупругие соотношения и критерий длительной прочности. Вычислены параметры α , β и m из опытов по определению разрушения нитей и коэффициентов повреждаемости при различных нагрузках и времени (таблица 1). Для определения параметров сингулярного ядра и резольвенты, а также модуля упругости применяется методика расчета [2, 3]. В статье [6] приведены результаты экспериментов ряда авторов. Исходя из этого представим значения вязкоупругих параметров долговечности (таблицы 1, 2).

Таблица 1 – Значения параметров долговечности в зависимости от нагрузки, напряжения и времени нагружения

Вид нити	Нагрузка, Н			Напряжение, Н/мм ²			Время нагружения, с			Параметры долговечности		
	P_1	P_2	P_3	σ_1	σ_2	σ_3	t_1	t_2	t_3	α	β	m
Углерод, 410 текс	50	40	30	17,26	13,81	10,36	93,13	160,90	325,58	2,45	10000	-0,095
Кварц 612 текс	50	40	30	17,97	14,38	10,78	200,68	324,34	64,86	2,15	10000	-0,094

Таблица 2 – Вязкоупругие параметры арамидной пряжи различной линейной плотности

Линейная плотность пряжи, текс	Вязкоупругие параметры			Модуль упругости E , Н/мм ²
	A	β	α	
30×2	0,0227	0,601	0,294	1749
60×2	0,0207	0,493	0,261	1755
83,3×2	0,0223	0,586	0,289	1750

При определении параметров функции влияния используется трехпараметрическое ядро Ржаницына – Колтунова. Отмечается, что вязкоупругие параметры и модуль упругости нитей определяют поведение нитей основы и утка в различных зонах ткацкого станка. Изменение модуля упругости во времени показывает наличие релаксационных процессов, которые положительно влияют на технологический процесс ткачества.

Приведены результаты расчета повреждаемости нитей основы при изготовлении тканей различного переплетения и установлено следующее: если значение коэффициента повреждаемости $\eta < 0,25$ – процесс протекает в спокойных условиях; при $\eta = 0,25 \dots 0,5$ – процесс происходит в довольно напряженных условиях; при $\eta = 0,5 \dots 0,75$ – процесс возможен, но наблюдается увеличение обрывности нитей (примерно в 2 раза); при $\eta = 0,75 \dots 1$ – процесс возможен, но резко увеличивается обрывность нитей (примерно в 5 раз); при $\eta > 1$ – процесс практически невозможен.

Как отмечалось [5–8], в процессе переработки нитей на технологическом оборудовании очень важно понимание причин повреждаемости материала, приводящих к их разрушению, создание моделей и методов решения задач механики композитных элементов при циклических нагружениях.

Таким образом, на основе феноменологической концепции механики с привлечением теории длительной прочности и повреждений изучены проблемы обрывности текстильных нитей и ткани, приведены параметры долговечности с учетом вязкоупругих свойств.

Список литературы

- 1 Москвитин, В. В. Сопротивление вязкоупругих материалов / В. В. Москвитин. – М. : URSS, 2019. – 328 с.
- 2 Абдусаттаров, А. Циклическое деформирование вязкоупругоупругих систем с учетом упрочнения-разупрочнения и накопления повреждений / А. Абдусаттаров, А. Д. Даминов. – Ташкент : Фан, 1996. – 162 с.
- 3 Методы и средства исследования технологических процессов в ткачестве / С. Д. Николаев [и др.]. – М. : МГТУ, 2003, 470 с.
- 4 Механика препрегов – расчет изделий из армированных композиционных материалов / Ю. В. Василевич [и др.]. – Минск : БНТУ, 2016. – 295 с.
- 5 Старовойтов Э. И. Деформирование трехслойных элементов конструкции на упругом основании / Э. И. Старовойтов, А. В. Яровая, Д. В. Леоненко. – М. : Физматлит, 2006. – 379 с.
- 6 Даминов, А. Д. Основы прогнозирования структуры и проектирования текстильных полотен : автореф. ... д-ра техн. наук : 05.19.03 / А. Д. Даманов ; Ташк. ин-т текст. и легк. пром-сти. – Ташкент, 2006. – 42 с.
- 7 Абдусаттаров, А. К определению повреждаемости и длительной прочности нитей и тканей с учетом вязкоупругих свойств / А. Абдусаттаров, Б. Боймуротов, А. Мурадов // Узбекский текстильный журнал. – 2022. – № 3. – С. 40–48.
- 8 Абдусаттаров, А. Деформирование и повреждаемость упругоупругих элементов конструкций при циклических нагружениях / А. Абдусаттаров, Э. И. Старовойтов, Н. Б. Рузиева. – Ташкент : IDEAL PRESS, 2023. – 381 с.

ФОРМИРОВАНИЕ РАСЧЕТНОЙ МОДЕЛИ КОНИЧЕСКОГО ЭЛЕМЕНТА ИЗДЕЛИЯ ИЗ УПРУГОГО МАТЕРИАЛА

А. АБДУСАТТАРОВ

Ташкентский государственный транспортный университет, Республика Узбекистан

Н. Х. САБИРОВ, Ю. О. МАТНАЗАРОВ

Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности, Республика Узбекистан

В данной работе рассматривается формирование расчетной модели конического элемента изделия (оболочки) из упругого материала. Рассмотрим усеченную коническую оболочку толщиной h и длиной $l = S_1 - S_0$ по образующей. Положение точки оболочки будем определять в конических координатах (α, β, γ) . Относительно срединной поверхности и длины по образующей имеем следующие соотношения:

$$-\frac{h}{2} \leq \gamma \leq \frac{h}{2}, \quad 0 \leq \beta \leq \beta_1, \quad s_0 \leq s \leq s_1 \quad (s_0 \neq 0).$$

Коэффициенты первой квадратичной формы $A = 1$; $B = s \sin \alpha$, а радиусы кривизны срединной поверхности $R_1 = \infty$, $R_2 = \text{ctg} \theta / s$. Для данной задачи коэффициенты Ламэ имеют вид.

$$H_1 = 1; \quad H_2 = S \sin \theta + \gamma \cos \theta; \quad H_3 = 1. \quad (1)$$

Согласно геометрической гипотезе для компонентов перемещений имеем [1]

$$U_1 = W(\alpha, \beta), \quad U_2 = \left(1 + \frac{\gamma}{s} \text{ctg} \theta\right) V - \frac{\gamma}{s \sin \theta} \frac{\partial W}{\partial \beta}, \quad U_3 = U - \phi \frac{\partial W}{\partial s}. \quad (2)$$

Зависимость между напряжениями и деформациями определяется по обобщенному закону Гука:

$$\sigma_{\alpha\alpha} = (\lambda + 2G)l_{\alpha\alpha} + \lambda l_{\beta\beta}, \quad \sigma_{\beta\beta} = \lambda l_{\alpha\alpha} + (\lambda + 2G)l_{\beta\beta}, \quad \sigma_{\alpha\beta} = Gl_{\alpha\beta}. \quad (3)$$

На основе принципа Гамильтона – Остроградского составлено вариационное уравнение движения конической оболочки [2]. При определении вариации кинетической, потенциальной энергии и работы внешних сил использованы следующие соотношения:

$$\int_t \delta T = \iiint_{t \gamma} \rho \left(\frac{\partial U_1}{\partial t} \delta \frac{\partial U_1}{\partial t} + \frac{\partial U_2}{\partial t} \delta \frac{\partial U_2}{\partial t} + \frac{\partial U_3}{\partial t} \delta \frac{\partial U_3}{\partial t} \right) (\alpha \sin \theta + \gamma \cos \theta) d\alpha d\beta d\gamma dt, \quad (4)$$

$$\int_t \delta \Pi = \iiint_{t v} (\sigma_{22} \delta l_{22} + \sigma_{33} \delta l_{33} + \sigma_{23} \delta l_{23}) dv dt. \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \int_t \delta A = & \iiint_{t v} [X_1 \delta U_1 + X_2 \delta U_2 + X_3 \delta U_3] (s \cdot \sin \theta + \gamma \cdot \cos \theta) (s \cdot \sin \theta + \gamma \cdot \cos \theta) d\alpha d\beta d\gamma dt + \\ & + \iiint_{t \beta \alpha} \left\{ \left[\varphi_1^+ \delta U_1 \left(+ \frac{h}{2} \right) + \varphi_2^+ \delta U_2 \left(+ \frac{h}{2} \right) + \varphi_3^+ \delta U_3 \left(+ \frac{h}{3} \right) \right] \left(\alpha \sin \theta + \frac{h}{2} \cos \theta \right) + \right. \\ & + \left. \left[\varphi_1^- \delta U_1 \left(- \frac{h}{2} \right) + \varphi_2^- \delta U_2 \left(- \frac{h}{2} \right) + \varphi_3^- \delta U_3 \left(- \frac{h}{2} \right) \right] \left(\alpha \sin \theta - \frac{h}{2} \cos \theta \right) \right\} d\alpha d\beta dt + \\ & + \iiint_{t \gamma \alpha} [P_1 \delta U_1 + P_2 \delta U_2 + P_3 \delta U_3]_{\beta} d\alpha d\gamma dt + \iiint_{t \gamma \beta} [q_1 \delta U_1 + q_2 \delta U_2 + q_3 \delta U_3]_{\alpha} (\alpha \sin \theta + \gamma \cos \theta) d\beta d\gamma dt. \quad (6) \end{aligned}$$

Для решения краевой задачи применена процедура Бубнова – Галеркина по координате β [3]:

$$U = \sum_n U_n(x, t) \sin \frac{n\pi\beta}{\beta_1} \quad V = \sum_n V_n(x, t) \cos \frac{n\pi\beta}{\beta_1} \quad W = \sum_n W_n(x, t) \sin \frac{n\pi\beta}{\beta_1}. \quad (7)$$

В результате получена следующая система дифференциальных уравнений движения конической оболочки, с соответствующими граничными и начальными условиями:

$$\begin{aligned}
& -a_1^{(1)} \frac{\partial^2 U_n}{\partial t^2} + a_2^{(1)} \frac{\partial^3 W_n}{\partial x \partial t^2} - a_3^{(1)} \frac{\partial^3 W_n}{\partial x^3} + a_4^{(1)} \frac{\partial^2 U_n}{\partial x^2} + a_5^{(1)} \frac{\partial U_n}{\partial x} - a_6^{(1)} \frac{\partial V_n}{\partial x} + a_7^{(1)} \frac{\partial W_n}{\partial x} - \\
& \quad - a_8^{(1)} U_n + a_9^{(1)} V_n - a_{10}^{(1)} W_n + X_n = 0 \\
& -a_1^{(2)} \frac{\partial^2 V_n}{\partial t^2} + a_2^{(2)} \frac{\partial^2 W_n}{\partial t^2} + a_3^{(2)} \frac{\partial^2 V_n}{\partial x^2} - a_4^{(2)} \frac{\partial^2 W_n}{\partial x^2} + a_5^{(2)} \frac{\partial U_n}{\partial x} + a_6^{(2)} \frac{\partial V_n}{\partial x} + a_7^{(2)} \frac{\partial W_n}{\partial x} + \\
& \quad + a_8^{(2)} U_n - a_9^{(2)} V_n + a_{10}^{(2)} W_n + Y_n = 0. \tag{8} \\
& -a_1^{(3)} \frac{\partial^2 W_n}{\partial t^2} + a_2^{(3)} \frac{\partial^2 V_n}{\partial t^2} - a_3^{(3)} \frac{\partial^3 U_n}{\partial x \partial t^2} + a_4^{(3)} \frac{\partial^4 W_n}{\partial x^2 \partial t^2} - a_5^{(3)} \frac{\partial^4 W_n}{\partial x^4} + a_6^{(3)} \frac{\partial^3 U_n}{\partial x^3} - a_7^{(3)} \frac{\partial^3 W_n}{\partial x^3} - \\
& -a_8^{(3)} \frac{\partial^2 V_n}{\partial x^2} + a_9^{(3)} \frac{\partial^2 W_n}{\partial x^2} - a_{10}^{(3)} \frac{\partial U_n}{\partial x} + a_{11}^{(3)} \frac{\partial V_n}{\partial x} - a_{12}^{(3)} \frac{\partial W_n}{\partial x} - a_{13}^{(3)} U_n + a_{14}^{(3)} V_n - a_{15}^{(3)} W_n + Z_n = 0
\end{aligned}$$

Для формирования разностной схемы систему дифференциальных уравнений (8) сначала представим в векторной форме:

$$A_1 \ddot{U}_n + A_2 \ddot{U}_n^I + A_3 \ddot{U}_n^{II} + A_4 U_n^{IV} + A_5 \ddot{U}_n^{III} + A_6 \ddot{U}_n^{II} + A_7 U_n^I + A_8 U_n + F_n = 0. \tag{9}$$

Здесь $U_n = (W_n U_n V_n)^T$; $F_n = (Z_n X_n Y_n)^T$.

Начальные условия также представим в векторной форме:

$$\left[B_1 \cdot \dot{U}_n + B_2 \cdot \dot{U}_n^I + B_3 \cdot \dot{U}_n^{II} \right] \delta U_n \Big|_t = 0. \tag{10}$$

Здесь матрицы A_i и B_i имеют третий порядок соответственно с элементами $a_i(x, n)$ и $b_i(x, n)$.

Примем граничные условия в виде

$$Z_m \delta U_n \Big|_x = 0; \quad Z_{2n} \delta V_n \Big|_x = 0; \quad \left(Z_{3n} - b_1^{(3)} \ddot{U}_n + b_2^{(3)} \ddot{W}_n^I \right) \delta W_n \Big|_x = 0; \quad Z_{4n} \delta W_n^I \Big|_x = 0. \tag{11}$$

Векторное уравнение (9) перепишем без учета инерционных слагаемых:

$$A_4 U_n^{IV} + A_5 U_n^{III} + A_6 \ddot{U}_n^{II} + A_7 U_n^I + A_8 U_n + F_n = 0. \tag{12}$$

Используем центральные разностные схемы, аппроксимирующие производные с точностью второго порядка [2]. В результате аппроксимации имеем следующую систему алгебраических уравнений типа

$$A_n \cdot U_{n,i-2} + B_n U_{n,i-1} + C_n U_{n,i} + D_n U_{n,i+1} + E_n U_{n,i+2} + F_{n,i} = 0. \tag{13}$$

Теперь рассмотрим разностные граничные условия. Считаем, что коническая оболочка закреплена при $x = 0$ и $x = 1$. Из граничных условий (11) имеем:

$$\begin{aligned}
U_n(0) = 0, V_n(0) = 0, W_n(0) = 0, W_n^I(0) = 0, \\
U_n(1) = 0, V_n(1) = 0, W_n(1) = 0, W_n^I(1) = 0.
\end{aligned} \tag{14}$$

Отсюда следует

$$W_{n,0} = 0, U_{n,0} = 0, V_{n,0} = 0, W_{n,N} = 0, U_{n,N} = 0, V_{n,N} = 0. \tag{15}$$

Из четвертого и восьмого условий (14) получим

$$W_{n,-1} = W_{n,1}, W_{n,N+1} = W_{n,N-1}. \tag{16}$$

Эти соотношения можно записать в векторной форме:

$$U_{n,0} = 0, A_{-1}^1 U_{n,-1} = A_{-1}^1 U_{n,1}, U_{n,N} = 0, A_{N+1}^1 U_{n,N+1} = A_{N+1}^1 U_{n,N-1}. \tag{17}$$

Подставив (17) в систему разностных уравнений (14), получим систему линейных алгебраических уравнений в виде

$$AU = b \quad (b = F_n). \quad (18)$$

К решению системы линейных алгебраических уравнений применяем метод прогонки [4].

Список литературы

- 1 Власов, В. З. Избранные труды / В. З. Власов. – М. : Наука. 1962–1964. – Т. I–III. – 1506 с.
- 2 Буриев, Т. Алгоритмизация расчета несущих элементов тонкостенных конструкций / Т. Буриев. – Ташкент : Фан, 1986. – 244 с.
- 3 Abdusattorov, A. Equations of motion and the formation of a difference scheme for calculating the conical part of shell structures / A. Abdusattorov, T. Yuldashev, N. Kh. Sabirov // The European Science Review. Austria. – 2017. – № 9–10. – P. 35–41.
- 4 Абдусаттаров, А. Деформирование и повреждаемость упругопластических элементов конструкций при циклических нагружениях / А. Абдусаттаров, Э. И. Старовойтов, Н. Б. Рузиева. – Ташкент : IDEAL PRESS, 2023. – 381 с.

УДК 531.3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ВРАЩЕНИЮ КОЛЕСА ВЕЛОСИПЕДА

Н. А. АХРАМЕНКО

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

В последние годы в Республике Беларусь наблюдается устойчивое развитие велосипедного движения и, в частности, велотранспорта. Этому способствует «Концепция развития велосипедного движения в Республике Беларусь» (Национальная велоконцепция), принятая 11 января 2018 года протоколом заседания Постоянной комиссии по обеспечению безопасности дорожного движения при Совете Министров Республики Беларусь. После этого во многих городах Беларуси были приняты свои концепции развития велосипедного движения. Например, Гомельский городской совет депутатов утвердил Концепцию развития велосипедного движения и средств персональной мобильности в городе Гомеле (Решение Гомельского городского совета депутатов от 02 апреля 2020 г. № 155). В связи с этим исследования в области безопасности и надежности велотранспортных средств являются актуальными.

Один из элементов диагностики велотранспортных средств – величина сопротивления вращению колеса велосипеда. Для описания закономерностей вращающегося колеса можно использовать уравнения динамики вращательного движения твердого тела. Основное уравнение динамики вращательного движения твердого тела относительно неподвижной оси записывается в виде [1–3]

$$\vec{M} = \frac{d\vec{L}}{dt},$$

где \vec{M} – момент силы, действующей на тело, относительно оси вращения; \vec{L} – момент импульса вращающегося тела относительно оси.

Если момент инерции не изменяется с течением времени, тогда с учетом того, что $\vec{L} = I\vec{\omega}$, получим

$$\vec{M} = \frac{d(I\vec{\omega})}{dt} = I\vec{\varepsilon},$$

где $\vec{\omega}$ – угловая скорость вращения; $\vec{\varepsilon}$ – угловое ускорение тела

Запишем это уравнение в скалярном виде

$$M = I\varepsilon,$$

где момент сил сопротивления вращению M представим в виде

$$M = M_0 + k\omega,$$

т. е. суммой некоторого постоянного момента и момента, зависящего от угловой скорости ω .

Так как угловое ускорение можно записать как вторую производную от угла поворота φ , а угловую скорость – как первую производную от угла поворота φ , то получаем дифференциальное уравнение вида

$$M_0 + k \frac{d\varphi}{dt} = I \frac{d^2\varphi}{dt^2}.$$

Последнее соотношение преобразуется к виду

$$\frac{d^2\varphi}{dt^2} - \frac{k}{I} \frac{d\varphi}{dt} = \frac{M_0}{I} \quad \text{или} \quad \frac{d}{dt} \left(\frac{d\varphi}{dt} - \frac{k}{I} \varphi \right) = \frac{M_0}{I}.$$

Интегрируя полученное соотношение, получим

$$\frac{d\varphi}{dt} - \frac{k}{I} \varphi = \int \frac{M_0}{I} dt \quad \text{или} \quad \frac{d\varphi}{dt} - \frac{k}{I} \varphi = \frac{M_0}{I} t + C.$$

Постоянную интегрирования C найдем из условия, что в начальный момент времени ($t = 0$) угловая скорость была равна $\omega = \omega_0$, а угол поворота $\varphi = 0$. Тогда с учетом того, что $\frac{d\varphi}{dt} = \omega$, получим $\omega_0 = C$.

Подставив постоянную интегрирования C , получаем следующее уравнение:

$$\omega - \frac{k}{I} \varphi = \frac{M_0}{I} t + \omega_0. \quad (1)$$

Момент инерции колеса можно записать в виде

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + I_4,$$

где I_1 – момент инерции обода колеса относительно оси вращения; I_2 – момент инерции покрышки колеса относительно оси вращения, I_3 – момент инерции велокамеры колеса относительно оси вращения; I_4 – момент инерции остальной части колеса относительно оси вращения.

Момент инерции твердого тела согласно определению [1–3]

$$I = \sum_{i=1}^n \Delta m_i r_i^2,$$

где r_i – расстояние элемента массы Δm_i от оси вращения.

Из определения следует, что его величина пропорциональна массе и квадрату расстояния до оси вращения этой массы. Поэтому определяющий вклад в момент инерции будут давать моменты I_1 , I_2 и I_3 . Моментом I_4 можно пренебречь ввиду того, что элементы остальной части колеса (кроме обода, покрышки и велокамеры) имеют меньшую массу и расположены ближе к оси вращения. Следует отметить, что элементарные части обода, покрышки и велокамеры расположены приблизительно на одном расстоянии от оси вращения.

Таким образом, момент инерции колеса с достаточным приближением можно вычислить по формуле

$$I = m \frac{D^2}{4},$$

где m – масса колеса; D – диаметр покрышки колеса.

В выражении (1) величинами, подлежащими определению, являются M_0 и k . Величины φ (угол поворота) и t (время) можно найти экспериментально. Для этого можно произвести видеосъемку свободно вращающегося колеса до момента остановки. По положению какого-либо элемента на колесе (например, катафота) можно определять угол поворота. Просматривая кадры видеосъемки, можно установить зависимость угла поворота от времени для ряда моментов времени.

Угловую скорость ω в выражении (1) можно найти следующим образом. Надо рассмотреть два близких момента времени и определить угол поворота колеса. Таким образом, можно получить ряд значений угловой скорости ω :

$$\omega_1 = \frac{\varphi(t_1 + \Delta t_1) - \varphi(t_1)}{\Delta t_1}, \quad \omega_2 = \frac{\varphi(t_2 + \Delta t_2) - \varphi(t_2)}{\Delta t_2}, \quad \omega_3 = \frac{\varphi(t_3 + \Delta t_3) - \varphi(t_3)}{\Delta t_3} \quad \text{и так далее.}$$

Поэтому в выражении (1) все величины, кроме M_0 и k , можно определить экспериментально. Минимальное количество полученных уравнений должно равняться количеству неизвестных, т. е. двум. Большее количество позволит более точно определить неизвестные величины, можно, например, использовать метод наименьших квадратов.

Список литературы

- 1 Трофимова, Т. И. Курс физики : учеб. пособие для вузов / Т. И. Трофимова. – 17-е изд., стер. – М. : Академия, 2008. – 560 с.
- 2 Яворский, Б. М. Справочник по физике / Б. М. Яворский, А. А. Детлаф. – 3-е изд., испр. – М. : Наука, 1990. – 624 с.
- 3 Шиляева, К. П. Физика. Краткая теория и задачи : пособие / К. П. Шиляева, И. О. Деликатная, Н. А. Ахраменко. – Гомель : БелГУТ, 2021. – 211 с.

УДК 620.174.21

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ИЗДЕЛИЙ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЕЙ СЕЛЕКТИВНОГО ЛАЗЕРНОГО СПЛАВЛЕНИЯ

А. В. БАБАЙЦЕВ, С. А. ШУМСКАЯ

Московский авиационный институт (НИИ), Российская Федерация

Селективное лазерное спекание (СЛС) является востребованной аддитивной технологией, имеющей большую перспективу в авиационной и космической отраслях благодаря своей способности значительно снижать массу изделий, что порой имеет решающее значение в данных отраслях. Важными направлениями исследований являются разработка эффективных алгоритмов моделирования и оптимизации для металлической 3D-печати, а также методов контроля и компенсации возникающих деформаций.

В работе предложен вариант моделирования напряженно-деформированного состояния (НДС) прямоугольных образцов, выращенных методом СЛС из металлического порошка AlSi10Mg при различных режимах скорости и мощности лазера. В сочетании методов зондирующих отверстий, корреляции цифровых изображений и численного моделирования для решения обратной задачи и идентификации остаточного НДС исследуемых образцов приводится сравнение моделирования с экспериментальными данными. Моделирование проводится в программном комплексе Ansys.

Анализируется плоское напряженное состояние: принимается, что значения НДС в объеме рассматриваемых образцов постоянны во всем рассматриваемом объеме. Однако для полного понимания поведения конструкции необходимо учитывать также толщину, что влияет на деформацию конструкции под воздействием напряжений.

Работа выполнена при финансовой поддержке государственного проекта Министерства науки и высшего образования по теме «Разработка научных основ создания перспективных элементов конструкций с управляемыми свойствами из сплавов на основе титана, его инерметаллидов и композиционных материалов на основе алюминия с градиентной поверхностной и объемной структурой» FSFF-2023-0004.

Список литературы

- 1 Бабайцев, А. В. Исследование влияния параметров СЛС печати алюминиевых изделий на уровень остаточных деформаций / А. В. Бабайцев, С. А. Шумская А. В. Рипецкий // СТИН. – 2024. – № 4. – С. 34–37.
- 2 Babaytsev, A. V. Housings with Internal Cooling Channels Produced by Selective Laser Melting. Russian Engineering Research / A. V. Babaytsev, P. O. Polyakov. – 2023. – No. 43 (7). – P. 873–876.

УДК 539.31

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ПОДКРЕПЛЕННЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК НА ОСНОВЕ УТОЧНЕННОЙ ТЕОРИИ

В. В. БАЛАБАНОВ, В. В. ФИРСАНОВ

Московский авиационный институт (НИИ), Российская Федерация

Подкрепленная цилиндрическая оболочка рассматривается как система, состоящая из тонкостенной оболочки (обшивки) и жестко соединенного с ней набора поперечных кольцевых ребер.

Оболочка рассматривается как твердое тело, отнесенное к триортогональной криволинейной системе координат $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$. Координатные оси α_1, α_2 совпадают с линиями главных кривизн средней поверхности оболочки, а ось α_3 направлена по наружной нормали к этой поверхности.

Введем триортогональную криволинейную систему координат ξ, θ, z (рисунок 1), для которой справедливы следующие равенства:

$$\alpha_1 = R\xi, \alpha_2 = R\theta, \alpha_3 = z + R. \quad (1)$$

Система координат ребер совпадает с системой координат обшивки, за исключением того, что ось $Z = z + \lambda_j(h + H_j)$, где h и H – полутолщины обшивки и ребер соответственно, $\lambda_j = 1, \lambda_j = -1$ при внешнем и внутреннем расположении ребра соответственно.

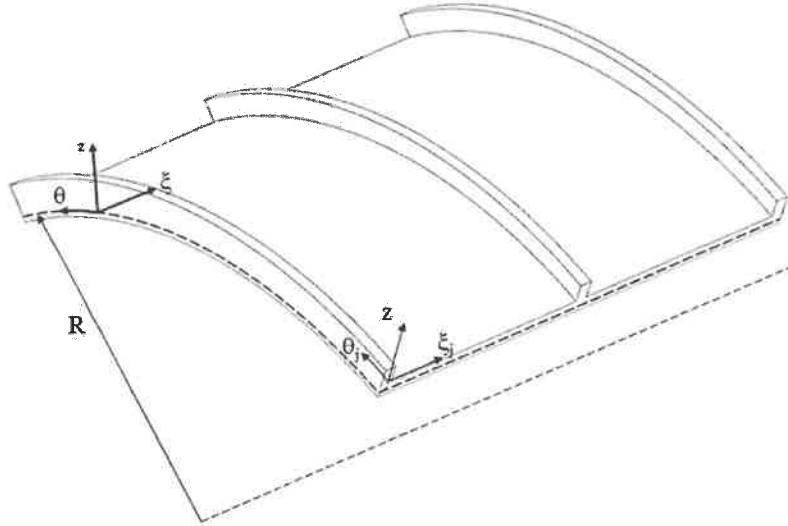


Рисунок 1 – Подкрепленная цилиндрическая оболочка

В соответствии с работами [1, 2] предполагается, что перемещения обшивки u, v, w допускают асимптотические представления вида

$$\begin{aligned} u(\xi, \theta, z) &= u_0(\xi, \theta) + u_1(\xi, \theta)z + u_2(\xi, \theta)\frac{z^2}{2} + u_3(\xi, \theta)\frac{z^3}{3!}, \\ v(\xi, \theta, z) &= v_0(\xi, \theta) + v_1(\xi, \theta)z + v_2(\xi, \theta)\frac{z^2}{2} + v_3(\xi, \theta)\frac{z^3}{3!}, \\ w(\xi, \theta, z) &= w_0(\xi, \theta) + w_1(\xi, \theta)z + w_2(\xi, \theta)\frac{z^2}{2}. \end{aligned} \quad (2)$$

Перемещения кольцевых ребер определяются следующими выражениями:

$$v^j(\theta_j, Z) = v_0^j(\theta_j) + v_1^j(\theta_j)Z, \quad w^j(\theta_j, Z) = w_0^j(\theta_j), \quad j = 1 \dots N. \quad (3)$$

Взаимодействие цилиндрической оболочки с кольцевыми ребрами схематизируется линейным контактом. Влияние ребер на обшивку рассматривается через две компоненты перемещений по кольцевому и поперечному направлениям, перемещения по направлению ξ равны нулю.

На поверхности контакта между обшивкой и ребрами компоненты перемещений одинаковы, поэтому выполняются условия сочленения обшивки и ребер, которые принимают следующий вид:

$$v^j(\theta_j, Z) \Big|_{z=\lambda_j H} = v(\theta, z) \Big|_{z=\lambda_j h}, \quad w^j(\theta_j, Z) \Big|_{z=\lambda_j H} = w(\theta, z) \Big|_{z=\lambda_j h}, \quad j = 1 \dots N. \quad (4)$$

Уравнения трехмерной теории упругости используются для определения НДС обшивки и ребер. На основе вариационного принципа Лагранжа определяются дифференциальные уравнения равновесия и естественные граничные условия подкрепленной цилиндрической оболочки [1, 3].

Таким образом, на основании вариационного принципа Лагранжа и уравнений (2)–(4) дифференциальные уравнения равновесия тонкостенной цилиндрической оболочки, подкрепленной кольцевыми ребрами, определяются следующими выражениями:

$$\begin{aligned}
& \sum_{n=0}^3 (K^{k1n} + K_{11}^{k1n} \frac{\partial^2}{\partial \xi^2} + K_{22}^{k1n} \frac{\partial^2}{\partial \theta^2}) u_n + \sum_{n=0}^3 K_{12}^{k2n} \frac{\partial^2}{\partial \xi \partial \theta} v_n + \sum_{n=0}^2 K_1^{k3n} \frac{\partial}{\partial \xi} w_n = K^{kq^+} q_{13}^+ - K^{kq^-} q_{13}^-, \\
& \sum_{n=0}^3 K_{12}^{l1n} \frac{\partial^2}{\partial \xi \partial \theta} u_n + \sum_{n=0}^3 (K^{l2n} + K_{11}^{l2n} \frac{\partial^2}{\partial \xi^2} + K_{22}^{l2n} \frac{\partial^2}{\partial \theta^2}) v_n + \sum_{n=0}^2 K_2^{l3n} \frac{\partial}{\partial \theta} w_n + \\
& + \sum_{j=1}^N \delta(\xi - \xi_j) \left[\sum_{n=0}^3 (K^{lj2n} + K_{22}^{lj2n} \frac{\partial^2}{\partial \theta^2}) v_n + \sum_{n=0}^2 K_2^{lj3n} \frac{\partial}{\partial \theta} w_n + (K^{lj2} + K_{22}^{lj2} \frac{\partial^2}{\partial \theta^2}) v_1^j \right] = K^{kq^+} q_{23}^+ - K^{kq^-} q_{23}^-, \\
& \sum_{n=0}^3 K_1^{s1n} \frac{\partial}{\partial \xi} u_n + \sum_{n=0}^3 K_2^{s2n} \frac{\partial}{\partial \theta} v_n + \sum_{n=0}^2 (K^{s3n} + K_{11}^{s3n} \frac{\partial^2}{\partial \xi^2} + K_{22}^{s3n} \frac{\partial^2}{\partial \theta^2}) w_n + \\
& + \sum_{j=1}^N \delta(\xi - \xi_j) \left[\sum_{n=0}^3 K_2^{sj2n} \frac{\partial}{\partial \theta} v_n + \sum_{n=0}^2 (K^{sj3n} + K_{22}^{sj3n} \frac{\partial^2}{\partial \theta^2}) w_n + K_2^{sj2} \frac{\partial}{\partial \theta} v_1^j \right] = K^{kq^+} q_{33}^+ - K^{kq^-} q_{33}^-, \\
& \sum_{n=0}^3 (K^{12j2n} + K_{22}^{12j2n} \frac{\partial^2}{\partial \theta^2}) v_n + \sum_{n=0}^2 K_2^{12j3n} \frac{\partial}{\partial \theta} w_n + (K^{12j2} + K_{22}^{12j2} \frac{\partial^2}{\partial \theta^2}) v_1^j = 0,
\end{aligned} \tag{5}$$

где $k=1...4$; $l=5...8$; $s=9...11$; $j=1...N$; K – переменные величины, зависящие от геометрических параметров, материала оболочки и кольцевых ребер; q – нагрузки, действующие на оболочку.

Построенная система дифференциальных уравнений (5) и соответствующие ей граничные условия приводятся к системе обыкновенных дифференциальных уравнений методом разложения искомого перемещения и нагрузок в тригонометрические ряды Фурье по окружной переменной θ . Решение дифференциальных уравнений определяется с помощью операционного метода, основанного на преобразовании Лапласа. В результате на основе уточненной теории можно повысить показатели весового совершенства проектируемого объекта.

Список литературы

- 1 **Васильев, В. В.** К проблеме построения неклассической теории пластин / В. В. Васильев, С. А. Лурье // Изв. АН. МТТ. – 1990. – № 2. – С. 158–167.
- 2 **Фирсанов, В. В.** Энергетически согласованный подход к исследованию упругих оболочек произвольной геометрии / В. В. Фирсанов, Чан Нгюк Доан // Вестник МАИ. – 2011. – Т. 18. – № 1. – С. 194–207.
- 3 **Амбарцумян, С. А.** Теория анизотропных оболочек / С. А. Амбарцумян. – М.: Физматгиз, 1961. – 384 с.

УДК 21-039-419:620.22-419:537.868

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СВЧ-НАГРЕВА МНОГОСЛОЙНОГО КОМПОЗИТА

М. А. БАРУЛИНА,

*Институт проблем точной механики и управления Российской академии наук (ИПТМУ РАН),
г. Саратов,*

Пермский государственный национальный исследовательский университет, Российская Федерация

Д. В. КОНДРАТОВ

*Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю. А.,
Институт проблем точной механики и управления Российской академии наук (ИПТМУ РАН),
г. Саратов,*

*Саратовский национальный исследовательский государственный университет
им. Н. Г. Чернышевского, Российская Федерация*

Н. В. БЕКРЕНЕВ

*Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю. А.,
Российская Федерация*

И. В. ЗЛОБИНА

*Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю. А.,
НИИ «Курчатовский институт», г. Москва, Российская Федерация*

Полимерные композиционные материалы армированные волокнами, широко применяются в настоящее время в различных отраслях науки и техники [1–4]. Активное использование полимер-

ных композиционных материалов в различных областях техники делает актуальным изучение их свойств как самостоятельных компонентов устройств и их совместную работу с другими деталями, в контакте с которыми детали из композитов находятся во время работы. Одним из механизмов, препятствующих быстрой передаче тепла, является отсутствие монолитности и однородности полимерных композиционных материалов на микроуровне. Соответственно, методы, направленные на повышение адгезионного взаимодействия связующего и наполнителя, могут способствовать выравниванию распространения тепловых полей внутри объекта из композита [3, 5].

Для выяснения тепловых и волновых эффектов, влияющих на композитный материал, как и ранее [6, 7] будем на первом этапе проводить исследования единичного слоя эпоксидной смолы и нескольких графитовых сердечников и выделять критерии построения математической модели исходя из результатов эксперимента (рисунок 1). Таким образом, будем ставить теоретическую задачу на основе результатов эксперимента.

Результаты эксперимента показали, что СВЧ-нагрев опытного образца происходит почти равномерно. Это обеспечивается именно графитовыми сердечниками, которые дополнительно разогревают каждый слой.

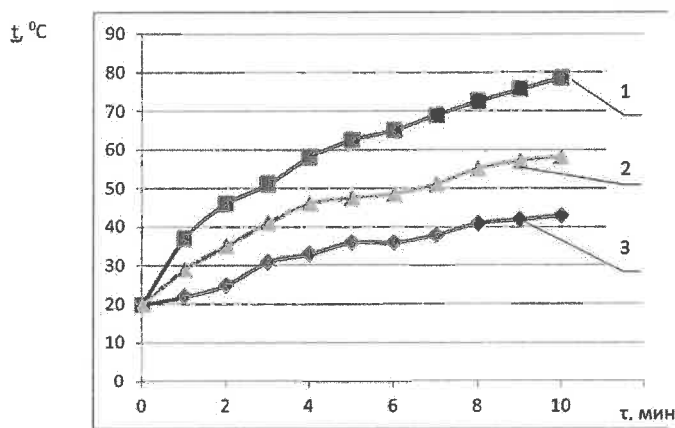


Рисунок 1 – Зависимость температуры поверхности углепластика от времени воздействия СВЧ электромагнитного поля с плотностью потока энергии:

1 – $(45-50) \times 10^4$; 2 – $(17-18) \times 10^4$ 3 – $(10-12) \times 10^4$ мкВт/см²

Исходя из выше сказанного можно сделать следующие выводы для построения математической модели.

1 Единичный слой композитного материала из эпоксидной смолы и нескольких графитовых сердечников может рассматриваться как пластина.

2 Несколько слоев можно рассматривать как соединение пластин, причем ориентация графитовых сердечников пластин может быть под разными углами. Угол может быть задан диапазоне от 0 до 90 градусов.

3 При использовании более двух слоев ориентация сердечников повторяется, а не является хаотичной.

4 Будем считать, что слои имеют идеальный контакт друг с другом.

5 На начальной стадии можно считать мощность СВЧ-излучения постоянной.

6 Разрабатываемая математическая модель может быть построена использованием классических подходов к решению задачи теплопроводности.

7 Распространение тепла по пластине можно считать равномерным.

8 Температура окружающей среды может меняться по заданному закону.

9 На начальной стадии исследования можно не рассматривать процесс плавления или кристаллизации эпоксидной смолы.

Таким образом, на основе результатов эксперимента была предложена математическая модель, которая учитывает предложенные выше принципы, что позволит провести моделирование рассматриваемого композитного материала. Применение композитных материалов повысит надежность и снизит повреждаемость при транспортировке за счет повышения ударной вязкости; повысит долговечность за счет повышенной стойкости к воздействию температурных, химических и механических факторов

внешней среды. Рассматриваемые композитные материалы могут применяться как несущие элементы и внешние панели строительных конструкций (здания и путепроводы, лотки кабелей электроподстанций), каркасные элементы и элементы обшивки авиационной техники; строительные конструкции наземной транспортной инфраструктуры (путепроводы, внешние обшивки сооружений).

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда № 23-29-00526.

Список литературы

1 Кошкин Р. П. Основные направления развития и совершенствования беспилотных авиационных систем [Электронный ресурс] / Р. П. Кошкин. – Режим доступа : <http://spmagazine.ru/420>. – Дата доступа : 04.09.2024.

2 Каблов, Е. Н. Материалы и химические технологии для авиационной техники / Е. Н. Каблов // Вестник Российской академии наук. – 2012. – Т. 82, № 6. – С. 520–530.

3 Ким, С. Сырье → композиты → углеволокно / С. Ким // The Chemical Journal. – 2014. – С. 64–73.

4 Barulina, M. Analytical solution for bending and free vibrations of an orthotropic nanoplate based on the new modified couple stress theory and the third-order plate theory / M. Barulina // Journal of Mathematical and Fundamental Sciences. – 2022. – Vol. 54, no. 1. – С. 11–38. – DOI : 10.5614/j.math.fund.sci.2022.54.1.2.

5 Zlobina, I. V. The effect of processing in a SHF electromagnetic field on the parameters of vibro-wave processes generated by the impact of a solid body in cured polymer composite materials under influence of climate factors / I. V. Zlobina // JOP Conference Series: Metrological Support of Innovative Technologies. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. Krasnoyarsk, Russia. – 2020. – P. 42045.

6 Principles of Constructing a Mathematical Model of Thermal Heating of a Composite under Microwave Exposure / D. V. Kondratov [et al.] // II International Scientific and Practical Conference "Technologies, Materials Science and Engineering" AIP Conf. Proc. 2999, 020044-1–020044-6. – DOI : [org/10.1063/5.0158357](https://doi.org/10.1063/5.0158357).

7 Study of the Effect of Filler on Heating Kinetics of Polymer Composite Materials in a Mw Electromagnetic Field on a Physical Model of a Unit Cell / I. Zlobina // II International Scientific and Practical Conference "Technologies, Materials Science and Engineering" AIP Conf. Proc. 2999, 020064-1–020064-6. – DOI : [org/10.1063/5.0158848](https://doi.org/10.1063/5.0158848).

УДК 531.383: 532.516

МОДЕЛИРОВАНИЕ 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.,
Институт проблем точной механики и управления Российской академии наук (ИПТМУ РАН),
г. Саратов*

*Саратовский национальный исследовательский государственный университет
им. Н. Г. Чернышевского, Российская Федерация*

Для конструирования современных изделий авиастроения и машиностроения характерно все более частое использование различных слоистых материалов и многослойных упругих конструкций. Многослойные упругие пластины, взаимодействующие с жидкостью, получили свое широкое применение в машино- и агрегатостроении [1–5]. Исследования таких конструкций достаточно широко представлены в современной литературе. Однако большинство исследований ориентировано на описание взаимодействия упругих многослойных конструкций с вязкой несжимаемой или идеальной жидкостью [1, 4, 6, 7]. Следует заметить, что в настоящее время встречаются практические задачи, где жидкость может быть сжимаемой [8]. Данное исследование направлено на моделирование взаимодействия упругой многослойной пластины с вязкой сжимаемой жидкостью.

Рассмотрим физическую модель системы, представленной на рисунке 1. Рассмотрим физическую модель механической системы, состоящую из абсолютно жесткой пластины I (вибратора) и однослойной упругой пластины II (статора), пространство III между которыми заполнено вязкой сжимаемой жидкостью (см. рисунок 1). Внутренняя поверхность вибратора считается плоской и является одной из стенок щелевого канала. Предполагаем, что вибратор имеет упругий подвес. В слое жидкости пульсирует давление, возникают гармонические колебания вибратора в вертикальном направлении относительно статора.

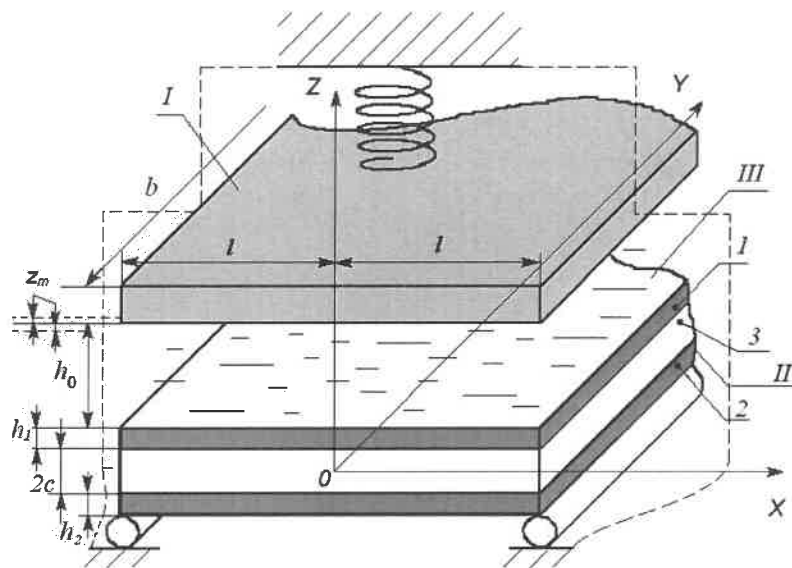


Рисунок 1 – Физическая модель

Математическую модель представим в виде связанной системы уравнений, состоящей из уравнений динамики движения вязкой сжимаемой жидкости, уравнений динамики упругого композитного статора [5], состоящего из двух несущих слоев и заполнителя, с соответствующими граничными условиями.

Дальнейшие исследования проводилось с применением методов возмущений по малым параметрам, определяющим относительную ширину слой вязкой сжимаемой жидкости и относительный прогиб пластины – трехслойного композита, что позволяет линеаризовать уравнения гидродинамики. Для получения аналитического выражения для прогиба упругого трехслойного композита проводится процедура метода Бубнова – Галеркина в первом приближении. Причем метод Бубнова – Галеркина применяется одновременно и к уравнениям гидродинамики, и к уравнениям упругости с соответствующими граничными условиями [9].

Полученные выражения для прогиба композита – упругой трехслойной пластины с несжимаемым легким заполнителем – позволили выделить амплитудные частотные характеристики прогиба композита. На основе аналитического решения создана расчетная программа, которая позволила произвести исследования амплитудной частотной характеристики упругого трехслойного композита и давления в слое вязкой сжимаемой жидкости.

Исследования амплитудной частотной характеристики упругого трехслойного композита показали появление резонансных частот, при которых давление слое вязкой сжимаемой жидкости падает ниже 0,2 атмосфер, а значит, в слое жидкости возможно появление паровоздушных пузырьков и, соответственно, возможно появление кавитационного эффекта. Однако изменением параметров системы указанные резонансные частоты возможно сдвинуть из области рабочих частот механической системы.

Таким образом, осуществлены постановка задачи и исследование модели взаимодействия трехслойного композита – упругой прямоугольной трехслойной пластины с легким несжимаемым заполнителем – и вязкой сжимаемой жидкости на примере гидропоры. Рассматриваемая модель вибропоры состоит из абсолютно жесткого вибратора, упругого трехслойного композита с легким несжимаемым заполнителем (статором) и движущегося между ними слоя вязкой сжимаемой жидкости. Исследование указанной математической модели, расчеты и оценки поведения упругих трехслойных композитов, взаимодействующих с вязкой жидкостью, необходимы для конструирования современных изделий машиностроительной и авиакосмической промышленности.

Список литературы

1 Продольные и изгибные колебания трехслойной пластины со сжимаемым заполнителем, контактирующей со слоем вязкой жидкости / Е. Д. Грушенкова [и др.] // Труды МАИ. – 2019. – № 106. – С. 1.

2 Зеленая, А. С. Изгиб упругой трехслойной прямоугольной пластины со сжимаемым заполнителем / А. С. Зеленая // Математическое моделирование, компьютерный и натурный эксперимент в естественных науках [Электронный ресурс]. – 2017. – № 3. – Режим доступа : mathmod.esrae.ru/15-52. – Дата доступа : 05.09.2024.

3 Фабрикант, Н. Я. Аэродинамика: Общий курс / Н. Я. Фабрикант. – М. : Наука, 1964. – 818 с.

4 Amabili, M. Derivation of nonlinear damping from viscoelasticity in case of nonlinear vibrations // M. Amabili // Springer Netherlands, 2018.

5 Горшков, А. Г. // Механика слоистых вязкоупругопластических элементов конструкций / А. Г. Горшков, Э. И. Старовойтов, А. В. Яровая. – М. : Физматлит, 2005. – 576 с.

6 Кондратов, Д. В. Гидроупругость силового цилиндра с полым плунжером при свободном истечении жидкости / Д. В. Кондратов // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н. И. Вавилова. – 2008. – № 1. – С. 38–43.

7 Могилевич, Л. И. Динамика сдвливаемого 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.

8 Блинкова, О. В. Задача динамики взаимодействия сдвливаемого слоя вязкого сжимаемого газа с упругой пластиной / О. В. Блинкова, Д. В. Кондратов // Труды МАИ. – 2020. – № 110. – 21 с.

9 Блинкова, О. В. Моделирование динамики взаимодействия сдвливаемого слоя вязкой сжимаемой жидкости с упругим трехслойным статором / О. В. Блинкова, Д. В. Кондратов // Труды МАИ. – 2024. – № 134. – EDN HUZOPQ.

УДК 656.22

ОЦЕНКА ВРЕМЕНИ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПЕРЕРЫВОВ ПЕРЕВОЗОЧНЫХ ПРОЦЕССОВ

Р. С. БОЛЬШАКОВ, А. К. МОЗАЛЕВСКАЯ

Иркутский государственный университет путей сообщения, Российская Федерация

Безопасность бесперебойного функционирования железнодорожного транспорта зависит от оперативного решения ряда стратегических задач, направленных на поддержание высокого уровня конкуренции с другими видами транспорта, улучшение клиентоориентированности, соблюдение сроков доставки грузов, повышение привлекательности пассажирских перевозок и т. д. [1–3]. В частности, доставка грузов в заявленные временные промежутки обуславливает повышение скоростей движения грузов поездов, что, в свою очередь, увеличивает динамические нагрузки на объекты инфраструктуры железнодорожного транспорта. Такие условия отрицательно влияют как на долговечность подвижного состава, так и на целостность, и надежность рельсошпальной решетки и объектов энергетической инфраструктуры. Поэтому планирование и проведение различных видов ремонтов становится одной из основных задач по сохранению ритмичной работы железнодорожного транспорта. В связи с этим оценка пропускной способности линий при осуществлении технологических перерывов на ремонт и их продолжительность является на данный момент актуальным вопросам [4–6].

В предлагаемом докладе рассматривается применение пакетов прикладных программ для оценки времени проведения технологических перерывов.

Общие положения. Постановка задачи

Проведение ремонтных работ на перегонах железных дорог согласно директивному плану базируется на понятийной базе, основанной на представлениях о технологическом перерыве или «окне», которое представляет собой время прекращения движения по выбранному пути, что зависит от также от возможностей нормативного графика. С учетом количества путей перегона установлена различная продолжительность технологических перерывов.

Технологические перерывы в зависимости от выполняемых операций, видов ремонтов и порядка производства работ могут быть совмещенными, подготовительными и заключительными, что обусловлено временем начала «окна» и временем его окончания, а также интервалом времени от начала технологического окна до начала выполнения лимитирующей операции, интервалом времени от конца выполнения ведущей операции до окончания технологического окна.

Продолжительность технологического окна t_0 , представленная на схеме, может быть найдена при помощи следующего выражения:

$$t_0 = t_p + t + t_{св}, \quad (1)$$

где t_p – время на развертывание (разворот) работ, ч; t – интервал времени от начала выполнения ведущей (лимитирующей) операции до ее завершения, ч; $t_{св}$ – время на свертывание работ для оформления открытия перегона, ч.

Период времени t для выполнения планового объема работ с закрытием перегона определяется по лимитирующей машине с учетом протяженности фронта работ:

$$t = \frac{L_{\Phi}}{\Pi_{\text{в}}}, \quad (2)$$

где $\Pi_{\text{в}}$ – темп выполнения ведущей операции при ремонте пути или технологическая производительность ведущей машины, км/ч.

Применение специализированных программных продуктов

Программный комплекс Anylogic позволяет решать задачи имитационного моделирования для различных систем, в том числе для железнодорожного транспорта, так как достаточно точно передает симуляцию движения поездов, в том числе прием и отправление, прицепку и отцепку вагонов и локомотивов. На основе такого программного комплекса показано движение поездов при организации работ в технологический перерыв (рисунок 1). Проведение технологических «окон» независимо от количества путей влечет перерывы в движении поездов, что, в свою очередь, непосредственно влияет на ухудшение эксплуатационных показателей движения поездов, а также провоцирует экономические потери, связанные с задержками поездов различных категорий. Объект «станция» имеет следующие компоненты: количество путей, специализация станционных путей, время занятости путей и горловин станции, технологические операции, проводимые с поездами, временные нормы операций, логическое взаимодействие выполняемых операций, задержки поездов, нормативы времени на маневровую работу [3].

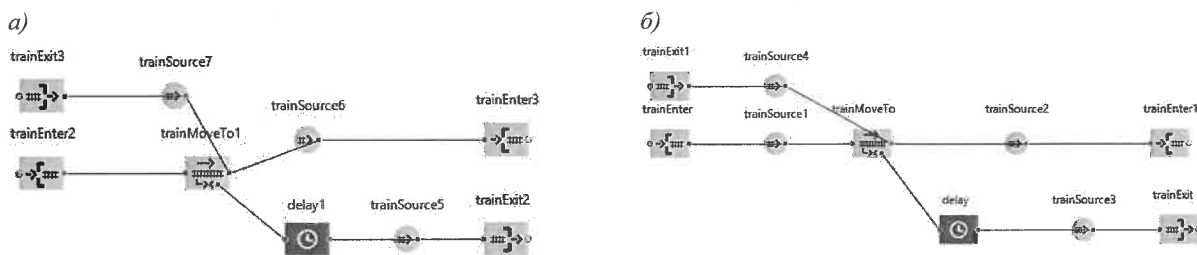


Рисунок 1 – Линейная модель движения поездов при проведении технологических перерывов в объектах программного комплекса Anylogic;
 а – однопутное движение; б – двухпутное движение

Обозначенные элементы показывают функциональные особенности составленной имитационной модели как отдельных действий, так и взаимосвязей типовых звеньев между собой в процессе симуляции технологических операций по прибытию, отправлению, обработке, пропуску, прицепке отцепке вагонов и локомотивов поездов, оценке доступных резервов железнодорожных станций и путей перегонов [6]. Количество повторов представленных вариантов зависит от времени и количества запланированных технологических «окон» и интенсивности движения поездов. Дальнейшие исследования могут быть связаны с увязкой технологических времен работ в технологические перерывы, графиком движения поездов и имитационным моделированием их прохождения при различных вариантах осуществления перевозочного процесса.

Заключение

Таким образом, при всей разработанности области исследований определение количества технологических перерывов и времени их проведения может быть оценено при помощи различных современных инструментов, в том числе и на основе комбинированного применения как математического моделирования, так и пакетов прикладных программ. На основании проведенных исследований может быть сформирован комплекс рекомендаций по количеству технологических перерывов в зависимости от их продолжительности.

Список литературы

- 1 Суханов, Г. И. Современные аспекты планирования технологических перерывов / Г. И. Суханов, Р. С. Большаков, А. В. Супруновский // Транспорт Азиатско-Тихоокеанского региона. – 2023. – № 4 (37). – С. 101–108. – EDN ZQDFVO.
- 2 Технология построения оптимального маршрута при организации мультимодальных пассажирских перевозок с учетом выбора места пребывания / Н. В. Кроль [и др.] // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2019. – № 2 (62). – С. 109–118. – DOI : 10.26731/1813-9108.2019.2(62).109-118. – EDN HZCFRZ.

3 Суханов, Г. И. Оценка эксплуатационной работы станции в условиях оптимизации тяговых плеч локомотивов / Г. И. Суханов, А. В. Супруновский, Н. В. Давыдова // Транспортная инфраструктура Сибирского региона. – 2019. – Т. 1. – С. 93–103.

4 Программа для определения технико-эксплуатационных показателей работы стыковой железнодорожной станции на основе использования статистических данных и вариантных прогнозных сценариев колебаний поступающих вагонопотоков : свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022661676 Российская Федерация / Е. В. Маловецкая, А. В. Супруновский, А. К. Мозалевская ; заявитель ФГБОУ ВО «ИрГУПС»: № 2022660561 ; заявл. 07.06.2022, опубл. 24.06.2022– EDN SJVAYJ.

5 Маловецкая, Е. В. Возможности повышения эффективности перевозочного процесса на основе построения комплексных прогнозных моделей загрузки инфраструктуры / Е. В. Маловецкая, А. К. Мозалевская // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2023. – Т. 17, № 7. – С. 38–46. – DOI : 10.36724/2072-8735-2023-17-7-38-46. – EDN IAEWSG.

6 Маловецкая, Е. В. Оценка влияния неравномерностей на перевозочный процесс / Е. В. Маловецкая, А. К. Мозалевская // Проблемы безопасности на транспорте : материалы XII Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 160-летию Бел. ж. д. В 2 ч. Ч. 2. – Гомель, 24–25 ноября 2022 г. / под общ. ред. Ю. И. Кулаженко. – Гомель : БелГУТ, 2022. – С. 207–209. – EDN BRTMRC.

УДК 539.31

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНИМОСТИ НОВОЙ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАСПОЛОЖЕНИЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ОПОР ДЛЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ

С. А. БОРШЕВЕЦКИЙ

*Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация,
ПАО «Яковлев», г. Москва, Российская Федерация*

Н. А. ЛОКТЕВА

*Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация,
НИИ механики МГУ им. М. В. Ломоносова, г. Москва, Российская Федерация,*

В работах [1–4] рассмотрены случаи определения расположения шарнирных дополнительных опор в прямоугольных пластинах при произвольных нагрузках. Среди достоинств отмечена возможность применения новой методики и для криволинейных оболочек. В качестве начала исследований взята цилиндрическая оболочка.

На основании данных исследований рассматривается шарнирно опертая по кромкам тонкая цилиндрическая оболочка известного радиуса, высоты и постоянной толщины. В произвольное место оболочки действует сосредоточенная статическая нагрузка. Оболочка выполнена из упругого изотропного материала. Требуется определить расположение дополнительных опор таким образом, чтобы максимальный нормальный прогиб не превышал половину толщины [5]. Для использования ранее упомянутой методики задача решается в цилиндрической системе координат. В таком случае цилиндр может быть развернут в прямоугольную пластину (рисунок 1).

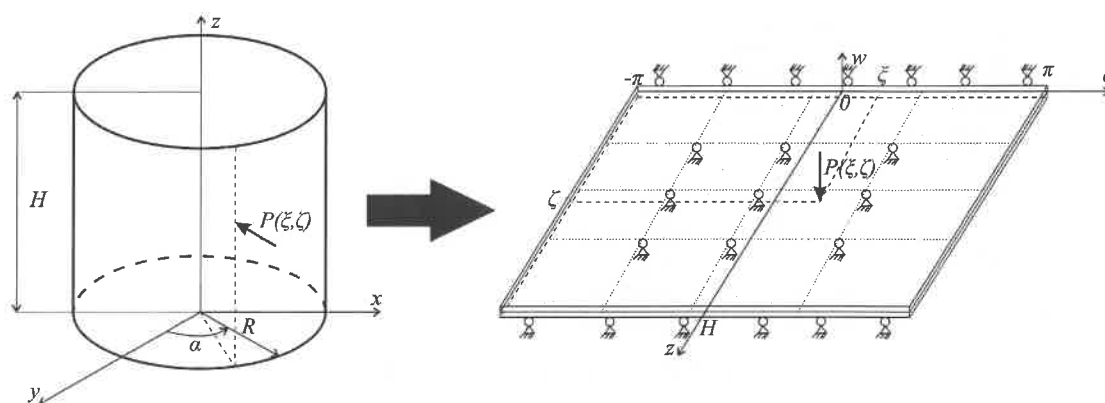


Рисунок 1 – Развертка цилиндра в пластину

Прямое использование ранее описанной методики показало расхождение аналитических и численных результатов. Для определения области применения была решена однотипная задача для трех вариантов моделей: оболочка Кирхгофа – Лява, Тимошенко, а также численное решение в про-

граммном комплексе Ansys Workbench при помощи оболочечного элемента Shell181 [6]. В качестве параметра варьировалось соотношение диаметра цилиндра к его высоте, причем высота принималась за константу.

В результате анализа были выявлены две области соотношения с допустимыми погрешностями не более 15 % (рисунок 2).

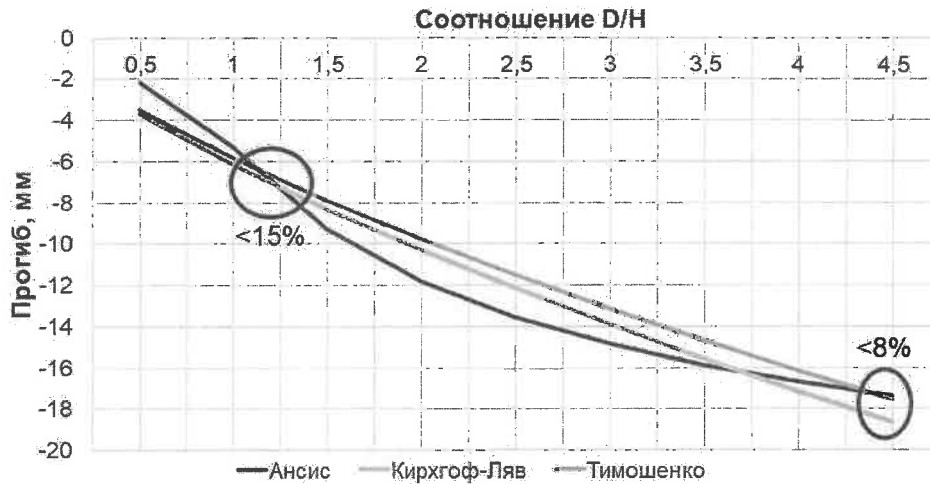


Рисунок 2 – Анализ сходимости для разных методик

Дальнейшее уточнение областей дало четкие соотношения: 1,1 и 4,5. Последующее решение задачи для найденных значений показало большую погрешность для сегмента из четырех опор для соотношения 4,5.

Вывод. Геометрическим соотношением диаметра цилиндрической оболочки к высоте, при котором новая методика определения расположения дополнительных опор показывает приемлемые результаты, является 1,1.

Список литературы

- 1 Боршевецкий, С. А. Определение нормальных перемещений шарнирно опертой пластины с дополнительными опорами под воздействием сосредоточенной силы / С. А. Боршевецкий, Н. А. Локтева // *Динамические и технологические проблемы механики конструкций и сплошных сред : материалы XXVII Междунар. симп. им. А. Г. Горшкова. Т. 2.* – М. : ООО «ТРП», 2021. – С. 19–20.
- 2 Боршевецкий, С. А. Определение расположения дополнительных опор шарнирно опертой пластины при гармоническом воздействии / С. А. Боршевецкий // *Труды МАИ.* – 2023. – № 128. – DOI : 10.34759/trd-2023-128-03.
- 3 Боршевецкий, С. А. Определение положения дополнительных опор для прямоугольной шарнирно опертой пластины при нестационарном воздействии на нее / С. А. Боршевецкий, Н. А. Локтева // *XXV Нуполевские чтения (школа молодых ученых) : материалы Междунар. молодежной науч. конф. Т. 2.* – Казань : Изд-во ИП Сагиева А. Р., 2021. – С. 395–400.
- 4 Боршевецкий, С. А. Определение расположения дополнительных опор в пластине Тимошенко при гармоническом воздействии / С. А. Боршевецкий, Н. А. Локтева // *Механика композиционных материалов и конструкций, сложных и гетерогенных сред : сб. тр. 12-й Всерос. науч. конф. с международным участием.* – М. : ООО «Сам Полиграфист», 2022. – С. 438–447.
- 5 Лукашевич, А. А. Теория расчета пластин и оболочек : учеб. пособие / А. А. Лукашевич. – СПб. : СПбГАСУ. – 2017. – 127 с.
- 6 Басов, К. А. ANSYS: справочник пользователя / К. А. Басов. – М. : ДМК Пресс, 2005. – 640 с.

УДК 539.3

УРАВНЕНИЯ СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ ПЯТИСЛОЙНОГО УПРУГОГО СТЕРЖНЯ

Д. А. БУДНИКОВА

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

В связи широким применением многослойных элементов конструкций в строительстве и транспорте машиностроении разработка математических моделей их деформирования является актуальной задачей. Методы расчета и постановки краевых задач для трехслойных элементов конструкций, учитывающие внешнее воздействие различных физико-механических полей, исследованы в

монографиях [1–7]. Квазистатическое деформирование трехслойных стержней и пластин рассматривалось в работах [8–11]. Статьи [12–17] посвящены динамическому воздействию на трехслойные и пятислойные пластины.

Постановка задачи проведена в декартовой системе координат, связанной со срединной плоскостью внутреннего несущего слоя. Кинематические гипотезы для упругого пятислойного стержня, симметричного по толщине, соответствуют гипотезе ломаной линии: в трех (два внешних и центральный) тонких несущих слоях справедливы гипотезы Кирхгофа, в двух заполнителях – гипотеза Тимошенко о прямолинейности и несжимаемости нормали, которая поворачивается на дополнительный угол $\psi(x)$. Ось x направлена вдоль осевой линии стержня. Искомыми функциями являются прогиб стержня $w(x)$ и относительный сдвиг $\psi(x)$ в заполнителях. На торцах балки ($x=0; l$) предполагается наличие жесткой диафрагмы, препятствующей относительному сдвигу слоев $\psi(0) = \psi(l) = 0$.

В соответствии с принятыми гипотезами продольное перемещение в слоях:

$$\begin{aligned}\varepsilon_x^{(4)} &= -zw_{,xx} + c\psi_{,x}; & \varepsilon_{xz}^{(4)} &= 0; \\ \varepsilon_x^{(5)} &= -zw_{,xx} + (z-h)\psi_{,x}; & \varepsilon_{xz}^{(5)} &= \frac{\psi}{2}; \\ \varepsilon_x^{(1)} &= -zw_{,xx}; & \varepsilon_{xz}^{(1)} &= 0; \\ \varepsilon_x^{(3)} &= -zw_{,xx} + (z+h)\psi_{,x}; & \varepsilon_{xz}^{(3)} &= \frac{\psi}{2}; \\ \varepsilon_x^{(2)} &= -zw_{,xx} - c\psi_{,x}; & \varepsilon_{xz}^{(2)} &= 0.\end{aligned}$$

где z – координата рассматриваемого волокна; $c\psi$ – величина смещения верхнего несущего слоя за счет сдвига в верхнем заполнителе; $-c\psi$ – смещение нижнего несущего слоя за счет сдвига в нижнем заполнителе, запятая в нижнем индексе обозначает операцию дифференцирования по следующей за ней координате; верхний коэффициент показывает номера слоев, которые расположены в подобном порядке.

Деформации в слоях выражаются через продольные перемещения в соответствии с соотношениями Коши. Напряжения вычисляются через деформации с помощью закона Гука. Внутренние усилия в слоях стержня введены с помощью компонентов тензора напряжения $\sigma_x^{(k)}, \sigma_{xz}^{(k)}$:

$$N^{(k)} = b_0 \int_{h_k} \sigma_x^{(k)} dz, \quad M^{(k)} = b_0 \int_{h_k} \sigma_x^{(k)} z dz, \quad Q^{(k)} = b_0 \int_{h_k} \sigma_{xz}^{(k)} dz.$$

В стержне приняты следующие обобщенные внутренние усилия:

$$M = \sum_{k=1}^5 M^{(k)}; \quad H = (M_x^{(3)} + M_x^{(5)}) + c(N_x^{(4)} - N_x^{(2)}) + h(N_x^{(3)} - N_x^{(5)}); \quad Q = Q^{(3)} + Q^{(5)}.$$

Уравнения колебаний пятислойного стержня получены с помощью принципа возможных перемещений Лагранжа с учетом поперечных сил инерции. При определении виртуальной работы внешних сил считалось, что к срединной поверхности заполнителя приложена произвольно распределенная нагрузка $q(x)$. В результате имеем следующую систему дифференциальных уравнений поперечных колебаний в усилиях для пятислойного стержня:

$$\begin{aligned}H_{,x} - Q &= 0, \\ M_{,xx} - M_0 \ddot{w} &= -b_0 q,\end{aligned}$$

где H_x, M_x, Q – обобщенные внутренние усилия; b_0 – ширина стержня; $M_0 \ddot{w}$ – инерционные силы, причем $M_0 = (\rho_1 h_1 + \rho_2 h_2 + \rho_3 h_3 + \rho_4 h_4 + \rho_5 h_5) b_0 l$, ρ_k – плотность материала; $b_0 l$ – площадь продольного сечения, точка вверху обозначает производную по времени.

Заключение. Полученная система уравнений вынужденных поперечных колебаний в усилиях позволяют поставить начально-краевую задачу для определения параметров напряженно-деформированного состояния пятислойных стержней, симметричных по толщине.

Список литературы

- 1 Горшков, А. Г. Механика слоистых вязкоупругопластических элементов конструкций / А. Г. Горшков, Э. И. Старовойтов, А. В. Яровая. – М. : Физматлит, 2005. – 576 с. – EDN RXGSLJ.
- 2 Журавков, М. А. Математические модели механики твердого тела / М. А. Журавков, Э. И. Старовойтов. – Минск : БГУ, 2021. – 535 с.
- 3 Zhuravkov, M. A. Mechanics of Solid Deformable Body / M. A. Zhuravkov, Lyu Yongtao, E. I. Starovoitov. – Singapore : Springer, 2022. – 317 p.
- 4 Старовойтов, Э. И. Сопротивление материалов / Э. И. Старовойтов. – Гомель : БелГУТ, 2004. – 376 с.
- 5 Старовойтов, Э. И. Механика материалов / Э. И. Старовойтов. – Гомель : БелГУТ, 2011. – 380 с.
- 6 Абдусаттаров, А. Деформирование и повреждаемость упругопластических элементов конструкций при циклических нагрузениях / А. Абдусаттаров, Э. И. Старовойтов, Н. Б. Рузиева. – Ташкент : IDEAL PRESS, 2023. – 381 с.
- 7 Деформирование трехслойных пластин при термосиловых нагрузках / Э. И. Старовойтов [и др.]. – Гомель : БелГУТ, 2024. – 395 с.
- 8 Захарчук, Ю. В. Напряженно-деформированное состояние круговой трехслойной пластины со сжимаемым наполнителем / Ю. В. Захарчук // Механика. Исследования и инновации. – Гомель : БелГУТ, 2019. – Вып. 12. – С. 66–75.
- 9 Козел, А. Г. Влияние сдвиговой жёсткости основания на напряжённое состояние сэндвич пластины / А. Г. Козел // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2018. – Т. 332, № 6. – С. 25–34.
- 10 Deformation of a Step Composite Beam in a Temperature Field / E. I. Starovoitov [et. al.] // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. – 2015. – Vol. 88, no 4. – P. 1023–1029.
- 11 Старовойтов, Э. И. Деформирование трехслойного стержня в температурном поле / Э. И. Старовойтов, Д. В. Леоненко // Механика машин, механизмов и материалов. – 2013. – Т. 22, № 1. – С. 31–35.
- 12 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, no. 2. – P. 145–152.
- 13 Трацевская, Е. Ю. Динамическая неустойчивость квазитиксотропных моренных грунтов / Е. Ю. Трацевская // Литосфера. – 2017. – № 1 (46). – С. 107–111.
- 14 Старовойтов, Э. И. Исследование спектра частот трехслойной цилиндрической оболочки с упругим наполнителем / Э. И. Старовойтов, Д. В. Леоненко // Механика композиционных материалов и конструкций. – 2015. – 21, № 2. – С. 162–169.
- 15 Starovoitov, É. I. Vibrations of round three-layer plates under the action of distributed local loads / É. I. Starovoitov, D. V. Leonenko, A.V. Yarovaya // Strength of materials. – 2002. – Vol. 34, no 5. – P. 474–481.
- 16 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, no 4. – P. 359–367. – DOI : 10.1007/s10778-016-0760-8.
- 17 Лачугина, Е. А. Поперечные колебания пятислойной упругой круговой пластины с жесткими наполнителями / Е. А. Лачугина // Механика. Исследования и инновации. – Гомель : БелГУТ, 2022. – Вып. 15. – С. 212–219.

УДК 656:51(075.8)

ПРЕПОДАВАНИЕ КУРСА «ПРИКЛАДНАЯ МАТЕМАТИКА» ДЛЯ МАГИСТРАНТОВ СПЕЦИАЛЬНОСТИ «ТЕХНОЛОГИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ПРОЦЕССОВ»

С. П. ВАКУЛЕНКО, С. М. КОКИН, А. М. ФИЛИМОНОВ
Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва

Рассматривается курс «Прикладная математика», состоящий из практических занятий для студентов-магистрантов специальности «Технология транспортных процессов: Управление перевозочным процессом и транспортное планирование и Мультимодальные логистические комплексы».

В силу практической направленности этой категории студентов в основу содержания курса было положено изучение методов обработки данных, поскольку этот материал представляется необходимым в большинстве видов практической деятельности, связанной с технологией и с обеспечением безопасности транспортных процессов. Курс читается обучающимся в магистратуре, в учебных планах бакалавриата и специалитета его нет.

Поскольку магистранты поступают в университет спустя разное время после окончания вуза, то в начале курса производится краткое напоминание основных вероятностных понятий по принципу «от простого к сложному» и с возможной практической интерпретацией.

Приведем простой пример. Рассматривается задача о минимальной стоимости билета на право разового участия в игре, состоящей в однократном подбрасывании двух игральные кости с последующей выплатой приза: за выпавшие две шестерки 100 руб., за ровно одну шестерку – 10 руб., а при отсутствии шестерок не выплачивается ничего. Затем поясняется, что сходные идеи положены в основу работы страховых компаний и соотношений между страховым взносом и размером страхо-

вой премии. При этом обращается внимание на то, что, в отличие от простейшей модели с игральными костями, подсчет вероятностей требует статистической обработки данных.

В качестве следующего примера рассматривается известная задача о встрече: два поезда должны прибыть на станцию на один и тот же путь, но в различное время. Нужно найти вероятность того, что из-за случайных обстоятельств они прибудут на станцию в один и тот же промежуток времени. Обычная постановка задачи предполагает, что моменты времени прибытия – независимые, равномерно распределенные величины. Однако исходя из реальной ситуации, естественно предположить, что моменты времени прибытия – случайные величины, распределенные по некоторому, например, по показательному или какому-то другому, закону. Таким образом, происходит естественное введение в практику законов распределения случайных величин.

Ниже приводится примерная программа курса, состоящего из практических занятий, в начале каждого из которых преподаватель напоминает соответствующие понятия и приводит пример соответствующего расчета.

1 Математическое ожидание MV и дисперсия DV случайной величины V . Выработываемый навык – нахождение MV и DV .

2 Вероятность попадания случайной величины V в заданный промежуток $[-1/5, \sqrt{3})$. Закон распределения и его график $F_V(x)$. Выработываемый навык – построение графика закона распределения.

3 Понятие о геометрических вероятностях. Задача о встрече. Выработываемый навык – отыскание вероятности попадания в заданный прямоугольник.

4 Понятие о конечных и бесконечных сериях испытаний. Комбинаторика. Схема Бернулли и геометрическое распределение. Выработываемый навык – нахождение вероятности в серии попадания случайной величины V в заданный промежуток $[-2, \sqrt{5})$.

5 Эмпирический закон распределения. Выработываемый навык – построение эмпирического закона распределения.

6 Гистограмма. Выработываемый навык – построение гистограммы.

7 Виды непрерывных распределений. Выработываемый навык – отыскание вероятности попадания в заданный промежуток для равномерного распределения.

8 Схема Бернулли для закона Пуассона. Выработываемый навык – нахождение вероятности в схеме Бернулли для случайной величины, распределенной по закону Пуассона.

9 Нормальное распределение. Выработываемый навык – отыскание вероятности попадания в заданный промежуток для нормального распределения.

10 Центральная предельная теорема. Выработываемый навык – вероятность попадания в заданный интервал по центральной предельной теореме для суммы равномерных распределений.

11 Точечные оценки для m и d . Выработываемый навык – построение точечных оценок для m и d .

12 Доверительный интервал для оценки m (по заданной выборке) при заданном уровне доверия. Выработываемый навык – построение доверительных интервалов с помощью нормального распределения.

13 Статистическая проверка гипотез. Выработываемый навык – отыскание оценки отклонения m от заданного значения a по критерию Стьюдента.

14 Статистическая проверка гипотез. Выработываемый навык – сравнение математических ожиданий двух выборок по критерию Стьюдента.

15 Критерий Пирсона. Выработываемый навык – проверка гипотез по критерию хи-квадрат.

16 Двумерные случайные величины V, W . Выработываемый навык – построение частных распределений и графиков $F_V(x), F_W(y)$.

17 Числовые характеристики двумерной случайной величины. Выработываемый навык – нахождение $MV, MW, DV, DW, M(VW)$.

18 Независимость случайных величин. Ковариация. Выработываемый навык – отыскание коэффициента корреляции.

19 Условные распределения. Выработываемый навык – построение условных распределений.

20 Линии регрессии. Выработываемый навык – построение линий регрессии.

21 Метод наименьших квадратов. Выработываемый навык – отыскание коэффициентов линейной аппроксимации.

22 Оценка корреляции по критерию Стьюдента. Двумерный нормальный закон. Выработываемый навык – проверка гипотезы о значимости выборочного коэффициента корреляции.

- 23 Оценка коэффициента корреляции. Вырабатываемый навык – оценка коэффициента корреляции.
 24 Критерий Кочрена. Вырабатываемый навык – сравнение дисперсий по критерию Кочрена.
 25 Критерий Манна – Уитни. Навык – сравнение средних по критерию Манна – Уитни.
 26 Критерий Фишера. Вырабатываемый навык – использование однофакторного анализа.
 27 Информация. Вырабатываемый навык – вычисление информации в простейших задачах.
 28 Случайные процессы и временные ряды. Вырабатываемый навык – отыскание математического ожидания и дисперсии временного ряда.
 29 Автокорреляционная функция случайного процесса. Вырабатываемый навык – отыскание автокорреляционной функции временного ряда.
 30 Обзорное занятие.

Затем студентам выдаются индивидуальные задания, похожие на то, которое разобрал преподаватель. Для получения зачета необходимо выполнить все задания.

Теоретические основы курса и примеры использования получаемых знаний для решения задач, возникающих в транспортной отрасли, изложены, например, в работах [1–5]. В частности, учебное пособие [5] издано в нашем университете, и основными примерами, которые в нем разбираются, являются примеры из практики железнодорожного транспорта.

Список литературы

- 1 Гмурман, В. Е. Руководство к решению задач по теории вероятностей и математической статистике / В. Е. Гмурман. – М. : Высш. шк., 2014. – 400 с.
 2 Коротких, Ю. С. Моделирование транспортных процессов / Ю. С. Коротких, Н. Н. Пуляев. – М. : Автограф, 2019. – 150 с.
 3 Вельможин, А. В. Основы теории транспортных процессов и систем : учеб. пособие для вузов / А. В. Вельможин, В. А. Гудков, Л. Б. Миротин. – М. : Академия, 2008. – 288 с.
 4 Математическое моделирование транспортных систем и процессов / А. Н. Рахмангулов. – Магнитогорск : МГТУ им. Г. И. Носова, 2021. – 190 с.
 5 Карпухин, В. Б. Теория и практика математического моделирования в задачах транспортной системы / В. Б. Карпухин. – М. : РУТ (МИИТ), 2021. – 111 с.

УКД 539.31

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ГЛУБОКОГО МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ И ФИЗИЧЕСКИ ИНФОРМИРОВАННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В РЕШЕНИИ ОБРАТНЫХ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ЗАДАЧ ПО ИДЕНТИФИКАЦИИ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДЛЯ БАЛКИ БЕРНУЛЛИ – ЭЙЛЕРА

Я. А. ВАХТЕРОВА

*Московский авиационный институт (НИИ), Российская Федерация
НИИ механики МГУ им. М. В. Ломоносова, г. Москва, Российская Федерация*

И. П. КОЗЛОВ

Московский авиационный институт (НИИ), Российская Федерация

Г. В. ФЕДОТЕНКОВ

*Московский авиационный институт (НИИ), Российская Федерация
НИИ механики МГУ им. М. В. Ломоносова, г. Москва, Российская Федерация*

В данной работе рассматривается однородная изотропная шарнирно опертая балка Бернулли – Эйлера конечной длины. На балку воздействует нестационарная сосредоточенная сила. В прямой задаче, зная физико-механические свойства, требуется определить прогиб балки, в обратной: зная показания ускорений с датчика – модуль Юнга и площадь поперечного сечения. На первом этапе задача решается численно-аналитически. Это требуется для проверки результатов, полученных с помощью технологий глубокого машинного обучения и физически информированных нейронных сетей (PINN). На втором этапе строится физически информированная нейронная сеть.

С каждым годом всё чаще появляются новые материалы, которые требуют определения точных свойств (модуля Юнга и модуля сдвига). Обычно модуль упругости определяется с помощью механических испытаний, таких как эксперименты по одноосному растяжению, которые проводятся на специально подготовленных образцах, соответствующих протоколам тестирования. Этот подход

включает сбор данных о напряжении и предположение о феноменологической конститутивной модели материала. Тем не менее эта традиционная система требует строгого процесса подготовки образцов, а также экономических затрат.

Для решения прямых и обратных нестационарных задач механики деформируемого твердого тела используются два подхода. Первый подход основан на аналитических либо численно-аналитических решениях прямой и обратной задачи с помощью метода функций влияния. Второй подход реализован с применением технологий глубокого машинного обучения и физически информированных нейронных сетей. Он позволит построить решения новых нестационарных прямых и обратных задач, которые ранее аналитически получить было крайне сложно или невозможно.

В первом подходе аналитические и численно-аналитические решения обратных задач строятся с использованием функций влияния (фундаментальных решений, функций Грина). При этом сначала аналитическими методами строится функция влияния для прямой задачи. Они являются решениями задач о воздействии на рассматриваемое тело сосредоточенных во времени и по координатам нагрузок. При этом они разделяются на граничные функции влияния (в случае, когда сосредоточенная нагрузка входит в правую часть граничных условий) и объёмные функции влияния (когда сосредоточенные нагрузки содержатся в правых частях дифференциальных уравнений движения). Для математического описания таких нагрузок используется аппарат обобщённых функций. Функции влияния также являются обобщёнными и, в отличие от обычных функций перемещений или напряжений (внутренних усилий), могут иметь разрывы и даже более сильные особенности. Функции влияния строятся с применением интегрального преобразования Лапласа по времени, а также с применением разложений в ряды по системам собственных функций для прямой задачи. Обращение интегрального преобразования Лапласа по времени будет реализовано с привлечением теории вычетов. С использованием функций влияния построены интегральные представления решений прямых задач. В случае обратных задач с использованием этих интегральных представлений получены разрешающие интегральные уравнения для обратных задач. Разрешающие интегральные уравнения кроме внешних нагрузок содержат также и все параметры модели: плотность материала, упругие константы, геометрические параметры. В различных постановках часть параметров модели или внешние нагрузки являются искомыми неизвестными, которые требуется определить из решения обратной задачи, сводящейся к указанным разрешающим уравнениям. Для решения обратных задач с помощью описанного выше подхода, сводящегося к решению интегральных уравнений, используется метод механических квадратур в сочетании с быстрым преобразованием Фурье. В случае наличия сильных особенностей в ядрах интегральных операторов построены специальные квадратурные формулы, основанные на методе канонической регуляризации с аналитическим выделением особенностей. Преимуществом этого подхода является то, что он приводит интегральные уравнения первого рода, решение которых может оказаться некорректной задачей, к интегральным уравнениям второго рода.

Следует отметить, что описанные выше подходы к решению обратных задач могут быть применены в тех случаях, когда исходные задачи являются линейными (дифференциальные операторы, входящие в уравнения и граничные условия, являются линейными). Если эти условия нарушаются, то предложенные выше методы решения оказываются бессильными. Для этих случаев предполагается развитие и применение нейросетевых технологий, с использованием искусственных нейронных сетей с физическим подкреплением (физически информированных нейронных сетей) и алгоритмов глубокого машинного обучения. В этом случае для аппроксимации искомым функций и параметров используется нейронная сеть. Благодаря своей универсальности при использовании в качестве «аппроксиматоров» нейронные сети могут быть с успехом применены к решению как прямых, так и обратных задач математической физики, причем и линейных, и нелинейных.

Физически информированные нейронные сети (ФИНС) в сочетании с алгоритмами их обучения, которые по сути являются градиентными методами математической оптимизации, могут быть использованы для решения прямых и обратных задач, в том числе с зашумленными экспериментальными наблюдениями данными. Поскольку ФИНС могут использовать известные данные, придерживаясь любых заданных физических законов, выраженных в математической постановке задачи (уравнения, начальные и граничные условия, дополнительные данные), их можно отнести к классу нейронных сетей, которые решают задачи обучения с учителем. ФИНС могут применяться к решению дифференциальных уравнений и начально-краевых задач, имеющих наиболее общую форму:

дифференциальные уравнения могут быть линейными или нелинейными, граничные условия могут являться условиями Дирихле, Неймана, смешанными или периодическими. Уравнения и соотношения математической постановки могут описывать разнообразные физические системы, включая как прямые, так и обратные задачи механики деформируемого твёрдого тела. При этом как прямая, так и обратная задача рассматриваются в рамках одной нейросетевой модели – с помощью подхода, основанного на использовании ФИНС, обе проблемы могут быть решены «за один проход», т. е. в рамках одного цикла обучения (оптимизации). В таком контексте основная цель – «научить» нейронную сеть аппроксимировать заданные дифференциальные уравнения, начальные, граничные условия и дополнительные соотношения (в случае обратной задачи) путем определения матриц весов и векторов смещений нейронной сети, приводящих к минимизации функции потерь, которая представляет собой сумму невязок (возможно, взвешенную), включающую невязки всех уравнений, начальных и граничных условий, а также дополнительных соотношений, составляющих математическую постановку задачи. Именно построение такой специальной функции потерь, которая включает в себя полную информацию о математической модели, отличает ФИНС от других типов нейронных сетей. В то же время сама математическая модель и является «учителем» для нейронной сети. Таким образом, нет необходимости в огромных базах тренировочных и проверочных наборов данных, которые необходимы, например, для обучения нейронной сети распознаванию образов или речи. Иными словами, такая нейронная сеть «заранее знает», чему она должна обучиться.

Впоследствии физико-механические свойства материала могут быть определены путем сопоставления экспериментальных данных или аналитических решений с предполагаемым методом глубокого машинного обучения и физически информированных нейронных сетей.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 20-19-00217, <https://rscf.ru/project/20-19-00217>.

УДК 539.3

ИССЛЕДОВАНИЯ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ОРТОТРОПНЫХ ПЛАСТИН С ПРЯМЫМИ И ЗЕНКОВАННЫМИ ОТВЕРСТИЯМИ

В. А. ВЕСТЯК

Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация

Е. И. СМАГИН

ПАО «Яковлев», г. Москва, Российская Федерация

М. И. МАРТИРОСОВ

Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация

Интенсивное внедрение ортотропных материалов в различных областях промышленности показывает большой потенциал полимерных композиционных материалов (ПКМ) по показателям прочности и весовой эффективности. Применение ПКМ сопровождается исследованиями свойств материала и конструкции в местах соединений. В работе представлены результаты расчетно-экспериментальных исследований прочности ортотропных пластин со свободным и нагруженным отверстиями. Рассмотрены различные методы испытаний для образцов, моделирующих работу конструкции с проходящей и сминающей нагрузкой, а также образцы, моделирующие совместное действие указанных выше нагрузок. Для различных методов испытаний представлены виды образцов, схемы нагружения. На образцах со свободным и нагруженным отверстиями проведены экспериментальные исследования напряженно-деформированного состояния (НДС) и остаточной прочности ПКМ на основе эпоксидной матрицы и высокомодульного волокна.

Для экспериментальной оценки несущей способности в ортотропных пластинах с концентраторами в виде свободных отверстий и отверстиями с зенковкой проводится статическое нагружение образцов со схожей схемой армирования. Испытания проводились в соответствии с существующими стандартами, представленными в ГОСТ 33498–2015, ГОСТ Р 56788–2015 и ГОСТ 33375–2015.

Исследование прочности образцов с прямым и зенкованным 90° отверстиями из ортотропного материала на основе эпоксидной матрицы и высокомодульного волокна с укладками монослоев из 50 % слоев по направлению 0° , 38 % слоев по направлению 45° , 13 % слоев по направлению 90° (50/38/13) 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.

Экспериментальные данные подтверждают чувствительность ортотропных пластин на основе рассмотренного ПКМ к геометрическим концентраторам напряжений. При анализе изменения концентратора на отверстие с зенковкой в 90° и глубиной конуса 2,92 мм внутрь материала можно наблюдать незначительное изменение площади поперечного сечения в 0,96 относительно прямого отверстия.

Для экспериментальной оценки несущей способности в ортотропных пластинах, а также изучения влияния плоскости среза и зенковки проводились статические испытания с использованием различных типов образцов с концентраторами в виде нагруженных отверстий. Испытания на статическое нагружение проводились по стандарту, описанному в ГОСТ 33498–2015.

Указанные методы позволяют получить оценку механических характеристик материала и области их применений. Обработка результатов испытаний ПКМ на основе эпоксидной матрицы и высокомодульного волокна позволяет определить область несущей способности при совместном действии сминающей и проходящей нагрузки, что в свою очередь может служить консервативной оценкой соединения с ортотропной пластиной при заданных условиях смятия.

Для экспериментальной оценки несущей способности ортотропных пластин с концентраторами в виде нагруженных отверстий испытания на статическое нагружение проводилось по стандарту, описанному в ГОСТ Р 56790–2015. Метод позволяет учесть различные варианты концентраторов напряжений в виде заполненных зенкованных, прямых отверстий, а также комбинации нагружения растяжения и сжатия.

Для учета влияния плоскости среза ГОСТ Р 56790–2015 предусматривает различные схемы нагружения образца по методу А и методу В. В пластине реализуется сложное напряженное состояние, состоящее из растягивающих / сжимающих, а также сдвиговых напряжений и сминающего напряжения в отверстии. Представлены технологическая оснастка и образцы, закрепленные в захватах испытательной машины, при действии комбинации сминающей и проходящей нагрузок.

Для определения возможности аппроксимации полученных данных для иных укладок проводится серия расчетов с помощью метода конечных элементов (МКЭ). Методика определения параметров материала основана на моделировании приведенных выше испытаний в программном комплексе LS-DYNA и сравнении результатов расчета с результатами испытаний. Для моделирования рассматриваемого в работе ПКМ на основе эпоксидной матрицы и высокомодульного волокна используются восьмиузловые объемные конечные элементы (КЭ) первого порядка.

Для исследования НДС типовых соединений ортотропных пластин с механическими крепежными элементами создавались серии конечно-элементных моделей (КЭМ) с различными схемами армирования.

Для исследования прочности односрезного и двухсрезного соединений ортотропных пластин с титановым крепежным элементом разработаны соответствующие КЭМ. В местах соприкосновения ортотропных пластин и крепежного элемента задавались условия контакта. В разработанных КЭМ пластины имеют различные схемы армирования с 13–50%-м содержанием слоев вдоль направления 0° .

В расчетах используется модель материала ПКМ «MAT_221_ORTHOTROPIC_SIMPLIFIED_DAMAGE», основанная на критерии максимальных деформаций (один из распространенных на практике критериев разрушения ПКМ). Согласно этому критерию разрушение наступает, когда одна из компонент деформации (отнесенная к осям ортотропии) достигает предельного значения, которое определяется из испытаний на одноосное нагружение и чистый сдвиг.

По результатам расчета определены слои получившие повреждения в результате достижения предельного значения согласно критерию разрушения и значения нагрузки, при которой фиксируется потеря несущей способности образца.

Модель материала MAT_221 основана на том, что зависимость напряжений от деформаций в ортотропном слоистом ПКМ имеет три участка: зона упругого поведения, зона повреждения, зона разрушения.

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 наблюдается высокая степень «подмятия» зонкованной области ортотропной пластины, которая в свою очередь провоцирует потерю несущей способности образца. В случае с моделью двухсрезного соединения наблюдается равномерное нагружение модели с выработанной сдвиговой модой разрушения.

В зависимости от различных схем армирования ортотропных пластин наблюдаются различные формы разрушения. Так, для образца 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 малое количество поврежденных вдоль 0° слоев и множественные повреждения слоев от сдвиговых деформаций. Данная мода проявляется в разной степени в зависимости от укладки образца из ПКМ. При анализе показателей критерия разрушения в образце двухсрезного соединения явно наблюдается высокая чувствительность от схемы армирования. Так, для модели с укладкой монослоев из 9 % слоев по направлению 0°, 73 % слоев по направлению 45°, 18 % слоев по направлению 90° (9/73/18), т. е. состоящей из большого количества слоёв с ориентацией 45° имеют место множественные повреждения слоев от сдвиговых и сжимающих деформаций.

Анализ результатов работы показывает, что ортотропные пластины подвержены сильному влиянию геометрических концентраторов и типа соединения. При проектировании элементов конструкций из ортотропного материала целесообразно использовать комплексный подход по определению несущей способности. Расчет показал, 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 сечения.

Данный подход на изучаемых примерах позволяет значительно увеличить площадь области несущей способности. Учет особенностей типа соединения при проектировании стыков наглядно показывает сужение области несущей способности.

УДК 54-18

ПРИМЕНЕНИЕ КАУЧУКА НА ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГЕ

Н. А. ВОЛКОВ, Л. С. КУЩЕНКОВА

*Нижегородский институт путей сообщения –
филиал Приволжского университета путей сообщения, г. Нижний Новгород,
Российская Федерация*

Каучук – универсальный материал, нашедший широкое применение в железнодорожном транспорте. Его свойства, такие как эластичность, стойкость к истиранию и вибрации, делают его идеальным для различных элементов железнодорожной инфраструктуры и подвижного состава.

Приведем несколько примеров использования каучука.

1 Резиновые прокладки, уплотнители и подушки.

Вагоны: каучуковые прокладки используются для уплотнения дверей, окон и других открытых участков вагонов, предотвращая проникновение влаги, шума и пыли.

Локомотивы: резиновые уплотнители применяются в двигателях, системах охлаждения и других компонентах, обеспечивая герметичность и предотвращая утечки.

Пути: резиновые прокладки используются в стыках рельсов для поглощения вибрации и шума, а резиновые подушки используются для улучшения сцепления с рельсами и снижения износа колес на резких изгибах.

Системы торможения: резиновые уплотнители и прокладки используются в тормозных системах для предотвращения утечки воздуха и обеспечения надежного торможения.

2 Резиновые колеса.

Локомотивы: резиновые колеса применяются в маневровых локомотивах и других типах локомотивов работающих на малых скоростях, обеспечивая плавность хода и снижение шума.

Вагоны: в некоторых типах вагонов, например, в вагонах метро, используются резиновые колеса для повышения комфорта пассажиров и снижения шума.

Резиновые прокладки используются в колесах локомотивов и вагонов для повышения комфорта пассажиров и снижения шума; они поглощают вибрацию и удары, способствуя более плавной езде.

Резиновые бандажки могут использоваться на колесах локомотивов и вагонов для повышения сцепления с рельсами, особенно на скользких поверхностях.

3 *Резиновые буферы.*

Вагоны: резиновые буферы устанавливаются на концах вагонов для поглощения ударов при столкновениях, предотвращают повреждение вагонов и обеспечивают безопасность.

Локомотивы: резиновые буферы используются для смягчения ударов при маневрах и переходах на другие пути.

4 *Резиновые подвески.*

Вагоны: резиновые подвески используются для снижения вибрации и шума, создаваемых движением поезда, а также для повышения комфорта пассажиров и увеличения срока службы вагонов.

5 *Резиновые изоляторы.*

Контакты: резиновые изоляторы используются для предотвращения короткого замыкания в электрических контактах, обеспечивая безопасность и надежность.

6 *Резиновые шланги:* используются для подачи воздуха, воды и других жидкостей в различные системы поезда.

7 *Резиновые детали в электрооборудовании:* используются для изоляции и защиты проводки.

8 *Резиновые ручки:* обеспечивают удобный захват и долговечность.

9 *Резиновые покрытия:* защищают пол вагонов от повреждений.

10 *Резиновые прокладки:* обеспечивают устойчивость и комфорт в сиденьях.

11 *Пневматические амортизаторы:* в железнодорожных вагонах и других транспортных средствах они уменьшают вибрации и другие воздействия, передаваемые от колес.

Морозостойкая каучуковая композиция может использоваться в пневматических амортизаторах для железнодорожных вагонов, используемых в холодных климатических условиях. В таком случае каучук обладает хорошей морозостойкостью, то есть небольшим уменьшением упругости даже при низких температурах.

Композиционные материалы в инфраструктуре железных дорог (например, в строительстве и ремонте мостов и тоннелей, системах дренажа и водоотведения на путях).

Многие из нас, наверное, и не подозревают, что каучук используют на железной дороге для изготовления шпал. Шпалы, изготовленные из полимербетона, обладают всеми необходимыми качествами и отвечают всем требованиям, которые предъявляются к шпалам для скоростных железных дорог. Полимербетон – это долговечный материал, обладающий водоотталкивающими свойствами и устойчивостью к воздействию агрессивных химических сред. Предлагаемый полимербетон – это резинобетон, защищенный патентом США. Резинобетон – это первый в мире полимербетон, где в качестве вяжущего материала используется не эпоксидная, полиэфирная или фурановая смола, а жидкий каучук (полибутадиен). Такой бетон имеет прочность на сжатие до 90 МПа и на растяжение при изгибе до 30 МПа, что особенно важно, так как этот показатель прочности на растяжение значительно превосходит прочность на растяжение обычного бетона (на портландцементе). Водопоглощение полимербетона не превышает 0,06 %.

Полимербетон обладает высокой химической стойкостью как в щелочах, так и в кислотах. Собственно, само вяжущее полимербетона может применяться как самостоятельное, химически высокостойкое, защитное покрытие, обладающее высокой адгезией к стали (до 11,5 МПа при отрыве) и работоспособное до температуры 95 °С. Благодаря своей эластичности резинобетон устойчив к динамическим нагрузкам и не создаёт трещин. Для изготовления шпал из полимербетона можно использовать опалубку шпал из обычного железобетона. Смешивается агрегат и вяжущее, т. е. полимер из семейства жидких каучуков. Смесь заливается в опалубку (форму), в которой предварительно выполнен монтаж арматуры, возможно с предварительным натяжением (если есть необходимость в предварительном натяжении).

Затвердевание происходит в течение 12–48 часов. Для улучшения качества и ускорения процесса затвердевания необходимо нагревать опалубку до 120 °С.

Через два дня изделие можно вынимать из опалубки и через семь дней это изделие готово к восприятию рабочих нагрузок.

Шпалы из полимербетона обладают повышенной прочностью, надежностью, долговечностью в сравнении со всеми существующими шпалами. В долгосрочной перспективе это приведет к удешевлению, т. е. к экономии средств при эксплуатации железнодорожных путей.

Преимущества использования каучука в железнодорожном транспорте.

1 Высокая прочность и износостойкость, а следовательно, и увеличение срока службы: каучук обладает высокой прочностью и износостойкостью, что позволяет ему выдерживать нагрузки и вибрации, возникающие при движении поезда.

2 Устойчивость к воздействию окружающей среды: каучук не подвержен коррозии и не боится влаги, что делает его идеальным материалом для использования в железнодорожном транспорте.

3 Хорошие изоляционные свойства: каучук является хорошим изолятором, что делает его идеальным материалом для использования в электрооборудовании.

4 Амортизирующие свойства: каучук обладает амортизирующими свойствами, что позволяет снизить вибрацию и шум, создаваемые поездом.

5 Повышение безопасности: улучшение сцепления с рельсами и устойчивости вагонов.

6 Снижение затрат: увеличение срока службы деталей, снижение стоимости ремонта и технического обслуживания.

В заключение хочется отметить, что каучук является важным материалом в железнодорожном транспорте, обеспечивая надежность, безопасность, комфорт и долговечность этой системы. Он используется в различных компонентах и системах, таких как прокладки, колеса, буферы, подвески, изоляторы, шланги и другие. Постоянно развивающиеся технологии и новые виды каучука обеспечивают еще более эффективное использование этого материала в железнодорожном транспорте.

Список литературы

1 Композитные шпалы. Последние разработки [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://compositeworld.ru/articles/app/id5f109a3ea2d6046ed2ebe0b8>. – Дата доступа : 10.09.2024.

2 Железнодорожная шпала из переработанной резины (варианты) и способ ее производства из переработанной резины [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://patents.google.com/patent/RU2245410C2/ru>. – Дата доступа : 10.09.2024.

3 Композитные шпалы для РЖД вызывают вопросы специалистов. Использование пластика для железной дороги ограничивают климат и нагрузки [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://vgudok.com/lenta/kompozitnye-shpalalya-rzhd-vyzyvayut-voprosy-specialistov-ispolzovanie-plastika-dlya>. – Дата доступа : 10.09.2024.

УДК 629.12

ИССЛЕДОВАНИЕ ЖЕСТКОСТИ ПЕРФОРИРОВАННЫХ ПЛАСТИН ПРИ ДЕЙСТВИИ УДАРНЫХ НАГРУЗОК

М. В. ГОРОХОВА

*Волжский государственный университет водного транспорта, г. Нижний Новгород,
Российская Федерация*

При действии на судовую конструкцию ударных давлений со стороны жидкости в некоторых случаях перед основными элементами, такими как пластины, перекрытия, стали устанавливать дополнительные перфорированные пластины (пластины с вырезами). Цель установки перфорированных пластин – снизить ударные давления со стороны жидкости, передаваемые на основные связи. Примером такой конструкции пластины с вырезами является подшивка моста катамарана. В связи с этим представляется интересной и важной задача о жесткости таких защитных конструкций.

Для определения динамической жесткости перфорированной пластины используется задача приведения, как и при статическом нагружении. Содержание этой задачи заключается в нахождении параметров сплошной пластины, обладающей той же жесткостью, что и решетка. Определение параметров изгиба для перфорированных пластин методом приведения для статической задачи подробно рассматривалось в работе [1]. При этом постулируется утверждение, что прогибы сплошной и перфорированной пластин подобны, то есть справедливо (при прочих одинаковых условиях) выражение

$$w = \varphi w^*.$$

При ударной нагрузке на пластину будем считать, что ее прогиб обратно пропорционален ее жесткости, как и при статическом изгибе.

Пусть D – жесткость сплошной пластины толщиной s ;

D^* – жесткость перфорированной пластины толщиной s^* .

$$\text{Тогда } D = \frac{Es^3}{12(1-\mu^2)} \quad D^* = \frac{Es^{(*3)}}{12(1-\mu^2)},$$

здесь E – модуль упругости первого рода материала пластины; μ – коэффициент Пуассона.

Для данных зависимостей выполнен анализ при динамическом нагружении сплошной и перфорированной пластин. В качестве объекта исследования рассматривалась балка-полоска, шарнирно-опертая по концам и нагруженная равномерно распределенной симметричной нагрузкой интенсивностью p . Причем

$$p = p_0 \sin \frac{\pi t}{\tau},$$

t – время; τ – время действия нагрузки (время удара).

Используем выражения для максимального прогиба пластин, как функции времени, полученные в работе [2]. Рассматривалось действие ударной нагрузки, определялся прогиб пластин для случаев, когда 1) $t \leq \tau$; 2) $t \geq \tau$. Здесь для простоты анализа рассмотрим случай, когда $t = \tau$.

Выражение для максимального прогиба будет иметь следующий вид:

$$w_{\max} = \frac{4p_0 \cos \frac{\pi l}{L}}{\pi \rho s \left(\frac{\pi^4}{L^4} \cdot \frac{EI}{(1-\mu^2)\rho s} - \frac{\pi^2}{\tau^2} \right)} \cdot \frac{1}{\sqrt{\frac{\pi^4}{L^4} \cdot \frac{EI}{(1-\mu^2)\rho s} \cdot \tau}} \cdot \sin \left(\sqrt{\frac{\pi^4}{L^4} \cdot \frac{EI}{(1-\mu^2)\rho s} \cdot t} \right),$$

где ρ – плотность материала; L – длина пластины; $I = \frac{s^3}{12}$ – момент инерции поперечного сечения пластины.

Найдем отношения прогибов двух пластин разной толщины s и s^* , остальные параметры пластин будут одинаковыми:

$$\frac{w_{\max}}{w_{\max}^*} = \frac{(s^*)^2}{s^2} \cdot \frac{k(s^*)^2 - \pi^2}{s^2 - \pi^2} \cdot \frac{\sin(\sqrt{k} \cdot s)}{\sin(\sqrt{k} \cdot s^*)},$$

$$\text{где } k = \frac{\pi^4}{L^4} \cdot \frac{E}{12\rho(1-\mu^2)} \cdot \tau^2.$$

Исследуем отношение $\frac{w_{\max}}{w_{\max}^*}$ при $\tau \rightarrow 0$ (ударное воздействие);

$$\lim_{\tau \rightarrow 0} \frac{(s^*)^2}{s^2} \cdot \frac{k(s^*)^2 - \pi^2}{s^2 - \pi^2} \cdot \frac{\sin(\sqrt{k} \cdot s)}{\sin(\sqrt{k} \cdot s^*)} = \frac{s^*}{s}.$$

$$\text{Таким образом, } \frac{w_{\max}}{w_{\max}^*} = \frac{s^*}{s} = \sqrt[3]{\frac{D^*}{D}}.$$

Коэффициент жесткости пластины при динамическом нагружении φ_1 будет определяться выражением

$$\varphi_1 = \sqrt[3]{\frac{D^*}{D}} = \sqrt[3]{\varphi},$$

$\varphi = \frac{D^*}{D}$ – коэффициент жесткости, равен отношению жесткости пластины, ослабленной вырезами, к обычной цилиндрической жесткости сплошной пластины.

В работе [3] приведены графики зависимости коэффициента жесткости φ от степени перфорации пластины λ при статической нагрузке. Графики построены для пластин с квадратной и тре-

угольной решетками перфорации. То есть по величине λ определяется коэффициент φ , а затем рассчитывается коэффициент φ_1 .

Из имеющихся решений [2] можно аналитически определить динамический прогиб для целой пластины w , а затем и для перфорированной:

$$w^* = \frac{1}{\varphi_1} w.$$

Таким образом, мы видим, что перфорация при динамическом нагружении оказывает значительно меньшее влияние на прогиб по сравнению со статической задачей. Данные исследования относятся к жестким пластинам без распора. Если пластина гибкая с распором, то в результатах могут быть существенные коррективы.

Список литературы

- 1 **Вайнберг, Д. В.** Справочник по прочности, устойчивости и колебаниям пластин / Д. В. Вайнберг. – Киев : Будивельник, 1973. – 448 с.
- 2 **Ершов, Н. Ф.** Прочность судовых конструкций при локальных динамических нагружениях / Н. Ф. Ершов, А. Н. Попов. – Л. : Судостроение, 1989. – 195 с.
- 3 **Горохова, М. В.** Динамическая жесткость пластин с вырезами / М. В. Горохова // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. – 2004. – № 10. – С. 11–14.

УДК 369.2

СИМБИОТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА РЛС И ТЕХНОЛОГИИ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Е. А. ДЕХТЯРЕНКО, Я. А. ДЕМИДЕНКОВА

Белорусская государственная академия авиации, г. Минск

Современный мир переживает четвертую индустриальную революцию, флагманом которой являются искусственный интеллект (ИИ). Основным инструментом реализации ИИ, без сомнения, являясь нейронные сети, с помощью которых можно решать сложные технические задачи. Нейронные сети успешно применяются в различных промышленных областях, в сфере медицины и экономики, а также инженерии. Не стала исключением и радиолокация.

Радиолокация – это самостоятельная научная и инженерная дисциплина, где накоплен огромный опыт и решены фундаментальные задачи как в оборонно-промышленном комплексе, так и в сфере гражданского и медицинского применения. Однако современные вызовы и технологическое развитие ставят перед областью новые задачи, где нейронные сети и цифровые двойники могут выступить в качестве эффективного инструмента для их решения.

Одна из таких задач – это обнаружение и распознавание групповых целей на фоне активных и пассивных помех. Классические алгоритмы обработки превосходно работают, когда одиночная цель (или групповая при достаточном удалении друг от друга) движется прямолинейно, а помеховый фон описывается нормальным распределением.

Однако в реальных условиях это далеко не так, цели постоянно меняют расстояния между собой, а также совершают разнообразные маневры.

Это осложняется тем, что помеховая обстановка нестационарная со множеством противодействующих факторов. Другая проблема – нехватка данных, так как натурный эксперимент зачастую экономически дорог и трудозатратен.

Для решения вышеизложенной задачи необходимо совместное использование концепции цифрового двойника РЛС и технологии нейронных сетей.

В докладе приводятся результаты моделирования первого шага в реализации совместного использования цифрового двойника РЛС и нейронных сетей.

Излагаются принципы построения нейронных сетей, позволяющих распознавать групповые цели.

В качестве целей применяются геометрические объекты разнообразной формы (цилиндр, сфера и конус), имитирующие ЭПР цели и движущиеся по разнообразным траекториям. Уделяется вни-

мание модели РЛС, которая формирует базу данных для обучения нейронной сети. Дается заключение об эффективности применения нейронных сетей.

Для успешного применения нейросетевой технологии в процессах обработки радиолокационной информации должны быть тщательно проанализированы условия использования, этапы преобразования входных данных, обоснованы принципы оценки качества обработки, определены наиболее перспективные места применения.

Предварительный анализ показывает, что возможно создание унифицированных нейросетевых средств (или, по крайней мере, методов и способов) обработки информации, применение которых в перспективных средствах обработки информации позволит достичь высокой эффективности и гибкости, адаптивности к изменениям внешних условий и решаемых задач.

Для понимания того, насколько может быть полезна реализация рассмотренного подхода к обработке радиолокационной информации, проведем краткую характеристику основных этапов обработки РЛИ и укажем на некоторые серьезные недостатки классических подходов к обработке радиолокационной информации.

Анализ основных этапов обработки РЛИ.

Обработка радиолокационной информации предназначена для подготовки к выдаче в требуемом виде полной, достоверной и своевременной информации для потребителя о состоянии воздушной или ракетно-космической обстановки, появлении и местоположении воздушных или космических объектов, параметрах их движения, возможных вариантах развития динамики изменения помеховой обстановки в зоне обзора РЛС.

Обработка РЛИ может быть разделена на первичный, вторичный и третичный этапы. Выделяют задачи распознавания целей, анализа обстановки и адаптации и т. д. Рассмотрим некоторые из этих этапов и процедур.

Этап первичной обработки радиолокационной информации.

Обнаружение радиолокационных целей обычно включает в себя обнаружение импульсов, отраженных от целей и их последующее накопление. Наиболее широко применяющийся метод автоматического обнаружения радиолокационных целей – использование адаптивного порога обнаружения.

В реальных условиях с учетом возможности воздействия нестационарных помех, а также (хотя и стационарных, но негауссовых) помех уровень ложных тревог может возрасти на 2–3 порядка, что недопустимо. Кроме того, при обнаружении групповых целей энергетические потери могут составлять 10–15 дБ и более.

Однако они имеют антагонистический характер, и устранение одного из них катастрофически обостряет остальные. Обнаружителям, использующим фазовые соотношения в многобазовых сигналах (знаковые корреляторы), присущи те же недостатки, что и адаптивному порогу.

Ранговые же методы, хотя и обеспечивают практически полную стабилизацию уровня ложных тревог, но при малой пачке (обнаружитель «реагирует» на нестационарность, вносимую в шум сигналом) имеют очень высокие потери даже при обнаружении одиночных целей, а при обнаружении групп целей потери катастрофически возрастают.

Таким образом, в настоящее время неизвестны методы, способные обеспечивать эффективное автоматическое обнаружение целей в сложных нестационарных внешних условиях.

Этап вторичной обработки радиолокационной информации.

Это отнесение отметок разных обзоров (сканов) при просмотре зоны обзора РЛС к единой траектории (объединение отметок в траектории) и фильтрацию (сглаживание) отметок.

Распознавание целей выполняется для лучшего определения потребителем предпочтительных вариантов типовых воздействий и порядка их применения. С этой точки зрения потребитель предъявляет требования к системе распознавания РЛС. Помимо общих классов целей (самолет, вертолет, крылатая ракета, ДПЛА и др.) может быть поставлена задача распознать конкретный тип цели внутри каждого класса.

Анализ обстановки и адаптация.

Выбор конкретного режима для конкретных внешних условий обычно предоставляется человеку, командиру или оператору. Проведение анализа обстановки также обычно поручается человеку, так как формализованных правил такого анализа не существует, обычно они могут быть сформулированы только в вербальной форме, что существенно затрудняет их алгоритмизацию.

Информация, на основе которой проводится адаптация РЛС, должна включать в себя не только обнаруженные цели и их координаты, результаты распознавания классов целей, но и результаты более глубокой, интеллектуальной обработки получаемой информации. Эти результаты должны реализовываться в распознавании тактических ситуаций и различных вариантов внешних условий.

Список литературы

- 1 Татузов, А. Л. Нейронные сети в задачах радиолокации. Кн. 28 / А. Л. Татузов. – М. : Радиотехника, 2024. – 432 с.
- 2 Радиолокационные системы : учеб. для вузов. – М. : Радиотехника, 2023. – 440 с.
- 3 Радиоэлектронные системы: Основы построения и теория. Справочник. – М. : Радиотехника, 2007. – 512 с.

УДК 666.762+539.422.5

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ СТОЙКОСТИ УГЛЕРОД-КЕРАМИЧЕСКИХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ К ОКИСЛЕНИЮ И АБЛЯЦИИ

А. А. ДИДЕНКО, А. Н. АСТАПОВ, И. В. СУКМАНОВ
Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация

Поиск новых сверхвысокотемпературных конструкционных материалов обусловлен постоянной необходимостью улучшения тактико-технических характеристик скоростных изделий ракетной и аэрокосмической техники. Армированные углеродными волокнами композиты с керамической матрицей на основе SiC являются перспективными материалами для высокотемпературных применений, работающими в условиях аэрогазодинамического потока [1]. Их функционирование в кислородсодержащих средах обеспечивается защитой углеродных волокон от окисления вплоть до 1700 °С за счет формирования матрицей газонепроницаемого оксидного слоя, препятствующего диффузии кислорода вглубь материала. Повышение температуры приводит к выделению газообразной монооксида кремния и потере сплошности оксидного слоя. В результате защитная способность таких композитов по отношению к углеродным волокнам снижается из-за перехода пассивного окисления в активное, наблюдаемого для SiC при этих температурах [2]. Поэтому значительный интерес представляют исследования, которые направлены на создание жаропрочных углеродсодержащих композитов, способных обеспечить работоспособность изделий из них при температурах выше 1700 °С.

Эффективным методом модификации композитов, армированных углеродными волокнами, представляется введение в матрицу тугоплавких компонентов, в качестве которых применяют ультравысокотемпературную керамику (УВТК). Zr и Hf являются наиболее широко изученными добавками для углерод-керамических композиционных материалов благодаря высоким температурам плавления их карбидов, боридов и, что более важно, оксидов. К сожалению, процесс окисления приводит к образованию пористых структур ZrO₂ и HfO₂, которые могут служить диффузионными каналами для проникновения кислорода внутрь композитов [3]. Для повышения стойкости к абляции при сверхвысоких температурах возможным подходом может стать создание многофазных матриц из УВТК, о чем свидетельствует значительное количество исследований влияния состава матриц на свойства получаемых композитов [4, 5].

При разработке эффективной системы защиты необходимо учитывать не только температуру плавления формирующихся оксидов, но и особенности морфологии оксидной пленки, поэтому оптимизация состава и микроструктуры оксидного слоя имеет большое значение. Грамотно организованная защитная пленка должна одновременно препятствовать интенсивному массопереносу реагентов, ослаблять действие теплового потока, а также снижать механическую эрозию и денудацию. В то же время для формирования пленки, способной улучшить стойкость композита к окислению и абляции, необходимо достаточное количество керамической составляющей, которая обеспечивает образование большого количества продуктов окисления. Равномерно распределенные частицы керамики способны создать гетерогенный оксидный слой, который предотвращает диффузию окислителей (за счет высокой газоплотности, вызванной наличием фаз в вязко-текучем состоянии) и противостоит механическому оголению (за счет каркасности структуры, обеспеченной частичным спеканием зерен тугоплавких фаз). Кроме

того, пористость и размер керамических частиц также являются важными факторами, влияющими на стойкость к абляции. Во время огневого воздействия поры служат каналами для диффузии окислителей, что влияет на скорость образования оксидной пленки. Дисперсность керамических частиц влияет на скорость их окисления, размер формирующихся частиц оксидных фаз, способность к агломерации и спеканию, что обуславливает морфологию структуры оксидной пленки.

Другими способами повышения стойкости ультравысокотемпературных керамоматричных композитов к окислению и абляции являются использование различных типов волокон [6] или варьирование их доли [7], модификация структуры преформы или ее состава [3, 8], наличие интерфазы [9]. Методы получения и особенности синтеза [10, 11], как и модификация композитов различными добавками (наночастицами, нановолокнами, «Z-образными штифтами» и т. д.) или придание им особой структуры [12], также оказывают существенное влияние на структуру и фазовый состав конечного продукта и, как следствие, на его поведение при высоких температурах.

Хотя большое разнообразие методов, применяемых для улучшения высокотемпературных свойств углерод-керамических композитов, делает сравнение результатов весьма сложным, общие рекомендации по улучшению стойкости к окислению и абляции могут быть следующими. Ключом к улучшению антиабляционных характеристик является обеспечение защитной способности матрицы и теплопроводности композитов. Для повышения способности матрицы к самозащите необходимо обеспечить ее сплошность, низкую пористость и равномерное распределение УВТК, а также учесть состав формирующихся оксидных слоев, способных изолировать матрицу и волокна от пламени. Для обеспечения эффективной защиты необходима газоплотная оксидная пленка, ограничивающая массоперенос реагентов [13, 14]. Равномерное распределение продуктов окисления УВТК в стеклообразной фазе с невысокой вязкостью имеет решающее значение для предотвращения бурного испарения газов и повышения защитной способности пленки. Поэтому очень важно повысить термохимическую стабильность защитных слоев путем оптимизации их состава и микроструктуры, что обеспечивается тщательным контролем процесса производства. Высокая теплопроводность и высокая плотность композитов являются решающими факторами для организации теплопереноса в них.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-19-00352.

Список литературы

- 1 A comprehensive study of ceramic matrix composites for space applications / S. Dhanasekar [et al.] // Adv. Mater. Sci. Eng. – 2022. – Vol. 2022. – Article ID 6160591.
- 2 **Chen, S. Y.** Chemical equilibrium analysis of silicon carbide oxidation in oxygen and air / S.Y. Chen, I. D. Boyd // J. Am. Ceram. Soc. – 2019. – Vol. 102. – P. 4272–4284.
- 3 Microstructure and ablation behavior of C/C-SiC-(Zr_xHf_{1-x})C composites prepared by reactive melt infiltration method / Z. Liu [et al.] // Materials. – 2023. – Vol. 16. – P. 2120.
- 4 Effects of LaB₆ on composition, microstructure and ablation property of the HfC-TaC-SiC doped C/C composites prepared by precursor infiltration and pyrolysis / C. Fang [et al.] // Corros. Sci. 2021. – Vol. 184. – P. 109347.
- 5 Microstructure, thermophysical properties, and ablation resistance of C/HfC-ZrC-SiC composites / Y. Chen [et al.] // Ceram. Int. – 2019. – Vol. 45. – P. 4685–4691.
- 6 Effect of PAN-based and pitch-based carbon fibres on microstructure and properties of continuous C_f/ZrB₂-SiC UHTCMCs / D. Sciti [et al.] // J. Eur. Ceram. Soc. – 2021. – Vol. 41. – P. 3045–3050.
- 7 **Zoli, L.** Efficacy of a ZrB₂-SiC matrix in protecting C fibres from oxidation in novel UHTCMC materials / L. Zoli // Mater. Des. – 2017. – Vol. 113. – P. 207–213.
- 8 Effects of preform structures on the mechanical and ablation properties of C/ZrC-SiC composites / X. Yang [et al.] // Int. J. Appl. Ceram. Technol. – 2020. – Vol. 17. – P. 1582–1600.
- 9 Effect of PyC interface phase on the cyclic ablation resistance and flexural properties of two-dimensional C_f/HfC composites / T. Feng [et al.] // J. Eur. Ceram. Soc. – 2021. – Vol. 41. – P. 158–166.
- 10 Microstructure and ablation property of C/C-ZrC-SiC composites fabricated by chemical liquid-vapor deposition combined with precursor infiltration and pyrolysis / Q. He [et al.] // Ceram. Int. – 2019. – Vol. 45. – P. 3767–3781.
- 11 Microstructural regulation, oxidation resistance, and mechanical properties of C_f/SiC/SiHfBOC composites prepared by chemical vapor infiltration with precursor infiltration pyrolysis / Y. Lyu [et al.] // J. Adv. Ceram. – 2022. – Vol. 11. – P. 120–135.
- 12 Effect of surface structure unit of 3D needled carbon fiber preform on the ablation improvement of "Z-pins like" V_{0.9}-Si_{0.1} rod for C/C-ZrC-SiC / T. Tian [et al.] // Ceram. Int. – 2021. – Vol. 47. – P. 33463–33475.
- 13 **Astapov, A. N.** Review of domestic designs in the field of protecting carbonaceous materials against gas corrosion and erosion in high-speed plasma fluxes / A. N. Astapov, V. S. Terent'eva // Russ. J. Non-Ferrous Met. – 2016. – Vol. 57, no. 2. – P. 157–173.
- 14 **Терентьева, В. С.** Концептуальная модель защиты особожаропрочных материалов в гиперзвуковых потоках окислительного газа / В. С. Терентьева, А. Н. Астапов // Известия вузов. Порошковая металлургия и функциональные покрытия. – 2017. – № 3. – С. 51–64.

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

В. Е. ЕВДОКИМОВИЧ, А. И. ПРОКОПЕНКО

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

В последние годы в высших учебных заведениях Республики Беларусь, в том числе и в Белорусском государственном университете транспорта, наметилась тенденция сокращения аудиторных часов, отводимых на изучение математических дисциплин [1]. Эта проблема не раз поднималась и обсуждалась на различных методических конференциях, в том числе на международных научно-практических конференциях, проводимых в БелГУТе, где не раз доводилось слышать цитирование академика И. Г. Александрова: «Инженер в полном смысле этого слова немислим без знания математики. Ничего нельзя сделать без математики: мост построить нельзя, плотину – нельзя, гидростанцию – нельзя. Сокращать объем преподавания математики – преступление. Надо изучать ее как можно в большем объеме, а главное – как можно основательнее» [2].

Одной из таких математических дисциплин является «Теория вероятностей и математическая статистика». Она исключена из перечня изучаемых дисциплин практически на всех факультетах университета. В том числе и на факультетах, связанных с транспортными перевозками.

Однако роль транспортной статистики, в том числе статистического анализа на железнодорожном транспорте, огромна. Следует понимать, что железнодорожная статистика является отраслью транспортной статистики и входит в общую систему экономической статистики.

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 (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.

Предметом железнодорожной статистики является количественная сторона явлений и процессов, присущих железнодорожному транспорту как особой отрасли материального производства. Железнодорожная статистика имеет свою систему показателей, отображающих условия и результаты деятельности железных дорог. Эта система включает в себя показатели, характеризующие перевозки грузов и пассажиров, техническую оснащенность, наличие и использование подвижного состава, использование рабочей силы, результаты финансовой деятельности и другие стороны работы железных дорог.

Вместе с тем железнодорожная статистика разрабатывает методы обобщения и анализа работы как железнодорожного транспорта в целом, так и отдельных его подразделений.

К числу важнейших черт объекта железнодорожной статистики относятся следующие:

- продукция железнодорожного транспорта не имеет вещественного выражения; она потребляется в процессе производства, представляя собой перемещение грузов и пассажиров с помощью транспортных средств;
- железнодорожный транспорт представляет собой непрерывную территориальную, внутренне связанную и централизованно управляемую систему;
- значительная часть основных средств транспорта – подвижной состав – постоянно изменяет свое местоположение (это обстоятельство вызывает необходимость применения специфических методов учета наличия, определения работы и оценки использования подвижного состава);
- железнодорожный транспорт действует непрерывно во времени, что требует своеобразного подхода к установлению отчетного периода и моментов учета;
- продукция железнодорожного транспорта и работа подвижного состава – результат процесса перемещения, откуда вытекает необходимость разработки методологии перехода от характеристики явлений к характеристике процессов за период и в пространстве;

– работники ряда профессий, непосредственно связанных с движением поездов: машинисты локомотивов, электромонтеры, проводники и осмотрщики вагонов, составители поездов и др. – не имеют точно установленной продолжительности рабочей смены, поэтому изучение их численности, использования бюджета времени, продолжительности рабочего дня, уровня заработной платы и производительности труда требуют особых методов статистического наблюдения [3].

Эти особенности железнодорожного транспорта определяют специфику методов железнодорожной статистики, заключающихся в следующем:

– строжайшая учетная дисциплина – своевременное и четкое заполнение первоисточника, полнота и достоверность записей, так как возврат к объекту регистрации с целью проверки содержания первоисточника, как правило, невозможен;

– совпадение момента регистрации с фактическим изменением состояния, местонахождения или рода выполняемой работы, что объясняется, во-первых, невозможностью возврата к объекту регистрации и, во-вторых, разграничением ответственности за состояние и использования основных средств, сохранность и соблюдение сроков доставки грузов и условий перевозки пассажиров;

– введение особого, не совпадающего с календарным, отчетного момента для характеристики наиболее динамичных массовых явлений (погрузка, выгрузка, прием и сдача вагонов и др.);

– совокупность приемов, образующих методологию перехода от характеристики явлений на момент к характеристике явлений за период (т. е. характеристике процессов), а также переход от точечной характеристики положения единиц учета к пространственной их характеристике;

– своеобразные методы выявления степени участия отдельных подразделений железных дорог в освоении перевозок и влияния успешности работы этих подразделений на конечные результаты деятельности отдельных железных дорог и сети.

Железнодорожная статистика как отрасль статистической науки состоит из следующих основных разделов: перевозок; основных фондов, технической вооруженности, капитальных вложений и капитального строительства; эксплуатационной; труда и заработной платы; материально-технического снабжения; финансовой.

Каждая часть железнодорожной статистики функционирует в известной мере обособленно, располагая самостоятельным набором показателей. Но вместе с тем полная и объективная характеристика многогранных процессов и явлений, свойственных железнодорожному транспорту, может быть получена только на основе сводных данных, а оценка результатов деятельности может быть дана только на основе сводного анализа, опирающегося на систему показателей [4].

Железнодорожная статистика имеет важное значение не только ведомственное, но и народнохозяйственное, т. к. ее данные используются для изучения развития производительных сил страны, межрайонных связей, служат базой для развития железных дорог и орудием контроля за ходом выполнения заданий. Одна из важнейших задач железнодорожной статистики – выявление внутренних материальных и трудовых резервов повышения эффективности транспортного производства, повышения производительности труда и снижения затрат на перевозку грузов и пассажиров.

Таким образом, подводя итог сказанному выше, можно утверждать, что, являясь по сути отдельной дисциплиной, железнодорожная статистика опирается на фундамент теории вероятностей. Следовательно, возвращение теории вероятностей и математической статистики в перечень изучаемых дисциплин жизненно необходимо.

Список литературы

- 1 **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.) / под общ. ред. Ю. И. Кулаженко. – Гомель : БелГУТ, 2024. – С. 17–20.
- 2 **Александров, Л. Д.** Математика и диалектика / Л. Д. Александров // Математика в школе. – 1972. – № 1. – С. 5–12.
- 3 **Поликарпов, А. А.** Статистика железнодорожного транспорта : учеб. для вузов / А. А. Поликарпов, А. А. Вовк, Э. А. Свиридова ; под ред. А. А. Поликарпова и А. А. Вовка. – М. : Маршрут, 2004. – 512 с.
- 4 **Козлов, Т. И.** Статистика железнодорожного транспорта : учеб. для вузов / Т. И. Козлов, А. А. Поликарпов, Е. П. Леонова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Транспорт, 1990. – 327 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОРИСТОСТИ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

М. С. ЕГОРОВА, М. Ю. КАЛЯГИН, Л. Н. РАБИНСКИЙ
Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация

Создание современных композитных конструкций с заданным комплексом эксплуатационных характеристик невозможно осуществить без достаточно полного описания механических параметров композитного материала конструкции. Эти факторы вносят существенные изменения в методы расчета и проектирование композитных конструкций. Необходимо отметить, что при создании конструкций из композитов одновременно создается и материал этой конструкции. Так как материал представляет сложную многослойную структуру, где каждый слой имеет свое необходимое направление, появляется широкая возможность целенаправленно управлять свойствами создаваемой конструкции и долговечностью работы конструкции. В широком диапазоне можно регулировать жесткостные и прочностные характеристики, а также динамические свойства. С появлением современных высокопрочных и высококомодульных композитов возникли новые возможности в создании рациональных и оптимальных конструкций минимальной массы, тем более изготовление осуществляется чаще всего оптимальным технологическим процессом. Это позволяет уменьшить количество соединений в изделии, создавать интегральные конструкции и тем самым существенно снизить массу и повысить работоспособность и надежность конструкций. Композиционные материалы на основе современных высокопрочных и высококомодульных типов армирующих волокон являются важным, пока не использованным полностью резервом повышения прочности, эффективности, снижения массы и совершенства современных конструкций различного назначения, что подтверждается многочисленными публикациями по различным направлениям использования композиционных конструкций во многих отраслях машиностроения. Использование композиционного материала в изделиях позволяет даже при простой замене металла на композит снизить массу элемента на 15–20 % и его стоимость. Их рациональное использование всегда приводит к снижению массы и стоимости конструкции. Таким образом, имеющийся положительный опыт применения волокнистых материалов дает основание считать, что они и в дальнейшем найдут широкое использование в несущих конструкциях. Это требует проведения глубоких достоверных теоретических и экспериментальных исследований.

К настоящему времени основные результаты развития механики композиционных материалов изложены в монографиях, где подробно представлены различные по сложности расчетные модели материалов. Рассмотрены особенности поведения материалов при их нагружении, в том числе особенность поведения многослойных волокнистых композитов, которые составляют основу силовых конструкций. Проведен анализ работы многослойной структуры при растяжении и изгибе.

При растяжении на свободных поверхностях возникают кромочные эффекты в виде межслойных напряжений из-за разных жесткостных характеристик слоев. Эти напряжения обеспечивают поддержание в слоистом композите состояние кинематической совместности. В реальных конструктивных элементах эти эффекты самоуравновешены и имеют местное значение, но могут иметь важное значение в механике разрушения многослойных композитов.

В настоящее время композиционные материалы (КМ) успешно применяются в силовых конструкциях. Их свойства постоянно улучшаются и совершенствуются, что требует непрерывного совершенствования расчетных методов и изучения поведения материалов в разных условиях нагружения для повышения его трещиностойкости, долговечности и надежности в условиях эксплуатации.

Механизмы накопления повреждений в КМ значительно более разнообразны, чем в металлах. Так, можно считать установленным, что при четырехточечном изгибе однонаправленного композита в зависимости от марки материала и предыстории процесса механизм разрушения может заключаться в разрывах волокон, потере устойчивости сжатых волокон, трещин в матрице либо поперек волокна, либо вдоль плоскости слоя.

Рассматриваются механизмы разрушения однонаправленного КМ при сжатии. Обнаружено, что причиной разрушения является локальная потеря устойчивости. Установлены 5 стадий процесса разрушения термопластичного композита, армированного короткими стеклянными волокнами: об-

разование микротрещин и пустот, развитие микротрещин по границе раздела волокно-матрица, образование полос сдвига матрицы, раскрытие трещин, катастрофический рост трещин. Показано, что при растяжении модельного однонаправленного композита с полимерной матрицей обнаружены два вида микродефектов в матрице у концов оборванных волокон: дисковидные микротрещины, плоскость которых параллельна плоскости разрушения волокна и искривленные микротрещины, ориентированные под углом 45° к направлению армирования. Установлено, что в КМ «углерод – углерод» основной причиной возникновения микродефектов служит нарушение связи между волокном и матрицей.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (FSFF-2023-0007).

УДК 539.3

АНАЛИЗ ПРОЧНОСТИ СЛОИСТОЙ ПЛАСТИНЫ ИЗ ПОЛИМЕРНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА С КОНЦЕНТРАТОРОМ НАПРЯЖЕНИЙ В ВИДЕ СКВОЗНОГО ОТВЕРСТИЯ

А. Ю. ЕРШОВА, М. И. МАРТИРОСОВ

Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация

Отверстие под механический крепеж является концентратором напряжений для конструкции из любого материала, так как это источник трещин и дефектов, которые снижают несущую способность конструкции в целом.

Для конструкций из полимерных композиционных материалов (ПКМ) эта проблема стоит особенно остро, так как в этом случае основным несущим элементом является волокно. Как известно, армирующие волокна воспринимают основную долю внешних нагрузок и обеспечивают прочность и жесткость. При разрушении волокна при сверлении отверстия под механический крепеж несущая способность конструкции из ПКМ (стеклопластика и углепластика) значительно падает. Матрица же предназначена для обеспечения монолитности материала и передачи равномерного распределения усилий между армирующими волокнами.

Анализ существующих критериев расчета на прочность элементов конструкций (например, пластин) из ПКМ с концентраторами напряжений показывает, что наиболее достоверные результаты дает критерий Нуизмера [1]. Согласно этому критерию разрушение элемента конструкции из ПКМ при наличии концентратора напряжений в виде кругового отверстия наступает тогда, когда напряжение в некоторой точке, отстоящей от контура отверстия на расстояние d_0 , называемым характеристическим, достигает предела прочности σ_B материала. Характеристический размер d_0 зависит от величины диаметра отверстия d и учитывает разрыхление композита.

В отечественной и зарубежной литературе представлены данные, подтверждающие работоспособность этого критерия, но эти результаты получены для свободных (незаполненных) сквозных отверстий, а также вырезов.

Для отверстия диаметром $d = 6$ мм величина $d_0 = 1$ мм, для отверстий других диаметров

$$d_0 = \left(\frac{d}{6}\right)^{1/2}.$$

Критерий Нуизмера дает приемлемые результаты с точки зрения инженерной практики для случаев разрушения пластин из ПКМ, состоящих из различного числа монослоев, разрывом и может быть рекомендован к практическому использованию [2, 3]. В случае смятия, среза, скола этот критерий дает завышенную оценку прочности.

В данной работе рассматривается распределение напряжений вблизи сквозного отверстия в пластинах из углепластиков различных марок [4, 5] при растяжении, определяется коэффициент концентрации напряжений:

- 1) Cycom 970-38%-3KT650-P-193-1520 W-T6 (углеткань);
- 2) HexPly M21/34%/UD194/IMA-12K (углелента);
- 3) HexPly M21/40%/285T2/AS4C-6K (углеткань);
- 4) HexPly 8552/34%/UD134/ AS4-12K (углелента).

Изучаются следующие смешанные (0° , $\pm 45^\circ$, 90°) симметричные схемы с укладками монослоев в пластинах (16, 14 и 12 монослоев):

- 1) $90^\circ / 45^\circ / 90^\circ / -45^\circ / 0^\circ / 45^\circ / 0^\circ / 45^\circ / 45^\circ / 0^\circ / 45^\circ / 0^\circ / -45^\circ / 90^\circ / 45^\circ / 90^\circ$;
- 2) $45^\circ / -45^\circ / 0^\circ / 90^\circ / 0^\circ / 45^\circ / -45^\circ / -45^\circ / 45^\circ / 0^\circ / 90^\circ / 0^\circ / -45^\circ / 45^\circ$;
- 3) $45^\circ / -45^\circ / 90^\circ / 0^\circ / 45^\circ / -45^\circ / -45^\circ / 45^\circ / 0^\circ / 90^\circ / -45^\circ / 45^\circ$.

В работе также исследовано влияние диаметра отверстия (2, 4, 6, 8 мм) на прочность ламината. Дано сравнение полученных результатов с некоторыми имеющимися экспериментальными и теоретическими данными отечественных и зарубежных авторов.

Выработаны практические выводы и рекомендации.

Список литературы

- 1 Witney, J. M. Stress fracture criteria for laminated composites containing stress concentrations / J. M. Witney, R. J. Nuismer // Journal of Composite Materials. – 1974. – Vol. 8. – P. 253–265.
- 2 Оценка прочности металло-композитных соединений с применением критерия Нуизмера / Я. С. Боровская [и др.] // Ученые записки ЦАГИ. – 2018. – Т. XLIX, № 2. – С. 84–92.
- 3 Исследование критериев разрушения композиционных образцов с концентраторами напряжений при сжатии / В.И. Гришин [и др.] // Механика композиционных материалов и конструкций. – 2014. – Т. 20, № 1. – С. 58–86.
- 4 Ершова, А. Ю. Испытания образцов «полоса с отверстием» из углепластика с типовой укладкой монослоев на растяжение и сжатие / А. Ю. Ершова, М. И. Мартиросов // Динамические и технологические проблемы механики конструкций и сплошных сред : материалы XXII Междунар. симпозиума им. А. Г. Горшкова. – М. : МАИ, 2018. – Т. 1. – С. 102–104.
- 5 Ершова, А. Ю. Экспериментальное исследование влияния температурно-влажностных условий на механические свойства образцов «полоса с отверстием» из полимерного композиционного материала / А. Ю. Ершова, М. И. Мартиросов, Д. В. Дедова // Динамические и технологические проблемы механики конструкций и сплошных сред : материалы XXVII Междунар. симпозиума им. А. Г. Горшкова. – М. : МАИ, 2021. – Т. 1. – С. 91–97.

УДК 539.3

СВЯЗНАЯ КВАЗИТРЕХМЕРНАЯ МОДЕЛЬ ОБОБЩЕННО-ТЕРМОУПРУГОЙ НЕТОНКОЙ АНИЗОТРОПНОЙ НЕОДНОРОДНОЙ ОБОЛОЧКИ

С. И. ЖАВОРОНОК

Институт прикладной механики Российской академии наук, г. Москва

Ек. Л. КУЗНЕЦОВА

*Институт прикладной механики Российской академии наук, г. Москва
Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация*

Предложена новая вариационная формулировка расширенной теории N-го порядка обобщенно-термоупругих нетонких неоднородных анизотропных оболочек. В соответствии с концепцией описания оболочек как континуально-дискретных систем [1] в основу теории положен Лагранжев вариационный формализм аналитической механики континуальных систем [2] и аналитической термодинамики [3], а также метод редукции пространственной размерности модели [4–7]. Модель оболочки определена на расслоении гладкого многообразия, соответствующего некоторой реперной поверхности (в общем случае не совпадающей со срединной или лицевыми поверхностями) конфигурационным пространством со множеством переменных поля первого рода [8, 9], поверхностной и контурной плотностями функционалов Лагранжа и Рэлея и уравнениями связей [10, 11]. Переменные поля первого рода порождаются коэффициентами разложения полей векторов перемещения и энтропии М. Био [3] по системе функций безразмерной нормальной координаты, образующей биортогональный базис в гильбертовом пространстве над отрезком $[-1, 1]$. Плотности функционалов Лагранжа и Рэлея, зависящие от переменных поля первого рода, их производных по временной переменной и ковариантных производных по криволинейным координатам на многообразии вытекают из исходных формулировок пространственных и граничных плотностей соответствующих

функционалов трехмерной модели термоупругого тела [2, 3], обобщенных на случай анизотропной неоднородной среды с одним временем релаксации теплового потока [12], в результате интегрирования по безразмерной нормальной координате. Уравнения связей следуют из краевых условий (как механических [10, 11], так и термодинамических [13], перенесенных с лицевых поверхностей оболочки на ее реперную поверхность и выраженных через переменные поля и их ковариантные производные. Рассмотрены краевые задачи I, II и III рода; краевым условиям I рода соответствуют голономные связи, краевым условиям II и III рода – неголономные связи, обобщающие [10]. Уравнения движения и уравнения переноса тепла теории оболочек N-го порядка (при удержании N+1 члена частичной суммы ряда по биортогональной базисной системе как для вектора перемещения, так и для вектора энтропии Био) строятся методов множителей Лагранжа и являются обобщенными уравнениями Лагранжа второго рода несвободной континуальной двумерной термомеханической системы. Выполнена постановка начально-краевой задачи теории обобщенно-термоупругих неоднородных анизотропных оболочек; введение связей в вариационную формулировку модели оболочки обеспечивает точное удовлетворение краевых условий на лицевых поверхностях при любом порядке теории. В частности, расширенная теория оболочек первого порядка, удовлетворяющая краевым условиям в форме связей, соответствует канонической модели термоупругой оболочки Кирхгофа – Лява. Рассмотрены приложения предложенной расширенной теории N-го порядка к задачам о диссипации энергии при высокочастотных колебаниях термоупругой цилиндрической функционально-градиентной оболочки и о тепловом ударе по обобщенно-термоупругой по Лорду – Шульману композиционной анизотропной оболочке. Рассмотрена также возможность приложения расширенных теорий обобщенно-термоупругих оболочек различного порядка к описанию нестационарного деформирования тонкостенных конструкций в процессе аддитивного производственного процесса [14], в том числе потери устойчивости оболочки при динамическом нагреве локальным источником тепла [15], и к моделированию динамики тонкостенной композитной конструкции, оснащенной слоистой тепловой защитой при взаимодействии с высокотемпературной окружающей средой [16]. Показано, что теория оболочек переменной толщины может быть положена в основу итерационного процесса расчета напряженно-деформированного состояния тонкостенной конструкции при фазовом переходе, сопровождающемся уносом массы с одной из ее лицевых поверхностей.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 23-19-00680).

Список литературы

- 1 Кильчевский, Н. А. Основы аналитической механики оболочек / Н. А. Кильчевский. – Киев : Изд. АН УССР, 1963. – 354 с.
- 2 Кильчевский, Н. А. Аналитическая механика континуальных систем / Н. А. Кильчевский, Г. А. Кильчинская, Н. Е. Ткаченко. – Киев : Наукова думка, 1979. – 188 с.
- 3 Био, М. Вариационные принципы в теории теплообмена / М. Био. – М. : Энергия, 1975. – 209 с.
- 4 Векуа, И. Н. Некоторые общие методы построения различных вариантов теории оболочек / И. Н. Векуа. – М. : Наука, 1982. – 282 с.
- 5 Гуляев, В. И. Неклассическая теория оболочек и ее приложение к решению инженерных задач / В. И. Гуляев. – Львов : Вища шк., 1978. – 192 с.
- 6 Хома, И. Ю. Обобщенная теория анизотропных оболочек / И. Ю. Хома. – Киев : Наук. думка, 1986. – 172 с.
- 7 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.
- 8 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.
- 9 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.
- 10 Жаворонок, С. И. Обобщенные уравнения Лагранжа второго рода расширенной трехмерной теории N-го порядка анизотропных оболочек / С. И. Жаворонок // Механика композиционных материалов и конструкций. – 2015. – Т. 21, № 3. – С. 370–381.
- 11 Егорова, О. В. О вариационных уравнениях расширенной теории N-го порядка упругих оболочек и их приложении к некоторым задачам динамики / О. В. Егорова, С. И. Жаворонок, А. С. Курбатов // Вестник ПНИПУ. Механика. – 2015. – № 2. – С. 36–59.
- 12 Lord, H. W. A generalized dynamical theory of elasticity / H. W. Lord, Y. Shulman // J. Mechanics and Physics of Solids. – 1967. – Vol. 15. – P. 299–309.
- 13 Григорьянц, Н. М. Вариационные принципы обобщенной теплопроводности / Н. М. Григорьянц, С. К. Киклевич // Прикладная механика. – 1977. – Т. XIV, № 1. – С. 34–38.

14 Современные проблемы моделирования теплопереноса в технологических процессах селективного лазерного спекания и сплавления / С. И. Жаворонок [и др.] // Теплофизика высоких температур. – 2019. – Т. 57, № 6. – С. 919–952.

15 Research of the Problem of Loss of Stability of Cylindrical Thinwalled Structures under Intense Local Temperature Exposure / A. S. Kurbatov [et al.] // Periodico Tche Quimica. – 2020. – Vol. 17. – P. 884–891.

16 Основные проблемы при создании систем тепловой защиты на базе структурно-неоднородных материалов и методы их решения / А. Н. Астапов [и др.] // Теплофизика высоких температур. – 2021. – Т. 59, № 2. – С. 248–279.

17 Кузнецова, Е. Л. Задача типа Стефана в композиционных материалах с произвольным числом подвижных границ фазовых превращений / Е. Л. Кузнецова, С. И. Жаворонок // Ученые записки Казанского университета. Сер. Физико-математические науки. – 2023. – Т. 165, № 4. – С. 236–245.

УДК 539.3

ОБ ОБОБЩЕННЫХ УРАВНЕНИЯХ РАУСА АНАЛИТИЧЕСКОЙ ДИНАМИКИ НЕТОНЫХ ОБОЛОЧЕК В ЗАДАЧАХ О ДИСПЕРСИИ НОРМАЛЬНЫХ ВОЛН В НЕОДНОРОДНЫХ АНИЗОТРОПНЫХ ВОЛНОВОДАХ

С. И. ЖАВОРОНОК, А. С. КУРБАТОВ

Институт прикладной механики Российской академии наук, г. Москва

Рассмотрено развитие иерархической теории нетонких неоднородных анизотропных оболочек как континуально-дискретных систем [1] на базе вариационного формализма аналитической динамики континуума и метода редукции пространственной размерности трехмерной модели деформируемого твердого тела [2–7]. В основу «квазитрехмерной» теории оболочек, способной аппроксимировать напряженно-деформированное состояние в окрестностях боковых поверхностей, областей наложения кинематических связей, линий разрыва компонентов поля главного вектора внешних сил, окрестностях волновых фронтов и т. п. областях неприводимости [1] к двумерной модели тонкого тела положена вариационная формулировка модели линейно-упругой неоднородной анизотропной среды, заданная в рамках формализма Лагранжа аналитической механики континуальных систем [8] одной переменной поля первого рода – вектором перемещения, пространственной и граничной плотностями функционала Лагранжа. Модель оболочки формулируется в терминах двумерного многообразия, соответствующего реперной поверхности, с заданной на нем системой криволинейных координат; оболочка как трехмерное тело отнесена к системе координат, нормально связанной с реперной поверхностью [2]. С целью построения системы уравнений, разрешенных относительно ковариантных производных первого порядка по одной из координат на многообразии, осуществляется преобразование Лежандра функционала Лагранжа трехмерной модели упругой среды по данным ковариантным производным, и вводятся новые переменные, определенные на касательном расслоении многообразия и имеющие смысл обобщенных напряжений [9] (аналогично обобщенным импульсам, порождаемым преобразованием Лежандра функции Лагранжа дискретной системы по обобщенным скоростям). Полученная в результате преобразования Лежандра по части пространственных производных функция интерпретируется как плотность обобщенного функционала Рауса упругой среды [9, 10]. Краевые условия, поставленные на лицевых поверхностях оболочки в трехмерной постановке задачи, записываются относительно новых переменных. Пространственная редукция трехмерной модели упругой среды, которая задана вектором перемещения и вектором обобщенного напряжения, осуществляется путем разложения данных величин по некоторой системе функций безразмерной нормальной к реперной поверхности координаты, образующей биортогональный базис в функциональном пространстве $H[-1,1]$ [9–11], и интегрирования плотности функционала Лагранжа по нормальной координате, а также переноса краевых условий с лицевых поверхностей на реперную поверхность оболочки [12, 13] и их записи относительно коэффициентов разложений и их ковариантных производных. Модель оболочки, таким образом, определена фазовым пространством со множеством обобщенных перемещений и обобщенных сил, заданных коэффициентами разложения векторов перемещения и обобщенного напряжения [9, 10] по биортогональной системе функций, поверхностной и контурной плотностями функционала Рауса и ограничениями в форме равенств, которые вытекают из краевых условий, перенесенных с лицевых поверхностей на реперную поверхность оболочки. Уравнения движения и определяющие уравнения строятся методом множителей Лагранжа [12, 13] и интерпретируются как обобщенные уравнения Рауса двумерной континуальной системы с ограничениями. Теория оболочек N -го порядка формулируется

при удержании $N + 1$ членов частичных сумм рядов для перемещения и обобщенного напряжения. В отличие от уравнений [9–11], новая формулировка расширенной теории оболочек обеспечивает точное удовлетворение краевых условий на лицевых поверхностях оболочки при любом порядке теории N за счет введения ограничений в вариационную формулировку теории. В частном случае зависимости решения только от одной из криволинейных координат в классе статических задач полученные обобщенные уравнения Рауса сводятся к уравнениям Гамильтона с множителями связей, либо к эквивалентной им системе уравнений Намбу, являющихся обобщением уравнений [4–6]. Рассмотрено приложение обобщенных уравнений Рауса расширенной теории оболочек к описанию дисперсии волн в неоднородных анизотропных волноводах. Формулировка системы уравнений, разрешенной относительно пространственной производной первого порядка по одной из координат, в данном классе задач обеспечивает переход к проблеме собственных значений для волнового числа при рассмотрении фазовой частоты как параметра и построение вследствие этого дисперсионных кривых как распространяющихся, так и затухающих мод нормальных волн [15, 16]. Рассмотрено решение задач о нестационарном взаимодействии оболочек с акустической средой, где системы первого порядка обладают преимуществами перед уравнениями второго порядка [16–19].

Работа выполнена в рамках Государственного задания ИПРИМ РАН (№1023032300192-8-2.3.2).

Список литературы

- 1 Кильчевский, Н. А. Основы аналитической механики оболочек / Н. А. Кильчевский. – Киев : АН УССР, 1963. – 354 с.
- 2 Векуа, И. Н. Некоторые общие методы построения различных вариантов теории оболочек / И. Н. Векуа. – М. : Наука, 1982. – 282 с.
- 3 Хома, И. Ю. Обобщенная теория анизотропных оболочек / И. Ю. Хома. – Киев : Наук. думка, 1986. – 172 с.
- 4 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.
- 5 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.
- 6 Amosov, A. A. An Approximate High-order Theory of thick anisotropic shells / A. A. Amosov, S. I. Zhavoronok // International J. for Computational Civil and Structural Engineering. – 2003. – Vol. 1, no. 5. – P. 28–38.
- 7 Аннин, Б. Д. Неклассические модели теории пластин и оболочек / Б. Д. Аннин, Ю. М. Волчков // ПМТФ. – 2016. – Т. 57, № 5. – С. 5–14.
- 8 Кильчевский, Н. А. Аналитическая механика континуальных систем / Н. А. Кильчевский, Г. А. Кильчинская, Н. Е. Ткаченко. – Киев : Наук. думка, 1979. – 188 с.
- 9 Жаворонок, С. И. Обобщенные уравнения Рауса в теории оболочек 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.
- 10 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, no. 6. – P. 2501–2517.
- 11 Zhavoronok, S. I. The generalized Routh equations in the plate theory of N th order and their use in problems of normal wave dispersion in heterogeneous waveguides / S. I. Zhavoronok, A. S. Kurbatov, L. N. Rabinskiy // Lobachevskii Journal of Mathematics. – 2022. – Vol. 43, no. 7. – P. 2010–2018.
- 12 Жаворонок, С. И. Обобщенные уравнения Лагранжа второго рода расширенной трехмерной теории N -го порядка анизотропных оболочек / С. И. Жаворонок // Механика композиционных материалов и конструкций. – 2015. – Т. 21, № 3. – С. 370–381.
- 13 Егорова, О. В. О вариационных уравнениях расширенной теории N -го порядка упругих оболочек и их приложения к некоторым задачам динамики / О. В. Егорова // Вестник ПНИПУ. Механика. – 2015. – № 2. – С. 36–59.
- 14 Жаворонок, С. И. Задачи о дисперсии волн в неоднородных волноводах: методы решения (обзор). Часть I / С. И. Жаворонок // Механика композиционных материалов и конструкций. – 2021. – Т. 27, № 4. – С. 227–260.
- 15 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.
- 16 Плоская задача дифракции акустической волны давления на тонкой ортотропной панели, помещенной в жесткий экран / А. Г. Горшков [и др.] // Известия Академии наук. Механика твердого тела. – 2004. – № 1. – С. 209–220.
- 17 Жаворонок, С. И. Осесимметричная задача нестационарного взаимодействия акустической волны давления с упругой оболочкой вращения / С. И. Жаворонок, Л. Н. Рабинский // Механика композиционных материалов и конструкций. – 2006. – Т. 12, № 4. – С. 541–554.
- 18 Егорова, О. В. Взаимодействие оболочки средней толщины с акустической волной / О. В. Егорова, С. И. Жаворонок, Л. Н. Рабинский // Вестник МАИ. – 2010. – Т. 17, № 2. – С. 127–135.
- 19 Численно-аналитические методы решения задач дифракции акустических волн на абсолютно твердых телах и оболочках / С. И. Жаворонок [и др.]. – М. : Физматлит, 2010. – 192 с.

**О МЕТОДЕ РЕШЕНИЯ ОДНОМЕРНОЙ НЕСТАЦИОНАРНОЙ ЗАДАЧИ
ТЕРМОМЕХАНОДИФФУЗИИ ДЛЯ ПОЛЫХ ОРТОТРОПНЫХ
ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ТЕЛ С УЧЕТОМ КОНЕЧНОЙ СКОРОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ
ТЕПЛОВЫХ И ДИФФУЗИОННЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ**

Н. А. ЗВЕРЕВ

Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация

А. В. ЗЕМСКОВ

Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация

НИИ механики МГУ им. М. В. Ломоносова, г. Москва, Российская Федерация

В данной работе приводится математическая постановка и предлагается алгоритм решения одномерной полярно-симметричной задачи термоупругой диффузии для однородного ортотропного многокомпонентного полого цилиндра, находящегося под действием нестационарных поверхностных возмущений. В работе учтена конечная скорость распространения температурных и диффузионных возмущений.

Система дифференциальных уравнений, описывающая физико-механические процессы в цилиндре, получена из общей модели термомехано-диффузии, приведенной в работе [1], и имеет вид

$$\begin{aligned} \rho \frac{\partial^2 u_r}{\partial t^2} &= c_{11} \left(\frac{\partial^2 u_r}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial u_r}{\partial r} \right) - \frac{c_{22}}{r^2} u_r - b_1 \frac{\vartheta}{r} - \sum_{i=1}^N \alpha_i^{(i)} \frac{\partial \eta^{(i)}}{\partial r}, \\ \rho c_0 \left(\frac{\partial \vartheta}{\partial t} + \tau_\vartheta \frac{\partial^2 \vartheta}{\partial t^2} \right) &= \kappa_1 \left(\frac{\partial^2 \vartheta}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \vartheta}{\partial r} \right) - T_0 b_1 \left(\frac{\partial^2 u_r}{\partial r \partial t} + \tau_\vartheta \frac{\partial^3 u_r}{\partial r \partial t^2} \right) - \\ &- \rho R T_0 \sum_{i=1}^N \frac{\ln(n_0^{(i)} \gamma^{(i)})}{m^{(q)}} \left(\frac{\partial \eta^{(i)}}{\partial t} + \tau_\vartheta \frac{\partial^2 \eta^{(i)}}{\partial t^2} \right), \\ \frac{\partial \eta^{(q)}}{\partial t} + \tau_\eta^{(q)} \frac{\partial^2 \eta^{(q)}}{\partial t^2} &= -\Lambda_{11}^{(q)} \left(\frac{\partial^3 u_r}{\partial r^3} + \frac{2}{r} \frac{\partial^2 u_r}{\partial r^2} - \frac{1}{r^2} \frac{\partial u_r}{\partial r} + \frac{u_r}{r^3} \right) + \\ &+ \sum_{r=1}^N D_1^{(qr)} \left(\frac{\partial^2 \eta^{(r)}}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \eta^{(r)}}{\partial r} \right) - M_1^{(q)} \left(\frac{\partial^2 \vartheta}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \vartheta}{\partial r} \right), \end{aligned} \quad (1)$$

где t – время; r – координата; u_r – радиальная компонента вектора механических перемещений; ϑ – изменение (приращение) температуры; ρ – плотность тела (сплошной среды); $\eta^{(q)} = n^{(q)} - n_0^{(q)}$ – приращение концентрации многокомпонентного вещества; $n_0^{(q)}$ и $n^{(q)}$ – начальная и текущая концентрации q -го вещества в составе $(N + 1)$ -компонентной сплошной среды; $m^{(q)}$ – молярная масса q -го вещества в составе $(N + 1)$ -компонентной сплошной среды; T_0, T – начальная и актуальная температуры сплошной среды; R – универсальная газовая постоянная; $\tau_\eta^{(q)}$ – время релаксации диффузионных потоков; τ_ϑ – время релаксации тепловых потоков; $\gamma^{(q)}$ – коэффициент активации; c_0 – удельная теплоемкость; c_{ij} – упругие постоянные; b_i – компонента тензора температурных постоянных; κ_i – коэффициенты теплопроводности; $D_i^{(q)}$ – коэффициенты диффузии и $\alpha_i^{(q)}$ – упругодиффузионные коэффициенты, характеризующие деформации, возникающие вследствие диффузии. Остальные коэффициенты определяются так:

$$\Lambda_{11}^{(q)} = \frac{m^{(q)} n_0^{(q)} D_1^{(q)} \alpha_1^{(q)}}{\rho R T_0}, \quad M_1^{(q)} = \frac{n_0^{(q)}}{T_0} \ln(n_0^{(q)} \gamma^{(q)}) D_1^{(q)}.$$

Система (1) включает в себя уравнение движения цилиндрического тела, одно уравнение теплопереноса, а также N дифференциальных уравнений массопереноса.

Цилиндр (внутренний радиус R_1 , внешний – R_2) находится под действием равномерно распределённого по поверхностям нестационарного давления, что описывается следующими краевыми условиями:

$$\begin{aligned} \left(c_{11}u' + c_{12}\frac{u}{r} - b_1\vartheta - \sum_{j=1}^N \alpha_1^{(j)}\eta^{(j)} \right) \Big|_{r=R_1} &= f_{11}(\tau), \quad \vartheta|_{r=R_1} = 0, \quad \eta^{(q)}|_{r=R_1} = 0, \\ \left(c_{11}u' + c_{12}\frac{u}{r} - b_1\vartheta - \sum_{j=1}^N \alpha_1^{(j)}\eta^{(j)} \right) \Big|_{r=R_2} &= f_{12}(\tau), \quad \vartheta|_{r=R_2} = 0, \quad \eta^{(q)}|_{r=R_2} = 0. \end{aligned} \quad (2)$$

Начальные условия принимаются нулевыми, что соответствует невозмущенному начальному состоянию.

При заданных граничных условиях аналитическое решение задачи (1), (2) получить крайне затруднительно. Поэтому в работе используется метод эквивалентных граничных условий [2, 3], согласно которому задача решается в два этапа.

Вначале рассматривается вспомогательная задача, для которой граничные условия подбираются таким образом, чтобы ее решение можно было получить аналитически. В качестве таковых выступают следующие граничные условия:

$$\begin{aligned} \left(c_{11}u' + c_{11}\frac{u}{r} - b_1\vartheta - \sum_{j=1}^N \alpha_1^{(j)}\eta^{(j)} \right) \Big|_{r=R_1} &= f_1^*(\tau), \quad \vartheta|_{r=R_1} = 0, \quad \eta^{(q)}|_{r=R_1} = 0, \\ \left(c_{11}u' + c_{11}\frac{u}{r} - b_1\vartheta - \sum_{j=1}^N \alpha_1^{(j)}\eta^{(j)} \right) \Big|_{r=R_2} &= f_2^*(\tau), \quad \vartheta|_{r=R_2} = 0, \quad \eta^{(q)}|_{r=R_2} = 0, \end{aligned} \quad (3)$$

где функции $f_k^*(\tau)$ подлежат определению.

Решение задачи (1), (3) ищется в виде

$$\begin{Bmatrix} u(r, \tau) \\ \vartheta(r, \tau) \\ \eta^{(q)}(r, \tau) \end{Bmatrix} = \sum_{k=1}^2 \int_0^{\tau} \begin{Bmatrix} G_{1k}(r, \tau-t) \\ G_{2k}(r, \tau-t) \\ G_{q+2,k}(r, \tau-t) \end{Bmatrix} f_k^*(t) dt.$$

Здесь G_{mk} – поверхностные функции задачи (1), (3), которые находятся с помощью интегрального преобразования Лапласа по времени и разложения в ряды по собственным функциям термоупругодиффузионного оператора. Оригиналы по Лапласу находятся с помощью таблиц операционного исчисления и вычетов.

Вторым этапом строятся интегральные соотношения, связывающие между собой правые части краевых условий исходной и вспомогательной задач, а полученная система интегральных уравнений решается численно с помощью квадратурной формулы средних прямоугольников. Далее вычисляются свертки найденных таким образом функций с функциями Грина вспомогательной задачи (1), (3), что в результате дает решение исходной задачи (1), (2).

На примере полого цилиндра, выполненного из трехкомпонентного материала (сплав алюминия, цинка и меди), промоделировано взаимодействие механического, температурного и диффузионного полей в равномерно нагруженном по обеим поверхностям цилиндре.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (№ 23-21-00189).

Список литературы

- 1 Земсков, А. В. Моделирование механо-диффузионных процессов в многокомпонентных телах с плоскими границами / А. В. Земсков, Д. В. Тарлаковский. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2021. – 288 с.
- 2 Математические основы термоупругости : учеб. пособие / В. А. Вестяк [и др.]. – М. : Изд-во МАИ, 2021. – 92 с.
- 3 Зверев, Н. А. Моделирование нестационарных механо-диффузионных процессов в полом цилиндре с учетом релаксации диффузионных потоков / Н. А. Зверев, А. В. Земсков // Математическое моделирование. – 2023. – Т. 35, № 1. – С. 95–112.

**НЕСТАЦИОНАРНАЯ МЕХАНОДИФфуЗИЯ
КОНСОЛЬНО ЗАКРЕПЛЁННОЙ ПЛАСТИНЫ ТИМОШЕНКО
ПОД ДЕЙСТВИЕМ РАСПРЕДЕЛЁННОЙ ПОВЕРХНОСТНОЙ НАГРУЗКИ**

А. В. ЗЕМСКОВ

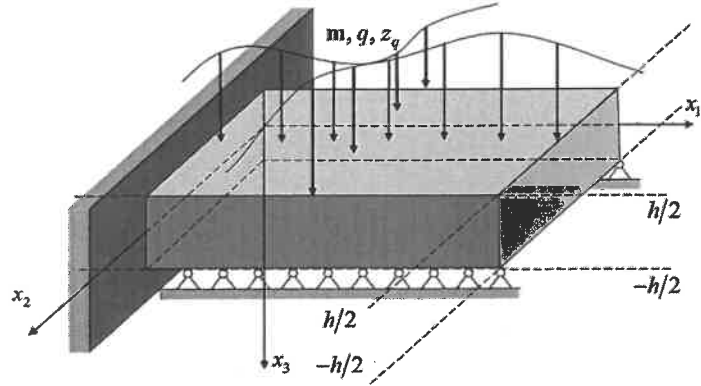
*Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация
НИИ механики МГУ им. М. В. Ломоносова, г. Москва, Российская Федерация*

Д. В. ТАРЛАКОВСКИЙ

*НИИ механики МГУ им. М. В. Ломоносова, г. Москва, Российская Федерация
Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация*

Рассматривается задача о нестационарных колебаниях консольно закрепленной с одной стороны прямоугольной ортотропной пластины Тимошенко, выполненной из многокомпонентного материала. Примыкающие к консоли стороны являются шарнирно опёртыми. Схема приложенных сил и изгибающих моментов, а также ориентация осей прямоугольной декартовой системы координат представлена на рисунке 1.

Рисунок 1 – Иллюстрация к постановке задачи



Для математической постановки задачи используется система уравнений поперечных колебаний ортотропной прямоугольной пластины, полученная в работе [1]:

$$\begin{aligned} \ddot{\chi}_1 &= \frac{\partial^2 \chi_1}{\partial x_1^2} + C_{66} \frac{\partial^2 \chi_1}{\partial x_2^2} + C_{55} k_T^2 \left(\frac{\partial w}{\partial x_1} - \chi_1 \right) + (C_{12} + C_{66}) \frac{\partial^2 \chi_2}{\partial x_1 \partial x_2} + \sum_{q=1}^N \alpha_1^{(q)} \frac{\partial H_q}{\partial x_1} - \frac{12}{h^3} m_1, \\ \ddot{\chi}_2 &= C_{66} \frac{\partial^2 \chi_2}{\partial x_1^2} + C_{22} \frac{\partial^2 \chi_2}{\partial x_2^2} + C_{44} k_T^2 \left(\frac{\partial w}{\partial x_2} - \chi_2 \right) + (C_{12} + C_{66}) \frac{\partial^2 \chi_1}{\partial x_1 \partial x_2} + \sum_{q=1}^N \alpha_2^{(q)} \frac{\partial H_q}{\partial x_2} - \frac{12}{h^3} m_2, \\ \ddot{w} &= C_{55} k_T^2 \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x_1^2} - \frac{\partial \chi_1}{\partial x_1} \right) + C_{44} k_T^2 \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x_2^2} - \frac{\partial \chi_2}{\partial x_2} \right) + \frac{q}{h}, \quad H_{N+1} = - \sum_{q=1}^N H_q, \\ \dot{H}_q + \tau_q \ddot{H}_q &= \left(D_1^{(q)} \frac{\partial^2 H_q}{\partial x_1^2} + D_2^{(q)} \frac{\partial^2 H_q}{\partial x_2^2} \right) + \Lambda_{11}^{(q)} \frac{\partial^3 \chi_1}{\partial x_1^3} + \Lambda_{12}^{(q)} \frac{\partial^3 \chi_2}{\partial x_1^2 \partial x_2} + \Lambda_{21}^{(q)} \frac{\partial^3 \chi_1}{\partial x_1 \partial x_2^2} + \Lambda_{22}^{(q)} \frac{\partial^3 \chi_2}{\partial x_2^3} + \frac{12}{h^3} z_q. \end{aligned} \quad (1)$$

Здесь точки обозначают производную по времени. Все величины в (1) являются безразмерными. Для них приняты следующие обозначения:

$$\begin{aligned} x_i &= \frac{x_i^*}{l}, \quad w = \frac{w^*}{l}, \quad \tau = \frac{Ct}{l}, \quad C_{ij} = \frac{C_{ij}^*}{C_{11}^*}, \quad C^2 = \frac{C_{11}^*}{\rho}, \quad l_m = \frac{l_m^*}{l}, \quad \tau_q = \frac{C\tau^{(q)}}{l}, \quad m_i = \frac{m_i^*}{C_{11}^*}, \\ \alpha_i^{(q)} &= \frac{\alpha_i^{*(q)}}{C_{11}^*}, \quad D_i^{(q)} = \frac{D_i^{*(q)}}{Cl}, \quad \Lambda_{ij}^{(q)} = \frac{m^{(q)} D_i^{*(q)} \alpha_j^{*(q)} n_0^{(q)}}{\rho R T_0 C l}, \quad q = \frac{q^*}{C_{11}^*}, \quad z_q = \frac{l z_q^{(q)}}{C}, \quad h = \frac{h^*}{l}, \end{aligned}$$

где x_i^* – прямоугольные декартовы координаты; w^* – прогибы пластины; χ_i – углы поворота нормальных к срединной поверхности волокон; l – характерный линейный размер; l_1^* и l_2^* – длина и

ширина пластины; h^* – толщина пластины; $\eta^{(q)} = x_3 H_q$ – приращение концентрации q -й компоненты вещества в составе $N+1$ – компонентной среды; $n_0^{(q)}$ – начальная концентрация q -го вещества; C_{ij}^* – упругие постоянные; ρ – плотность; $\alpha_i^{*(q)}$ – коэффициенты, характеризующие объёмное изменение среды за счёт диффузии; $D_i^{*(q)}$ – коэффициенты диффузии; R – универсальная газовая постоянная; T_0 – температура среды; $m^{(q)}$ – молярная масса q -го вещества; $\tau^{(q)}$ – время релаксации диффузионных потоков; m_i^* – распределённые по поверхности моменты; q^* – распределённая по поверхности поперечная нагрузка; $z^{(q)}$ – распределённая по поверхности плотность объёмных источников массопереноса; k_T – коэффициент, учитывающий неравномерность распределения касательных напряжений по сечению пластины.

Замыкают постановку однородные начально-краевые условия, которые в случае консольного закрепления, изображённого на рисунке 1, имеют вид

$$\begin{aligned} w|_{x_1=0} = 0, \chi_1|_{x_1=0} = 0, H_q|_{x_1=0} = 0, \chi_2|_{x_1=0} = 0, \chi_2|_{x_1=h_1} = 0, \chi_1|_{x_2=0} = 0, w|_{x_2=0} = 0, w|_{x_2=l_2} = 0, \\ \left(C_{12} \frac{\partial \chi_1}{\partial x_1} + C_{22} \frac{\partial \chi_2}{\partial x_2} + \sum_{j=1}^N \alpha_2^{(j)} H_j \right) \Big|_{x_2=0} = 0, \left(\frac{\partial \chi_2}{\partial x_1} + \frac{\partial \chi_1}{\partial x_2} \right) \Big|_{x_1=l_1} = 0, H_q|_{x_2=0} = 0, \chi_1|_{x_2=l_2} = 0, \\ \left(D_1^{(q)} \frac{\partial H_q}{\partial x_1} + \Lambda_{11}^{(q)} \frac{\partial^2 \chi_1}{\partial x_1^2} + \Lambda_{12}^{(q)} \frac{\partial^2 \chi_2}{\partial x_1 \partial x_2} \right) \Big|_{x_1=h_1} = 0, \left(\frac{\partial w}{\partial x_1} - \chi_1 \right) \Big|_{x_1=h_1} = \frac{Q}{hC_{55}}, H_q|_{x_2=l_2} = 0, \\ \left(C_{12} \frac{\partial \chi_1}{\partial x_1} + C_{22} \frac{\partial \chi_2}{\partial x_2} + \sum_{j=1}^N \alpha_2^{(j)} H_j \right) \Big|_{x_2=l_2} = 0, \left(\frac{\partial \chi_1}{\partial x_1} + C_{12} \frac{\partial \chi_2}{\partial x_2} + \sum_{j=1}^N \alpha_1^{(j)} H_j \right) \Big|_{x_1=h_1} = 0. \end{aligned} \quad (2)$$

Начальные условия полагаем нулевыми.

Для решения задачи используется метод эквивалентных граничных условий [2], в соответствии с которым вначале вместо исходной задачи (1), (2) рассматривается вспомогательная задача, описываемая уравнениями (1) со следующими граничными условиями:

$$\begin{aligned} w|_{x_1=0} = 0, \chi_1|_{x_2=0} = 0, w|_{x_2=0} = 0, H_q|_{x_2=0} = 0, H_q|_{x_1=0} = 0, \chi_2|_{x_1=0} = 0, \chi_1|_{x_1=h_1} = f_1, \chi_1|_{x_2=l_2} = 0, \\ \left(C_{12} \frac{\partial \chi_1}{\partial x_1} + C_{22} \frac{\partial \chi_2}{\partial x_2} + \sum_{j=1}^N \alpha_2^{(j)} H_j \right) \Big|_{x_2=0} = 0, \left(\frac{\partial \chi_1}{\partial x_1} + C_{12} \frac{\partial \chi_2}{\partial x_2} + \sum_{j=1}^N \alpha_1^{(j)} H_j \right) \Big|_{x_1=0} = f_2, \\ \left(D_1^{(q)} \frac{\partial H_q}{\partial x_1} + \Lambda_{11}^{(q)} \frac{\partial^2 \chi_1}{\partial x_1^2} + \Lambda_{12}^{(q)} \frac{\partial^2 \chi_2}{\partial x_1 \partial x_2} \right) \Big|_{x_1=h_1} = 0, \left(\frac{\partial w}{\partial x_1} - \chi_1 \right) \Big|_{x_1=h_1} = f_3 = \frac{Q}{hC_{55}}, \\ \left(\frac{\partial \chi_2}{\partial x_1} + \frac{\partial \chi_1}{\partial x_2} \right) \Big|_{x_1=l_1} = 0, \left(C_{12} \frac{\partial \chi_1}{\partial x_1} + C_{22} \frac{\partial \chi_2}{\partial x_2} + \sum_{j=1}^N \alpha_2^{(j)} H_j \right) \Big|_{x_2=l_2} = 0, w|_{x_2=l_2} = 0, H_q|_{x_2=l_2} = 0. \end{aligned} \quad (3)$$

Решение задачи (1), (3) ищется с помощью преобразования Лапласа и разложения в ряды Фурье. Далее строятся соотношения, связывающие правые части граничных условий обеих задач, представляющие собой систему интегральных уравнений Вольтерры 1-го рода. Эта система решается численно с помощью квадратурных формул. Вычисляя затем свёртку полученных отсюда функций с функциями Грина задачи (1), (3), находим решение исходной задачи (1), (2).

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 20-19-00217).

Список литературы

1 Zemskov, A. Modeling an unsteady elastic diffusion processes in a Timoshenko plate / A. Zemskov, D. Tarlakovskii, N. Grigorevskiy // 9th edition of the International Conference on Computational Methods for Coupled Problems in Science and Engineering (COUPLED PROBLEMS 2021) [Electronic resource]. – Mode of access : https://www.scipedia.com/public/Zemskov_et_al_2021a. – Data of access : 03.09.2024.

2 Вестяк, А. В. Нестационарные упругодиффузионные колебания консольно-закрепленной пластины Тимошенко с шарнирным опиранием по боковым краям под действием нагрузки, приложенной к свободному краю / А. В. Вестяк, А. В. Земсков, Д. В. Тарлаковский // Динамические и технологические проблемы механики конструкций и сплошных сред : материалы XXX Международного симпозиума им. А. Г. Горшкова. Т. 2. – М. : ООО «ТРИ», 2024. – С. 95–99.

О РЕШЕНИИ НЕКОТОРЫХ ЗАДАЧ БЕЗМОМЕНТНОЙ ТЕОРИИ ТОНКИХ ОБОЛОЧЕК С ЭФФЕКТОМ ПАМЯТИ ФОРМЫ

И. А. ИСАЧЕНКО, А. С. КУРБАТОВ, С. И. ЖАВОРОНОК

Институт прикладной механики Российской академии наук, г. Москва

Одним из возможных эффективных вариантов практического применения сплавов с эффектом памяти формы (СПФ) являются демпферы и виброгасители различной конфигурации, в том числе тонкостенные оболочки-сильфоны [1], позволяющие использовать способность СПФ к диссипации механической энергии при фазово-структурных переходах [2]; другим ключевым направлением является создание на базе СПФ сосудистых стентов в форме цилиндрических сетчатых оболочек [3]. В то же время известно [4, 5], что не только тонкостенные, но и нетонкие конструктивные элементы, выполненные из СПФ, склонны к потере устойчивости тривиальной формы равновесного состояния в процессе фазового превращения между объемно-центрированной аустенитной фазой и гранецентрированной мартенситной фазой [4, 5] под действием механических нагрузок и изменяющихся во времени полей температуры либо структурного перехода между сдвойникованным или раздвойникованным мартенситом при нагружении [6]. Данный эффект исследован недостаточно; большинство работ посвящены прямолинейным стержням, для которых получены решения как в линейаризованной одномерной, так и в нелинейной трехмерной постановках [7] на базе метода конечных элементов и феноменологической модели термоупругих фазово-структурных превращений [5]. Количество работ, посвященных устойчивости оболочек из СПФ, крайне незначительно [4, 8], более того, отсутствует и в должной мере разработанная теория оболочек с памятью (исключение составляют работы [4, 8] и исследования [9, 10], посвященные толстостенным оболочкам с памятью). Одной из трудностей при формулировке теории оболочек является необходимость обращения инкрементальных определяющих соотношений, которые связывают приращение девиатора деформации, порождаемой фазовым или структурным переходом, с приращениями напряжений и температуры [6]. С другой стороны, постановка задачи канонической теории тонких оболочек в усилиях и моментах, сводящаяся к уравнениям статики и совместности, позволяет избежать данного затруднения [11–13]. В частном случае безмоментного напряженного состояния уравнения статики интегрируются, и решение задачи о деформировании оболочки при фазовых и структурных переходах сводится к решению инкрементальных определяющих уравнений на шаге нагружения относительно приращений компонента тензора деформации [14, 15], при этом представляется возможным учесть некоторые ключевые особенности поведения сплавов с памятью, в частности, зависимость точной верхней грани деформаций фазового и структурного перехода и некоторых других материальных констант от параметра вида напряженного состояния [16–18]. Данный эффект в тонких оболочках, особенно в процессе структурного перехода, является ярко выраженным, и в большинстве случаев пренебречь разнотензионностью материала тонкой оболочки с памятью без недопустимой погрешности не представляется возможным. Ниже на базе модели [11–13] рассмотрены решения ряда задач о деформировании тонкостенных оболочек вращения с памятью, находящихся в безмоментном напряженном состоянии и претерпевающих фазовые либо структурные превращения, при различном сочетании нагрузок и форме образующей. Построены зависимости параметра фазового состава и деформаций, порожденных фазовыми переходами, от действующей нагрузки (внутреннего или внешнего давления, осевой силы) и температуры, а также деформаций структурного превращения от амплитуды давления. Приведен пример деформирования оболочки при неоднородном поле внутренних сил и неоднородном, достаточно гладком для существования безмоментного частного решения, поле температуры.

Работа выполнена в рамках Государственного задания ИПРИМ РАН (№ 1023032300192-8-2.3.2).

Список литературы

1 Dynamic behavior of single-stage bellows of Titanium-Nickel shape memory alloy under cyclic loading / H. Semba [et al.] // *International Journal of Modern Physics*. – 2006. – Vol. 20, no. 25–27. – P. 3944–3949.

2 Calim, F. Numerical investigation on the effect of different shape memory alloys' material characteristics on energy dissipative cushions / F. Calim, A. Gullu, F. Yuksel // *3rd European Conference on Earthquake Engineering & Seismology*. – 2022. – Bucharest, Romania. – P. 1598–1605.

- 3 Численно-экспериментальное исследование деформирования и устойчивости цилиндрической оболочки ячеистой структуры при осевом сжатии / Д. В. Нуштаев [и др.] // Труды МАИ. – 2015. – № 82. – С. 9.
- 4 Сильченко, Л. Г. Устойчивость цилиндрической оболочки из сплава с памятью формы при сжатии и кручении / Л. Г. Сильченко // Механика композиционных материалов и конструкций. – 2009. – Т. 15, № 4. – С. 489–496.
- 5 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.
- 6 Устойчивость стержней из никелида титана, нагружаемых в режиме мартенситной неупругости / А. А. Мовчан [и др.] // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2012. – № 3. – С. 72–80.
- 7 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.
- 8 Хусайнов, М. А. Анализ выпучивания сферических сегментов с памятью формы / М. А. Хусайнов, О. А. Малухина // Современные проблемы прочности : материалы 3-го Междунар. симпозиума им. В. А. Лихачева. – 1999. – Новгород, 1999. – С. 185–189.
- 9 Машихин, А. Е. Краевые задачи термомеханики для цилиндра и сферы из сплава с памятью формы / А. Е. Машихин, А. А. Мовчан // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. – 2017. – № 3. – С. 113–128.
- 10 Мовчан, А. А. Деформации кругового цилиндра из сплава с памятью формы при структурном переходе или прямым фазовым превращении / А. А. Мовчан, А. Е. Машихин // Механика композиционных материалов и конструкций. – 2012. – Т. 18, № 2. – С. 235–247.
- 11 Zhavoronok, S. I. Constitutive relations and compatibility equations for thin shape memory alloy shells / S. I. Zhavoronok // AIP Conference Proceedings. – 2022. – Vol. 2611. – P. 100004.
- 12 Zhavoronok, S. I. On the incremental constitutive relations and compatibility equations for thin shape memory alloy shells undergoing non-isothermal phase transitions / S. I. Zhavoronok // Composites: Mechanics, Computations, Applications. An International Journal. – 2023. – Vol. 14, is. 1. – P. 1–27.
- 13 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, no.6. – P. 2326–2335.
- 14 Курбатов, А. С. О метода программной реализации решения некоторых задач безмоментной теории оболочек с памятью / А. С. Курбатов, И. А. Исаченко, С. И. Жаворонок // Механика композиционных материалов и конструкций, сложных и гетерогенных сред : сб. тр. 12-й Всерос. науч. конф. с междунар. участием им. И. Ф. Образцова и Ю. Г. Яновского, 15–17 ноября 2022 г. – М. : Сам Полиграфист, 2022. – С. 177–186.
- 15 Курбатов, А. С. Некоторые задачи безмоментной теории оболочек с эффектом памяти формы / А. С. Курбатов, С. И. Жаворонок, И. А. Исаченко // Механика композиционных материалов и конструкций, сложных и гетерогенных сред : сб. тр. 13-й Всерос. науч. конф. с междунар. участием им. И. Ф. Образцова и Ю. Г. Яновского. – М. : Сам Полиграфист, 2023. – С. 68–76.
- 16 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.
- 17 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.
- 18 Kurbatov, A. S. On the incremental intrinsic equations for thin shape memory alloy shells undergoing austenite-to-martensite and martensite-to-austenite thermoelastic phase transitions / A. S. Kurbatov, S. I. Zhavoronok // AIP Conference Proceedings. – 2024. – Vol. 3030. – P. 080003.

УДК 539.375

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАВНОПРОЧНОЙ ФОРМЫ ОТВЕРСТИЯ ДЛЯ ТОРМОЖЕНИЯ ТРЕЩИНЫ ПРОДОЛЬНОГО СДВИГА

Н. М. КАЛАНТАРЛЫ

Азербайджанская государственная академия физической культуры и спорта, г. Баку

Как известно, медленно растущую трещину можно затормозить засверловкой отверстия в ее вершине [1]. Задачи о влиянии кругового и эллиптического отверстия в кончике трещины на ее развитие рассматривались в работах [2, 3]. Целесообразно проводить засверловку отверстия оптимальной формы. Решение задачи оптимального проектирования по определению формы отверстия позволит на стадии проектирования выбрать оптимальные геометрические параметры тела, обеспечивающие эффективное торможение трещины. В [4] рассматривалась задача о влиянии отверстия с минимальной концентрацией напряжений на остановку трещины продольного сдвига. Представляет интерес определение равнопрочной формы отверстия для торможения медленно растущей трещины. В некоторых случаях для определения формы отверстий, на которых технологически неизбежная концентрация напряжений была бы сведена к минимуму, необходимо решать задачу теории упругости с неизвестной границей.

Рассмотрим сплошное упругое деформированное тело, ослабленное прямолинейной трещиной продольного сдвига. Считается, что упругое тело находится в условиях антиплоской деформации, а деформации тела являются малыми величинами. В кончике трещины высверлено отверстие. Рассмотрим окрестность конца трещины, малую сравнительно с характерным линейным размером тела L , но большую по сравнению с размером отверстия R в вершине трещины. Параметры, характеризующие напряженно-деформированное состояние тела в этой малой окрестности, не зависят от координаты z . Будем решать следующую задачу теории упругости с неизвестной границей:

$$\begin{aligned} &\text{при } y = 0, \quad -\infty < x < -a \quad \tau_{yz} = 0, \\ &\text{на неизвестном контуре отверстия} \quad r = \rho(\theta) \quad \tau_{zn} = 0, \\ &\text{при } y = 0, \quad x \rightarrow \infty \quad \lim(\tau_{yz} \sqrt{z}) = K_{III}. \end{aligned}$$

Здесь ρ – радиус кривизны конца трещины; θ – полярный угол; K_{III} – коэффициент интенсивности напряжений (параметр нагружения) считается известным.

В условиях антиплоской деформации напряжения и перемещения можно представить [5] через одну аналитическую функцию $f(z)$:

$$w = \operatorname{Re} f(z), \quad \tau_{xz} + i\tau_{yz} = \mu \overline{f'(z)}, \quad z = x + iy. \quad (1)$$

Требуется определить форму отверстия, т. е. найти функцию $\rho(\theta)$. Для определения функции $\rho(\theta)$ постановку задачи дополняем критерием выбора формы отверстия. Используя принцип равнопрочности, для отыскания формы отверстия в упругом теле в кончике трещины, обладающей минимальной концентрацией напряжения, приходим к обратной задаче теории упругости с условием

$$\tau_{z\theta} = \tau_* = \text{const} \quad \text{на } r = \rho(\theta), \quad (2)$$

где $\tau_{z\theta}$ – окружное тангенциальное напряжение. Для упругого материала τ_* подлежит определению в процессе решения. Такой контур называется равнопрочным.

Ищем неизвестный контур отверстия в кончике трещины в классе контуров, близких к круговым: $\rho(\theta) = R + \varepsilon h(\theta)$. Здесь функция $h(\theta)$ подлежит определению, ε – малый параметр.

Без уменьшения общности рассматриваемой задачи принимаем, что искомая функция $h(\theta)$ может быть представлена в виде отрезка тригонометрического ряда Фурье. Искомые функции (напряжения и перемещения) ищем в виде разложений по малому параметру ε , в которых пренебрегаем членами, содержащими ε в степени, выше первой. Каждое из приближений удовлетворяет дифференциальным уравнениям плоской задачи теории упругости в условиях антиплоской деформации.

Значения компонент тензора напряжений при $r = \rho(\theta)$ получим, разлагая в ряд выражения для напряжений в окрестности $r = R$. При использовании известных формул для компонент напряжений граничные условия задачи на контуре $r = R$ примут следующий вид:

$$\text{– для нулевого приближения: } \tau_{zn}^{(0)} = 0. \quad (3)$$

$$\text{– для первого приближения: } \tau_{zn}^{(1)} = T(\theta). \quad (4)$$

Здесь функция $T(\theta)$ зависит от напряженного состояния в нулевом приближении и функции $h(\theta)$.

На берегах трещины имеем граничные условия

$$\text{– для нулевого приближения: при } y = 0 \quad -\infty < x < -R \quad \tau_{yz}^{(0)} = 0; \quad (5)$$

$$\text{– для первого приближения: при } y = 0 \quad -\infty < x < -R \quad \tau_{yz}^{(1)} = 0.$$

С помощью представлений (1) и вспомогательной аналитической функции $\varphi(z) = zf'(z)$ искомая задача (3)–(5) в нулевом приближении сводится к граничной задаче для аналитической функции $\varphi(z)$. Переходя на параметрическую плоскость комплексного переменного ζ при помощи преобразования $z = \omega(\zeta)$, с помощью полученных соотношений и представления (1), находим напряжения в нулевом приближении. Зная напряженное состояние в нулевом приближении, находим формально функцию $T(\theta)$. После нахождения решения задачи в нулевом приближении переходим к решению

задачи в первом приближении. Снова перейдем на параметрическую плоскость комплексного переменного ζ с помощью преобразования $z = \omega(\zeta)$. С помощью полученных соотношений и представления (1), как и в нулевом приближении, находим напряжения в первом приближении. Условие разрешимости краевой задачи служит для определения размера a .

В случае заданной функции $h(\theta)$ формы отверстия полученные соотношения являются замкнутыми и позволяют исследовать напряженно-деформированное состояние тела в условиях антиплоской деформации.

Для построения недостающих уравнений, позволяющих определить искомые коэффициенты ряда Фурье, надо найти окружное тангенциальное напряжение $\tau_{z\theta}$ на контуре отверстия. С помощью полученного решения находим $\tau_{z\theta}$ в поверхностном контуре L с точностью до величин первого порядка относительно малого параметра ε .

Напряжение $\tau_{z\theta}$ зависит от коэффициентов ряда Фурье искомой функции $h(\theta)$. Для построения недостающих уравнений, позволяющих найти эти коэффициенты, требуем, чтобы обеспечивалось распределение напряжений на контуре отверстия согласно условию (2) равнопрочности. Снижение концентрации напряжений на контуре отверстия осуществляем путем минимизации критерия

$$U = \sum_{i=1}^M [\tau_z \theta(\theta_i) - \tau_*]^2 \rightarrow \min.$$

Здесь τ_* – оптимальное значение окружного тангенциального напряжения в поверхностном слое отверстия; для упругого материала подлежит определению в процессе решения задачи оптимизации. В случае упругопластического материала тела τ_* – заданная величина.

Используя необходимое условие экстремума нескольких переменных, получаем бесконечную линейную систему уравнений для определения искомых величин. Эта система совместно с полученными соотношениями задачи теории упругости в нулевом и первом приближениях позволяет определить форму равнопрочного контура, напряженно-деформированное состояние тела, а также оптимальное значение окружного тангенциального напряжения τ_* для случая упругого материала.

Условие хрупкого разрушения (условие роста трещины) запишем в виде

$$\tau_* (K_{III}) = \tau_c. \quad (6)$$

Здесь τ_c зависит от характерного размера отверстия в кончике трещины и характеристик материала.

Список литературы

- 1 Финкель, В. М. Физические основы торможения разрушения / В. М. Финкель. – М. : Metallurgia, 1977. – 360 с.
- 2 Мирсалимов, В. М. Влияние разгружающих отверстий на развитие трещины / В. М. Мирсалимов // Проблемы прочности. – 1971. – Т. 3, № 4. – С. 18–19.
- 3 Мирсалимов, В. М. Об одном способе торможения растущих трещин / В. М. Мирсалимов // Изв. АН Азерб. ССР. Сер. физ.-техн. и мат. наук. – 1972. – № 1. – С. 34–38.
- 4 Мустафаев, А. Б. Оптимизация формы отверстия для остановки трещины продольного сдвига / А. Б. Мустафаев // Проблемы безопасности на транспорте : материалы XI Междунар. науч.-практ. конф. – Гомель : БелГУТ, 2021. – Ч. 2. – С. 169–171.
- 5 Мирсалимов, В. М. Разрушение упругих и упругопластических тел с трещинами / В. М. Мирсалимов. – Баку : Элм, 1984. – 124 с.

УДК 620.174

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОРИСТОСТИ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛИИМИДНОГО ПЕНОПЛАСТА

М. Ю. КАЛЯГИН, Л. Н. РАБИНСКИЙ, С. А. ШУМСКАЯ
Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация

Работа посвящена исследованию полиимидного пенопласта с разной пористостью. Подобные материалы широко применяются в различных сферах авиастроения, судостроения, приборостроения и транспортного машиностроения [1–9]. В особенности они хорошо зарекомендовали себя в качестве вспененного заполнителя при изготовлении многослойных деталей и элементов техники, в

которой используются композиционные материалы. В работе рассматривался акриמיד полученный по технологии вспенивания на основе поли(мет)акриламида с разной плотностью. Были получены образцы с различной пористостью. Проведено исследование микроструктуры акримида. Определен размер пор и их распределение по объему. Проведены испытания на 3-точечный изгиб, по результатам которых были получены значения модуля упругости и предела прочности.

В ходе исследования были проведены исследования структуры акримида и механические испытания образцов на изгиб. По результатам исследования микроскопии определены характерный размер пор и их распределение. Размер пор отличается на 9 % между образцами с плотностями 80 кг/м³ и 100 кг/м³. Образцы испытывались на трехточечный изгиб, где результат показал значительное влияние пористости на модуль упругости материалов. Для материалов с плотностью 80 кг/м³ модуль упругости составляет порядка 136 МПа, с плотностью 100 кг/м³ – 159 МПа. При этом предел прочности для материалов с плотностью 80 кг/м³ составляет 2,5 МПа, с 100 кг/м³ – 3 МПа. Проведено численное моделирование в квазистатической постановке. Результат, полученный при численном моделировании, хорошо согласуется с результатом, полученным входе экспериментального исследования.

Работа выполнена за счет гранта Российского научного фонда (проект № 23-49-00133 со стороны РФ, проект № 12261131505 со стороны Китая).

Список литературы

- 1 Построение системы теплозащиты из углеродных композиционных материалов с покрытиями для теплонапряженных конструкций двигателей летательных аппаратов / В. А. Сорокин [и др.] // Труды МАИ. – 2015. – № 84. – С. 11.
- 2 **Калягин, М. Ю.** Моделирование приборных отсеков летательных аппаратов пористо-смесевыми ударниками / М. Ю. Калягин // Труды МАИ. – 2018. – № 98. – С. 8.
- 3 **Бабайцев, А. В.** Методика приближенной оценки напряжений в толстостенной осесимметричной композитной конструкции / А. В. Бабайцев // Труды МАИ. – 2019. – № 107. – С. 4.
- 4 **Русланцев, А. Н.** Модель напряженно-деформированного состояния криволинейной слоистой композитной балки / А. Н. Русланцев, А. М. Думанский, М. А. Алимов // Труды МАИ. – 2017. – № 96. – С. 1.
- 5 **Берлин, А. А.** Современные полимерные композиционные материалы / А. А. Берлин // Соросовский образовательный журнал. – 1995. – № 1. – С. 2.
- 6 **Матренин, С. В.** Композиционные материалы и покрытия на полимерной основе : учеб. пособие / С. В. Матренин, Б. Б. Овечкин. – Томск : ТПУ, 2008. – 198 с.
- 7 **Ташкинов, М. А.** Моделирование влияния микромасштабных морфологических параметров на деформационное поведение пористых материалов с металлической матрицей / М. А. Ташкинов, А. С. Шалимов. // Физ. мезомех. – 2021. – № 5.
- 8 Динамические характеристики трехслойных балок с несущими слоями из аломостеклопластика / О. А. Прокудин [и др.] // Вестник ПНИПУ. Механика. – 2020. – № 4. – DOI : 10.15593/perm.mech/2020.4.22.
- 9 **Vasiliev, V. V.** Advanced mechanics of composite materials and structures / V.V. Vasiliev, E.V. Morozov // Elsevier. – 2018.

УДК 539.3

К ПОСТРОЕНИЮ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ВЯЗКОУПРУГОГО КОМПОЗИЦИОННОГО СЛОИСТОГО СТЕРЖНЯ

А. М. КАРИМОВ, А. АБДУСАТТАРОВ

Ташкентский государственный транспортный университет, Республика Узбекистан

В данной статье решается динамическая задача линейной теории вязкоупругости для слоистого стержня периодической структуры методом осреднения [1–3], который учитывает микроперемещения, обусловленные структурой композита. Рассматривается колебательный процесс в слоистом композиционном стержне, состоящем из двух чередующихся однородных изотропных вязкоупругих материалов с различными функциями релаксации, плотностью и толщинами

$$\{R(x,t), \rho(x)\} = \begin{cases} R_1(x), \rho_1, & \text{если } nl < x < nl + l_1, \\ R_2(x), \rho_2 & \text{если } nl + l_1 < x < (n+1)l, \end{cases} \quad (1)$$

$n = \dots - 1, 0, 1, \dots$, $l = l_1 + l_2$, l_1 и l_2 – толщина слоев, соответственно.

Связь между напряжениями и деформациями запишем в виде

$$\sigma(x, t) = \int_0^t R(x, t - \tau) d\varepsilon(x, \tau) = \hat{R}(x) \varepsilon(x). \quad (2)$$

Вводим быструю координату $\xi = \frac{x}{\alpha}$, где α – малый параметр, равный отношению характерного размера ячейки периодичности к характерному размеру рассматриваемого стержня. Обозначим точкой производную по этой координате, штрихом – производную по медленной координате. Тогда уравнение движения рассматриваемого вязкоупругого стержня при отсутствии объемных сил имеет вид [4]

$$\frac{1}{\alpha} \hat{R} \cdot (\xi) \frac{\partial u}{\partial x} + \hat{R}(\xi) \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = \rho(\xi) \frac{\partial^2 u}{\partial t^2}, \quad (3)$$

где $u(x, t)$ – перемещения частиц рассматриваемого стержня.

Решение уравнения движения (3) ищем в виде асимптотического разложения по малому параметру α

$$\begin{aligned} u(x, t) &= v(x, t) + \alpha \hat{N}_1^0(\xi) v'(x, t) + \alpha^2 \left(\hat{N}_2^0(\xi) v''(x, t) + \hat{N}_2^1(\xi) \frac{\partial^2 v(x, t)}{\partial t^2} \right) + \dots = \\ &= \sum_{q=0}^{\infty} \alpha^q \sum_{\beta} \hat{N}_q^{\beta}(\xi) \frac{\partial^{2\beta}}{\partial t^{2\beta}} v^{(q-2\beta)}(x, t). \end{aligned} \quad (4)$$

где локальные функции релаксации таковы, что $\hat{N}_0^0 = 1$, $\hat{N}_q^{\beta}(\xi) = 0$ при $q < 2\beta$, $q < 0$, $\beta < 0$. А также эти функции являются периодическими по быстрым переменным и их осредненные значения по ячейке периодичности равны нулю. Штрихом обозначена производная по медленной координате.

Продифференцируем выражения (4) по координате x и по времени t . Подставляем производные в уравнения движения (3), находим

$$\begin{aligned} \sum_{q=0}^{\infty} \alpha^q \sum_{\beta} \left(\hat{R} \cdot \left(\hat{N}_{q+1}^{\beta}(\xi) \right) \cdot \frac{\partial^{2\beta}}{\partial t^{2\beta}} v^{(q-2\beta)}(x, t) + \hat{N}_q^{\beta}(\xi) \frac{\partial^{2\beta}}{\partial t^{2\beta}} v^{(q+1-2\beta)}(x, t) \right) + \\ + \hat{R} \cdot \left(\hat{N}_{q+2}^{\beta}(\xi) \right) \cdot \frac{\partial^{2\beta}}{\partial t^{2\beta}} v^{(q-2\beta)}(x, t) + 2 \left(\hat{N}_{q+1}^{\beta}(\xi) \right) \cdot \frac{\partial^{2\beta}}{\partial t^{2\beta}} v^{(q+1-2\beta)}(x, t) + \\ + \hat{N}_q^{\beta}(\xi) \frac{\partial^{2\beta}}{\partial t^{2\beta}} v^{(q+2-2\beta)}(x, t) - \rho(\xi) \hat{N}_q^{\beta}(\xi) \frac{\partial^{2(\beta+1)}}{\partial t^{2(\beta+1)}} v^{(q-2\beta)}(x, t) = 0. \end{aligned} \quad (5)$$

Приравнивая в (5) коэффициенты при каждой степени α и при $\frac{\partial^{2\beta}}{\partial t^{2\beta}} v^{(q-2\beta)}(x, t)$ некоторым величинам \hat{H}_q^{β} , которые называются эффективными ядрами релаксации, получим рекуррентную последовательность дифференциальных уравнений для определения локальных функций релаксации [2]:

$$\left(\hat{R} \left(\hat{N}_{q+2}^{\beta} \right) \right) \cdot + \left(\hat{R} \hat{N}_{q+1}^{\beta} \right) \cdot + \hat{R} \left(\hat{N}_{q+1}^{\beta} \right) \cdot + \hat{R} \hat{N}_q^{\beta} - \rho \hat{N}_q^{\beta-1} = \hat{H}_q^{\beta}. \quad (6)$$

Тогда, осредняя уравнение (6) по ячейке периодичности и используя свойства функции релаксации, находим выражения для определения эффективных ядер релаксации

$$\hat{H}_q^{\beta} = \langle \hat{R} \left(\hat{N}_{q+1}^{\beta} \right) \cdot + \hat{R} \hat{N}_q^{\beta} - \rho \hat{N}_q^{\beta-1} \rangle.$$

При этом уравнения движения (3) приобретает вид

$$\hat{H}_0^0 v'' + \hat{H}_0^{-1} \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} + \alpha \left(\hat{H}_1^0 v''' + \hat{H}_1^1 \frac{\partial^2 v'}{\partial t^2} \right) + \alpha^2 \left(\hat{H}_2^0 v^{IV} + \hat{H}_2^1 \frac{\partial^2 v''}{\partial t^2} + \hat{H}_2^2 \frac{\partial^4 v}{\partial t^4} \right) + \dots = 0. \quad (7)$$

Теперь, подставляя в (7) решение в виде

$$v(x, t) = \sum_{m=0}^{\infty} \alpha^m w_m(x, t) \quad (8)$$

и приравнявая величины при одинаковых степенях α , получим рекуррентную последовательность динамических задач теории вязкоупругости для однородного стержня с эффективными ядрами релаксации.

Теперь уточняем решение рассматриваемой задачи в длинноволновом приближении, в рамках которой можно получить микроперемещения, обусловленные композиционной структурой стержня. Тогда из (4) получим локальное перемещение, вычисляемое по формуле

$$u(x, t) = v(x, t) + \alpha \hat{N}_1^0(\xi) v'(x, t).$$

Для определения функции релаксации из (6) находим обыкновенное дифференциальное уравнение

$$\frac{d}{d\xi} \left(\hat{R}(\xi) \frac{d}{d\xi} \hat{N}_1^0(\xi) \right) + \frac{d}{d\xi} \left(\hat{R}(\xi) \right) = 0, \quad (9)$$

решение которого должно удовлетворить условию непрерывности локальной функции $\hat{N}_1^0(\xi)$ при ее периодическом продолжении по длине всего стержня. Решая (9) при выполнении изложенного условия, находим

$$\hat{N}_1^0(\xi) = \langle \hat{R}^{-1}(\xi) \rangle \int_0^{\xi} \hat{R}^{-1}(\eta) d\eta - \xi + \frac{1}{2} - \langle \hat{R}^{-1}(\xi) \rangle \int_0^{\xi} \hat{R}^{-1}(\eta) d\eta. \quad (10)$$

В частности, когда композит является простым, имеем

$$\hat{N}_1^0(\xi) = \frac{1}{\gamma} \left(1 - \frac{1+2\eta}{\gamma(\alpha+2\alpha\eta+\chi)} \hat{g}_\beta \right) f(\xi),$$

$$f(\xi) = \begin{cases} (1-\gamma) \left(\xi - \frac{\gamma}{2} \right), & \text{если } 0 \leq \xi \leq \gamma \\ \gamma \left(\frac{1+\gamma}{2} - \xi \right), & \text{если } \gamma \leq \xi \leq 1 \end{cases}$$

$$\hat{g}_\beta = \frac{1}{1+\beta\hat{\eta}}, \quad \beta = \frac{2\chi}{\alpha+2\alpha\eta+\chi}, \quad \alpha \equiv \frac{1-\gamma}{\gamma},$$

$$\chi \equiv \frac{K_2}{K_1}, \quad \hat{\eta} = \frac{\hat{R}}{3 \langle K \rangle}, \quad \gamma = \frac{l_1}{l_1+l_2}.$$

Для нахождения среднего поля перемещения из (7) имеем уравнение движения однородного стержня с эффективными вязкоупругими характеристиками [5]

$$\langle \hat{R}^{-1}(\xi) \rangle \frac{\partial^2}{\partial x^2} v(x, t) - \langle \rho(\xi) \rangle \frac{\partial^2}{\partial t^2} v(x, t) = 0. \quad (11)$$

Таким образом, приведены в длинноволновом приближении решения задачи вязкоупругого композиционного стержня.

Работа выполнена при финансовой поддержке Международного фонда фундаментальных исследований БРФФИИ (проект № ИЛ – 4821091577).

Список литературы

- 1 Ильюшин, А. А. Механика сплошной среды / А. А. Ильюшин. – М. : Изд-во МГУ, 1991. – 228 с.
- 2 Победря, Б. Е. Механика композиционных материалов / Б. Е. Победря. – М. : Изд-во МГУ, 1984. – 336 с.
- 3 Бахвалов, Н. С. Осреднение процессов в периодических средах / Н. С. Бахвалов, Г. П. Панасенко. – М. : Наука, 1984. – 352 с.
- 4 Абдусаттаров, А. Методы решения задач механики композитных материалов и неупругих элементов конструкций / А. Абдусаттаров, А. М. Каримов. – Т. : Узбекистан, 2020. – 194 с.
- 5 Каримов, А. М. Распространение волн в вязкоупругом слоистом композите периодической структуры / А. М. Каримов // Вестник ТашИИТ. – 2018. – № 4. – С. 42–45.

МОДЕЛИРОВАНИЕ БОКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ КАНАТНОГО ТРАНСПОРТА В ШАХТАХ

И. Н. КАРПОВИЧ, М. А. НИКОЛАЙЧИК

Белорусский государственный университет, г. Минск

Моделирование динамики движения канатного транспорта представляет собой сложную многогранную задачу, и, несмотря на значительные достижения в этой области, канатная подъемная система до сих пор не была полностью изучена [1, 2]. При этом отдельно можно выделить ответственную систему подъема шахтного ствола, играющую важную роль в подземной горнодобывающей промышленности, при транспортировке руды, оборудования и персонала [2].

В настоящем исследовании рассматривается шахтный ствол с лифтом и противовесом. В данной работе был применен подход, учитывающий взаимодействие потока воздуха и конструкции, для моделирования боковых колебаний канатных транспортных средств. Для предложенного подхода использовался метод конечных объемов, что позволило провести трехмерное моделирование и оценить его эффективность.

Узел контакта ролика и направляющей в лифте является ключевым элементом подъемного комплекса, обеспечивающим плавное движение. Ролики перемещаются по направляющим, которые обеспечивают устойчивость движения лифта и ограничивают его горизонтальные перемещения. Для компенсации колебаний и поддержания постоянного контакта роликов лифта с направляющими применяются пружины.

При математической постановке настоящей задачи были приняты следующие граничные условия: поток воздуха с нижнего горизонта ствола задается граничным условием скорости величиной 15 м/с на нижней границе модели; а верхняя граница модели является свободной поверхностью.

Для учета контактного взаимодействия роликов лифта и направляющих к центрам масс лифта и противовеса прикладываются горизонтальные силы, равные силе упругости пружин, а также моменты, создаваемые данными силами.

Движение лифта и противовеса реализовано с использованием динамической сетки в сочетании с методом локальной перестройки ячеек [2]. Этот метод использует только тетраэдрический тип ячеек в сетке, поэтому в модели были сгенерированы исключительно тетраэдрические сетки. Для моделирования турбулентного потока воздуха применялась модель турбулентности $k-\omega$ [1], что позволяет достичь высокой точности в анализе аэродинамических характеристик системы.

В качестве результатов получаем горизонтальные перемещения, скорости лифта и противовеса, а также распределение давления.

По значениям давлений на рисунке 1 видно, что в процессе сближения лифта и противовеса лифт влияет на противовес и возникает их взаимное смещение. На рисунке 2 представлено поле скоростей. На рисунках 3 и 4 приведены перемещения и горизонтальные скорости лифта и противовеса.



Рисунок 1 – Распределение давления в момент сближения лифта и противовеса

На рисунках 3 и 4 представлены соответственно графики перемещения и горизонтальной скорости лифта и противовеса в зависимости от высоты. В начальный момент времени лифт находится на высоте 240 м и заканчивает свое движение на 229 м, а противовес – на высоте 234 м и заканчивает на высоте 244 м. На высоте 237 м происходит встреча лифта и противовеса, с этого момента возникает всплеск перемещений и колебаний, а также начинается влияние лифта и противовеса на горизонтальные перемещения обоих тел.

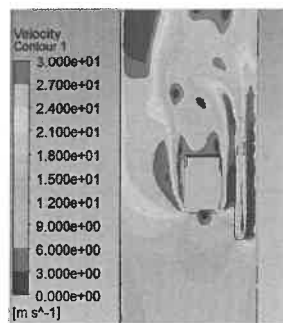
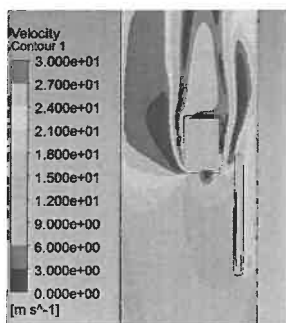


Рисунок 2 – Поле скоростей в момент сближения лифта и противовеса

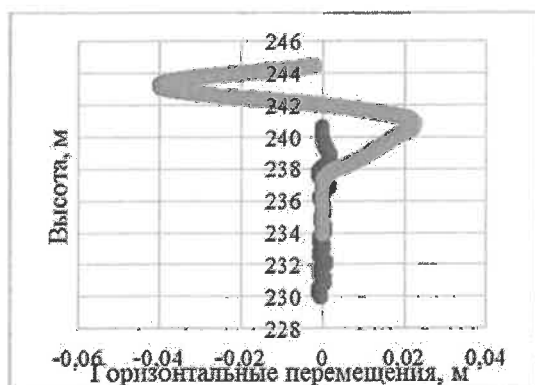


Рисунок 3 – Перемещения лифта и противовеса (темно-серый цвет – лифт, светло-серый – противовес)



Рисунок 4 – Горизонтальные скорости лифта и противовеса (темно-серый цвет – лифт, светло-серый – противовес)

Видно, что при прохождении лифта и противовеса рядом друг с другом они оказывают влияние друг на друга, вызывая смещения обоих. Это также было получено исследователями в [1]. Максимальное давление возникает в системе, в момент, когда лифт и противовес почти прошли мимо друг друга, что изображено на рисунке 1, тем самым вызывая максимальные смещения относительно оси движения. Полученные результаты могут быть использованы при определении оптимальных положений лифта и противовеса в шахте, а также безопасных параметров их движения.

Список литературы

- 1 Simulation of the lateral oscillation of rope-guided conveyance based on fluid-structure interaction / R. Wu [et al.] // Journal of Vibroengineering 16. – 2014. – 1555–1563. pmid:25317882.
- 2 Wu, R. Computational Fluid Dynamics Modeling of Rope-Guided Conveyances in Two Typical Kinds of Shaft Layouts / R. Wu, Z. Zhu, G. Cao // PLoS ONE 2015. – No. 10 (2). – e0118268.
- 3 Nikolaitchik, M. A. Determination of the skip force effect on guides in mine shaft / M. A. Nikolaitchik // E3S Web of Conferences. – 2020. – Vol. 201. – DOI : <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202020101017>.

УДК 539.3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ УДАРНОЙ ВОЛНЫ, НАПОРА И РАСХОДА ЖИДКОСТИ ПРИ ГИДРОУДАРЕ ДЛЯ ДВУХСЛОЙНЫХ ТРУБ ИЗ КОМПОЗИТОВ МЕТОДОМ ХАРАКТЕРИСТИК

С. В. КИРГИНЦЕВА, В. В. МОЖАРОВСКИЙ

Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины, Республика Беларусь

При интенсивной эксплуатации подземных трубопроводов могут возникать такие явления, как коррозия, разрывы, разрушение системы, утечка жидкости. В этом случае возникают значительные затраты на обслуживание и ремонт сетей. Решением этой проблемы может быть применение новых бестраншейных методов восстановления трубопроводов, которые заключаются в ремонте существующих трубопроводов, без выемки грунта. На современном этапе развития новых технологий

начали использовать так называемую технологию CIPP («Cured-in-place pipe») трубопроводов, или применение композитных рукавов (чулок) для бестраншейного ремонта трубопровода. Такая же технология используется для восстановления внутренней поверхности изношенных самотечных и напорных трубопроводов с помощью композитного рукава (трубы). В трубопроводах, работающих под давлением, могут происходить гидравлические удары, которые способны привести к их повреждениям и, возможно, к выходу из строя насосной системы. Предложенная теория (алгоритмы) может применяться для таких конструкций и в новых технологиях. Получены формулы и алгоритмы, по которым можно сделать инженерные расчеты для вышеуказанных труб из композитов (рисунок 1).

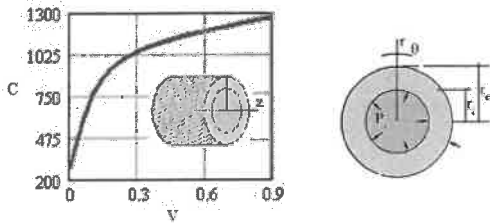


Рисунок 1 – Влияние объемного содержания волокна V и угла намотки

для армированной трубы из композита на скорость ударной волны C , м/с (модули упругости и коэффициенты Пуассона матрицы и волокна: $E_m = 3,76$ ГПа; $E_b = 86$ ГПа; $\nu_m = 0,4$; $\nu_b = 0,22$; толщина $h_1 = 30$ мм; внутренний радиус $r_a = 120$ мм; внешний радиус $r_c = 150$ мм)

Предложено математическое моделирование расчета слоистых трубопроводов и изучение возможности контроля гидравлического удара. Представлены исследования об определении скорости ударной волны, напора и расхода воды при гидроударе для двухслойных труб из композитов методом характеристик [1–3]. Теоретические подходы, разработанные для расчета параметров гидроудара металлических (изотропных) труб, можно также применять и для композитных, но с учетом того, что скорость ударной волны определяется на основе теории упругости анизотропного тела. Созданы алгоритм и программа для реализации расчета труб с ортотропным покрытием (композитом, внутри футеровка, рукав) по зависимостям, определяющим скорость волны, повышения давления, напряженное состояние при гидроударе для различных комбинаций слоистых упругих ортотропных (трансверсально-изотропных) свойств трубы и футеровки (рисунок 2).

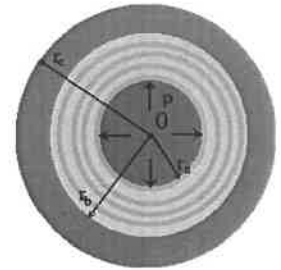


Рисунок 2 – Изотропная труба, ортотропная футеровка

Решается задача компьютерной реализации расчета вышеуказанных параметров для труб из композитов. Для полного описания расчета напора и расхода жидкости при гидравлическом ударе рассмотрим изотропную трубу (модуль упругости и коэффициент Пуассона $E = 210$ ГПа, $\nu = 0,3$, с внутренним покрытием из композита $E_f = 86$ ГПа, $\nu_f = 0,22$, $E_m = 3,76$ ГПа, $\nu_m = 0,374$) с радиусами $r_a = 0,147$ м, $r_b = 0,150$ м, $r_c = 0,156$ м. По предложенной методике была составлена программа в среде Delphi на основе метода характеристик (рисунок 3), в которой учитывался расчет скорости волны для двуслойной трубы и определялись основные параметры.

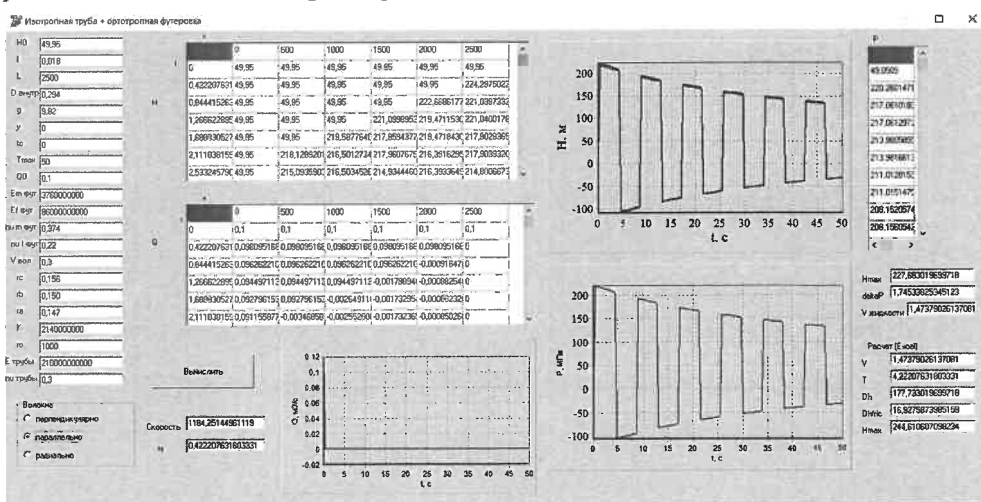


Рисунок 3 – Результаты расчета скорости ударной волны и дополнительных давлений в результате гидроудара в трубе с покрытием из композита

Таким образом, в результате выполненных исследований:

– произведен расчет напора и расхода жидкости и сделан анализ о влиянии расположения волокон (перпендикулярное, параллельное, радиальное) в матрице композиционного материала футеровки на скорость волны, давление и расход жидкости при гидроударе;

– представлены исследования об определении скорости волны напора и расхода воды при гидроударе для двухслойных труб из композитов методом характеристик; теоретические подходы, разработанные для расчета параметров гидроудара металлических (изотропных) труб, которые можно также применять и для композитных, но с учетом, что скорость ударной волны определяется на основе теории упругости анизотропного тела;

– созданы алгоритм и программа для реализации расчета труб с ортотропным покрытием (композитом) по зависимостям, определяющим скорость волны, повышения давления, напряженное состояние при гидроударе для различных комбинаций слоистых ортотропных (трансверсально-изотропных) свойств трубы и футеровки.

Список литературы

1 **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.

2 **Можаровский, В. В.** Влияние расположения волокон в трубе из композита на параметры гидравлического удара / В. В. Можаровский, С. В. Киргинцева // Проблемы физики, математики и техники. – 2023. – № 4 (57). – С. 30–35.

3 **Volnei Titaа.** Theoretical Models to Predict the Mechanical Behavior of Thick Composite Tubes / Volnei Titaа, Mauricio Francisco Caliri Júniorа, Ernesto Massaroppi Juniorb // Materials Research. – 2012. – No. 15 (1). – P. 70–80.

УДК 662.769.21

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ВОДОРОДА КАК ТОПЛИВА

А. И. КИРИЛЕНКО, И. Л. БУРДИН

Белорусская государственная академия авиации, г. Минск

Дальнейший прогресс нашей цивилизации связан с решением экологической проблемы. Эта проблема затрагивает все отрасли народного хозяйства, транспорт, промышленность, сельское хозяйство и прочие, исключений нет, однако основой остается энергетика. О темпах обострения экологической проблемы обычно судят по объемам выбросов парниковых газов, уже в 2022 году уровень концентрации парниковых газов превысил уровень доиндустриальной эпохи на 50 %, однако основной причиной загрязнения атмосферы является энергетика, другие отрасли экономики вносят существенный, но несколько иной вклад. Решением проблемы является внедрение альтернативных источников энергии. Цель работы – рассмотрение подходов к решению этой глобальной проблемы в разных странах. Одним из методов решения на данном этапе видится переход к водородной энергетике, не исключается и более широкое применение атомной энергии. Применение водорода во всех отраслях промышленности, включая транспорт, является также актуальным вопросом, который рассматривался и ранее [1], но в связи с современной экологической повесткой стоит наиболее остро.

25 сентября 2015 года государствами – членами ООН была принята Повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030 года. Среди целей Повестки следует выделить те, что подразумевают обеспечение недорогими, надежными, устойчивыми и современными источникам энергии, доступными для всех, и принятие срочных мер по борьбе с изменением климата и его последствиями. С этой целью многие страны осуществляют активную деятельность по организации соответствующих исследований, разработке и внедрению принципиально новых технологий. Поэтому необходимо рассмотреть существующие технические решения и сделать вывод об их целесообразности и эффективности, но не только в связи с использованием водорода в химической промышленности или на транспорте, и как топливного ресурса в целом.

В Парижском соглашении по защите климата 2016 года особая роль отводится сокращению выбросов парниковых газов. В качестве одного из методов достижения этой цели рассматривается развитие возобновляемых источников энергии (ВИЭ) и производство «зеленого» топлива на основе ВИЭ. «Зеленым» топливом называется топливо, получаемое из возобновляемых источников без

использования углеводородного сырья, или, как говорят экологи, без карбонового следа. Энергий такого вида великое разнообразие, например, энергия ветра, приливов, геотермальная энергия, солнечная и другие.

С учетом принятого Европейским союзом обязательства достичь к 2050 году минимальных выбросов оксидов углерода в ФРГ в 2019 г. принят перечень мер, направленных на защиту климата и предусматривающих сокращение к 2030 году выбросов в атмосферу парниковых газов на 55 % по сравнению с уровнем 1990 года. В связи с наличием технологических ограничений по непосредственному использованию энергии ВИЭ в Германии в последнее время уделяют повышенное внимание водороду в качестве альтернативы традиционным ископаемым видам топлива. В 2020 г. в ФРГ была принята «дорожная карта», предусматривающая оказание государством поддержки по введению на рынок зеленого водорода (полученного путем электролиза на основе электроэнергии из ВИЭ) и созданию структур производства, которые позволяют сохранять водород в жидкой и газообразной формах. Также стоит отметить, что водород, используемый в связи с ВИЭ, позволит заменить более экологически грязные источники энергии там, где прямое использование электроэнергии из ВИЭ невозможно. Также известно, что 2 млрд евро зарезервированы для реализации международных партнерских программ. Так, первый пилотный проект строительства завода по производству «зеленого» водорода в Марокко был согласован в июне 2020 года. В целях эффективного решения поставленной проблемы в ФРГ создана отдельная структура – Национальный совет по водородным ресурсам, в состав которого вошли 26 национальных и международных экспертов из научной и промышленной сфер [2].

Очевидно, что переход к максимально экологически чистому водороду (таковым считается зеленый) возможен лишь в долгосрочной перспективе, однако на промежуточном этапе вполне допустимым является использование водорода, полученного иными способами (конверсией метана, к примеру). 8 июля 2020 г. Еврокомиссия представила Европейскую водородную стратегию, предусматривающую развитие отрасли «зеленого» водорода в ЕС в три этапа:

Первый этап – 2020–2024 гг. Цель – использование существующих мощностей по производству «чистого» водорода для применения в определенных отраслях промышленности в целях их декарбонизации, а также содействие использованию водорода в новых областях применения.

Второй этап – 2024–2030 гг. водород должен стать существенной составной частью интегрированной энергетической системы с запланированной целью по установке электролизеров мощностью не менее 40 ГВт к 2030 году и производством до 10 млн тонн «зеленого» водорода. Планируется, что его использование постепенно распространится на такие новые отрасли, как производство стали, грузоперевозки, железнодорожный и морской транспорт. Водород будет по-прежнему генерироваться главным образом вблизи мест потребления или ВИЭ.

Третий этап – 2030–2050 гг. Технологии использования «зеленого» водорода должны стать более совершенными и масштабными, чтобы охватить все сектора, в которых декарбонизация затруднена, а альтернативные решения могут оказаться невозможными или неконкурентоспособными [2].

Одной из стран, принявших свою концепцию развития водородной энергетики, стал Казахстан. Предложенная им концепция определена на срок до 2040 года. Концепция отражает стремление к декарбонизации, диверсификации и переходу к более экологически устойчивым решениям, достижению целей устойчивого развития, а также выполнению международных обязательств по сохранению климата и снижению выбросов парниковых газов [3].

Основными потребителями водорода в мире по отраслям (по данным за 2022) являлись: 45 % – нефтепереработка, 36 % – производство аммиака, 14 % – производство метанола и 5 % – металлургия. На энергетические нужды и транспорт приходилось только 40 тыс. тонн (0,04 %) [3]. Для создания инфраструктуры водородной энергетики в США крупные компании объединились в коалицию и разработали соответствующую дорожную карту [3].

В Китае водородная энергетика является одной из шести отраслей будущего развития. Политика страны дает стратегические инвестиционные возможности для иностранных компаний в целях развития водородной энергетики в стране. В 2020 г. китайский производитель водородных топливных элементов Beijing SinoHytec создала совместное предприятие с японской компанией «Тойота». Важно отметить, что КНР является крупнейшим производителем водорода в мире – около 25 млн тонн водорода (четверть мирового производства) [3]. Также свою концепцию развития водородной энергетики предложила Российская Федерация. Концепция охватывает основные вопросы страте-

гического развития отрасли в целом. Такие страны, как Россия и Китай, делают упор на производство водорода за счет применения ядерной энергии. Это обусловлено тем, что «зеленой» энергетике не отдают предпочтение, как в странах западной Европы, а также есть особенности ее применения. Теперь многие государства разработали программы перехода к водородной экономике. В 2021 г. программу развития водородной энергетике до 2050 г. приняла Россия, в 2023 г. – Беларусь.

Итак, все крупные экономики мира озабочены проблемой декарбонизации. Единственный эффективный путь решения этой проблемы – более широкое использование водорода, причем именно на всех видах транспорта, альтернатива только одна – использование ядерной энергии. По такому пути идут государства, не имеющие достаточных ресурсов для альтернативной энергетике, например Монголия. Такие страны планируют строительство атомных электростанций. Представляется, что такими способами экологическая проблема будет разрешима.

Список литературы

- 1 Brewer, G. D. Hydrogen aircraft technology / G. D. Brewer. – Boca Raton : CRC Press Int, 1991. – 431 p.
- 2 Департамент по энергоэффективности Государственного комитета Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://energoeffect.gov.by/news/news_2020/20200805_news1. – Дата доступа : 10.09.2024.
- 3 Концепция развития водородной энергетике в Республике Казахстан до 2040 года : утв. постановлением Правительства Респ. Казахстан, 30 мая 2024 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://legalacts.egov.kz/npa/view?id=15028374>. – Дата доступа : 10.09.2024.

УДК 539.3, 539.372, 539.62, 51-74

ЧИСЛЕННО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ «РОЛИК – ВАЛ» НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ

Н. М. КЛИМКОВИЧ, М. А. НИКОЛАЙЧИК
Белорусский государственный университет, г. Минск

Процесс изнашивания заключается в отделении частиц материала с поверхности твердого тела при трении и/или увеличении остаточных деформаций, которые сопровождаются постепенным изменением размеров этого тела [1]. Испытания на износ проводятся с целью опытного определения способности конкретного материала сопротивляться разрушению, деформации и другим повреждениям в условиях трения. Так, в настоящее время разрабатываются новые материалы, имеющие высокие износоусталостные показатели [2–4]. В свою очередь, компьютерное численное моделирование процесса изнашивания позволяет значительно сократить сроки исследования свойств рассматриваемых материалов и материальные затраты, необходимые для проведения износоусталостных испытаний.

Таким образом, цель данного исследования заключается в проведении численного моделирования напряженно-деформируемого состояния (НДС) системы «вал (образец) – ролик (контробразец)» в динамической постановке, возникающего в ходе проведения испытаний на износостойкость в условиях качения без проскальзывания (рисунок 1).

Численное моделирование проводилось на базе метода конечных элементов (МКЭ), реализованного в расчетном программном пакете Ansys Mechanical APDL. Задача рассматривалась в динамической постановке. Процесс изнашивания описывался моделью Арчарда [5]

$$\dot{w} = \frac{C_1 p^n v^m}{h}, \quad (1)$$

где \dot{w} – скорость изнашивания материала; C_1 , n , m – некоторые константы; p – контактное давление; v – скорость скольжения; h – твердость материала (равна трети от предела прочности на сжатие).

В качестве материала образца использовался алюминиевый сплав Д16, материала контробразца – сталь 18ХГТ. Кроме того, учитывалось нанесение различных покрытий на поверхность вала в области контакта путем изменения констант C_1 , n , m модели (1). Верификация полученных результатов проводилась по данным экспериментальных исследований [6].

Для сокращения вычислительных затрат, необходимых для проведения численного эксперимента, геометрическая модель ролика, размеры которого значительно больше размеров вала, была заменена некоторой его частью (рисунок 2). В ходе численного моделирования считалось, что данный участок ролика может перемещаться только в вертикальном направлении.

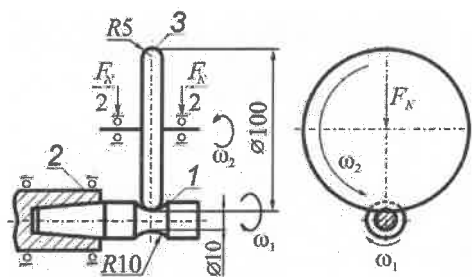


Рисунок 1 – Схема проведения испытаний на контактную усталость

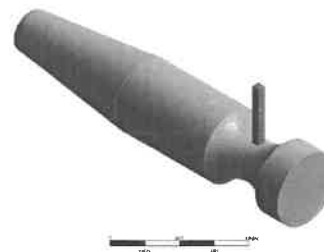


Рисунок 2 – Упрощенная геометрическая модель системы «вал – ролик»

Кроме того, так как основным изнашиваемым объектом в рассматриваемой системе является вал, модель поведения материала для рассматриваемого участка ролика была определена как модель поведения недеформируемого твердого тела.

Как и при проведении натурного эксперимента, нагружение на вал было многоступенчатым. В силу того, что частота вращения вала оставалась постоянной за всё время проведения эксперимента, скорость скольжения v в модели (1) также принималась постоянной.

Вместе с тем, так как длительность ступени нагружения также оставалась постоянной, при проведении численного моделирования принималось, что фрикционный износ за одну ступень нагружения можно реализовать за один расчетный оборот, увеличивая при этом значение константы C_1 в соответствующее число раз.

Верификация полученных результатов проводилась по данным сближения осей ролика и вала [6].

В ходе проведения численного эксперимента, были получены полосы износа в окрестности области контакта вала и ролика (рисунок 3) и определено НДС всей исследуемой системы. Полученные полосы износа совпадают с теми, что были получены в ходе проведения экспериментального исследования (рисунок 4).

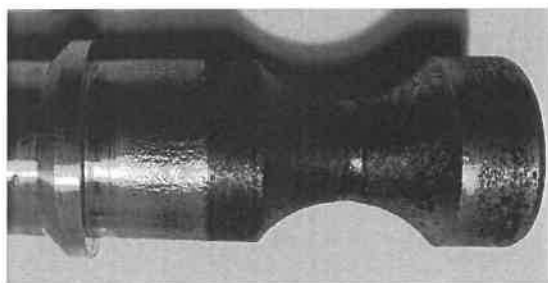


Рисунок 3 – Фото образца с модифицированным МДО-покрытием, содержащим латунь, после испытаний на контактную усталость

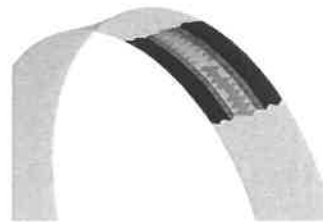


Рисунок 4 – Вид одной из полос износа, полученной в ходе численного моделирования

Таким образом, была разработана численная конечно-элементная модель НДС системы «ролик – вал» в динамической постановке, возникающего при проведении испытаний на износостойкость. Полученные результаты моделирования верифицировались данными экспериментальных исследований. Результаты исследований могут быть широко использованы при проведении численных экспериментов по определению усталостных свойств различных образцов.

Список литературы

- 1 Трение и износ в машинах: практикум для студентов технических специальностей / П. Н. Богданович [и др.]. – Гомель : БелГУТ, 2014. – 134 с.
- 2 Новый износостойкий сплав на кобальтовой основе: влияние кремния и углерода на структуру и триботехнические характеристики. Часть 1 / А. Г. Евгенов [и др.] // Авиационные материалы и технологии. – 2021. – № 4 (65). – С. 59–69.
- 3 Башков, О. В. Исследование структуры и фрикционных свойств нового композиционного фрикционного материала / О. В. Башков, А. А. Афанасьева // Морские интеллектуальные технологии. – 2021. – № 4-1. – С. 59–65.
- 4 Об опыте изготовления и эксплуатации зубчатых колес из нового конструкционного материала «МОНИКА» / В. В. Комиссаров [и др.] // Вестник ИжГТУ им. М. Т. Калашникова. – 2017. – Т. 20, № 2. – С. 107–112.
- 5 Shen, X. Numerical simulation of sliding wear based on Archard model / X. Shen, L. Cao, R. Li // 2010 International Conference on Mechanic Automation and Control Engineering. – IEEE, 2010. – С. 325–329.
- 6 Богданович, А. В. Об использовании метода многоступенчатого нагружения для расчетно-экспериментальной оценки предела контактной выносливости / А. В. Богданович, В. Л. Басинюк, А. А. Глазунова // Механика машин, механизмов и материалов. – 2024. – № 1 (66). – С. 29–36.

ВЛИЯНИЕ ОТЖИГА НА УРОВЕНЬ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ МАТЕРИАЛОВ ПОСЛЕ РОТАЦИОННОЙ СВАРКИ ТРЕНИЕМ

Е. Л. КУЗНЕЦОВА

Филиал АО «ОДК» «НИИД», г. Москва, Российская Федерация

Т. Т. ФОЗИЛОВ

Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация

Филиал АО «ОДК» «НИИД», г. Москва, Российская Федерация

После любых технологических операций в металле возникают внутренние остаточные напряжения и деформации, которые находятся в состоянии равновесия без участия нагрузки извне. Большинство из них остаются в металле после техпроцесса и потому названы остаточными. Абсолютно любой вид обработки может привести к совершенно разным значениям напряжений как по направлению, так и по своей природе происхождения. Как правило, эти напряжения являются фазовыми, термическими или происходят от неоднородной пластической деформации [1].

С учетом того, что уровень заданных эксплуатационных свойств авиационных материалов постоянно возрастает, борьба с подобным явлением является одним из главных приоритетов, а отработка методов их релаксации, удаления и предупреждения – одна из важнейших задач.

В сварке трением значения остаточных деформаций имеют комбинированный характер, поскольку, несмотря на то, что данный метод считается одним из «холодных» (т. к. процесс протекает без образования жидкой фазы), сварка жаропрочных материалов типа сплавов серий ВВ, ВЖ и ЭП происходит в области температур выше 1250 °С, это превышает температуры закалки за несколько секунд и является термоударом. Ввиду этого характер напряжений является термическим, а поскольку при этой температуре пройдена точка полиморфных фазовых превращений с растворением или образованием упрочняющих интерметаллидных соединений, то здесь имеют место фазовая составляющая и неоднородная пластическая деформация как причины их возникновения [2].

Комбинация такого рода предусматривает разнонаправленность этих напряжений и деформаций, они являются и осевыми, и кольцевыми, продольными и поперечными. Значения достигают порядка 85–90 % от пределов текучести материала.

В ходе мероприятий по борьбе с этим явлением был выделен как самый рациональный, метод – высокотемпературный отжиг. Эксперимент показал снижение уровня остаточных напряжений порядка 30–40 % в среднем. Помимо этого, изменилась микроструктура сварного соединения ввиду релаксации механического воздействия за счет давления проковки при сварке. Она вернулась в исходное состояние и стала однородной как с зоной термомеханического влияния, так и основным материалом.

Согласно вышеописанному результаты эксперимента показали удовлетворительный уровень свойств, испытания на длительную прочность и малоцикловую усталость выявили повторяемость результата и закономерности для отработки режимов сварки и дальнейшей термической обработки.

Исследование выполнено за счет гранта РФФИ № 23-19-00680.

Список литературы

1 Применение пантографической конструкции, полученной методом SLM-печати и исследование влияния постобработки с нанесением демпфирующих покрытий / А. А. Зайцев [и др.] // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2023. – № 4. – С. 83–89.

СОБСТВЕННЫЕ КОЛЕБАНИЯ ПЯТИСЛОЙНОЙ КРУГОВОЙ ПЛАСТИНЫ, ШАРНИРНО ОПЕРТОЙ ПО КОНТУРУ

Е. А. ЛАЧУГИНА

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

В последнее время в различных отраслях промышленности, включая строительство и машиностроение, широко используются слоистые элементы конструкций, в том числе и пятислойные пла-

стины. Поэтому разработка механико-математической модели собственных колебаний круговой пятислойной несимметричной по толщине пластины является актуальной.

Методы расчета и постановки краевых задач для слоистых элементов конструкций рассмотрены в [1–5]. Колебания неоднородных пластин и оболочек при периодических и нестационарных нагрузках исследовались в публикациях [6–8]. Статьи [9–14] посвящены квазистатическому деформированию трехслойных пластин. Постановка задачи о колебаниях пятислойной круговой пластины разрабатывалась в [15–18].

Здесь рассмотрена несимметричная по толщине упругая круговая пятислойная пластина с двумя легкими заполнителями. Вывод уравнений движения проведен в цилиндрической системе координат r, φ, z , которая связана со срединной плоскостью центрального слоя. В тонких несущих слоях справедливы гипотезы Кирхгофа, в заполнителях выполняется гипотеза Тимошенко и не учитывается работа касательных напряжений.

На контуре пластины предполагается наличие жесткой диафрагмы, препятствующей относительному сдвигу слоев ($\psi_1 = \psi_2 = 0$ при $r = r_0$). Рассматривается осесимметричная задача, поэтому тангенциальные перемещения в слоях отсутствуют, а искомые прогиб пластины w и относительные сдвиги в заполнителях ψ_1, ψ_2 не зависят от координаты φ .

Система уравнения движения получена при помощи вариационного принципа Лагранжа и принципа Даламбера:

$$\begin{aligned} L_2(a_1 u - a_2 w_{,r} + a_3 \psi_1 - a_4 \psi_2) &= 0, \\ L_2(a_3 u - a_5 w_{,r} + a_6 \psi_1) &= 0, \\ L_2(-a_4 u - a_7 w_{,r} + a_8 \psi_2) &= 0, \\ L_3(a_2 u - a_9 w_{,r} + a_{10} \psi_1 + a_{11} \psi_2) - M_0 \dot{w} &= -q, \end{aligned}$$

где $M_0 \ddot{w}$ – поперечные инерционные силы, $M_0 = (\rho_1 h_1 + \rho_2 h_2 + \rho_3 h_3 + \rho_4 h_4 + \rho_5 h_5) r_0^2$; a_i – коэффициенты [14]; L_2, L_3 – линейные дифференциальные операторы

$$L_2(g) \equiv \left(\frac{1}{r} (rg)_{,r} \right)_{,r} \equiv g_{,rr} + \frac{g_{,r}}{r} - \frac{g}{r^2}, \quad L_3(g) \equiv \frac{1}{r} (rL_2(g))_{,r} \equiv g_{,rrr} + \frac{2g_{,rr}}{r} - \frac{g_{,r}}{r^2} + \frac{g}{r^3}.$$

Начальные условия движения принимаются однородными, на контуре должны выполняться условия для шарнирного опирания пластины

$$u = \psi_1 = \psi_2 = w = M_r = 0 \text{ при } r = r_0.$$

Трансцендентное уравнение для вычисления собственных чисел β_n ($n = 0, 1, 2, \dots$) следует из граничных условий. При шарнирном опирании контура пластины имеем

$$J_0(\beta r_0) \left[a_{12} \left(\beta I_0(\beta r_0) - \frac{I_1(\beta r_0)}{r_0} \right) + \frac{a_{13}}{r_0} I_1(\beta r_0) \right] + I_0(\beta r_0) \left[a_{12} \left(\beta J_0(\beta r_0) - \frac{J_1(\beta r_0)}{r_0} \right) + \frac{a_{13}}{r_0} J_1(\beta r_0) \right] = 0.$$

Частоты собственных колебаний ω_n связаны с собственными числами следующими соотношениями:

$$\omega_n^2 = \frac{\beta_n^4}{M^4} = \frac{\beta_n^4}{M_0 D}, \quad M^4 = M_0 D, \quad D = \frac{a_6 a_8 b_4}{b_4 b_7 - b_5 b_6}.$$

Перемещения в рассматриваемой пластине предполагается определять методом разложения в ряд по системе собственных ортонормированных функций.

Работа выполнена при финансовой поддержке БРФФИ (проект T24M-004).

Список литературы

- 1 Горшков, А. Г. Механика слоистых вязкоупругопластических элементов конструкций / А. Г. Горшков, Э. И. Старовойтов, А. В. Яровая. – М. : Физматлит, 2005. – 576 с. – EDN RXGSLJ.
- 2 Журавков, М. А. Математические модели механики твердого тела / М. А. Журавков, Э. И. Старовойтов. – Минск : БГУ, 2021. – 535 с.
- 3 Zhuravkov, M. A. Mechanics of Solid Deformable Body / M. A. Zhuravkov, Lyu Yongtao, E. I. Starovoitov. – Singapore : Springer, 2022. – 317 p.

4 Абдусаттаров, А. Деформирование и повреждаемость упругопластических элементов конструкций при циклических нагрузках / А. Абдусаттаров, Э. И. Старовойтов, Н. Б. Рузиева. – Ташкент : IDEAL PRESS, 2023. – 381 с.

5 Деформирование трехслойных пластин при термосиловых нагрузках / Э. И. Старовойтов [и др.]. – Гомель : БелГУТ, 2024. – 395 с.

6 Fedotenkov, G. V. Identification of non-stationary load upon Timoshenko beam / G. V. Fedotenkov, D. V. Tarlakovsky, Y. A. Vahterova // Lobachevskii journal of mathematics. – 2019. – Vol. 40, no 4. – P. 439–447.

7 Старовойтов, Э. И. Исследование спектра частот трехслойной цилиндрической оболочки с упругим наполнителем / Э. И. Старовойтов, Д. В. Леоненко // Механика композиционных материалов и конструкций. – 2015. – Т. 21, № 2. – С. 162–169.

8 Леоненко, Д. В. Резонансные колебания упругих круговых трехслойных пластин, скрепленных с основанием Пастернака / Д. В. Леоненко // Проблемы машиностроения и автоматизации. – 2018. – № 4. – С. 98–104.

9 Старовойтов, Э. И. Изгиб упругой круговой трехслойной пластины на основании Пастернака / Э. И. Старовойтов, А. Г. Козел // Механика композиционных материалов и конструкций. – 2018. – Т. 24, № 3. – С. 392–406.

10 Козел, А. Г. Решение задачи об изгибе упругопластической круговой пластины на основании Пастернака / А. Г. Козел // Теоретическая и прикладная механика. – 2019. – № 34. – С. 165–171.

11 Захарчук, Ю. В. Упругое деформирование круговых трехслойных пластин со сжимаемым наполнителем осесимметричными нагрузками / Ю. В. Захарчук // Теоретическая и прикладная механика. – 2022. – С. 34–41.

12 Нестерович, А. В. Радиальное и тангенциальное неосесимметричное нагружение круговой трехслойной пластины / А. В. Нестерович // Механика. Исследования и инновации. – Гомель : БелГУТ, 2020. – Вып. 13. – С. 116–121.

13 Deformation of a Step Composite Beam in a Temperature Field / É. I. Starovoitov [et al.] // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. – 2015. – Vol. 88, no 4. – P. 1023–1029.

14 Старовойтов, Э. И. Деформирование трехслойного стержня в температурном поле / Э. И. Старовойтов, Д. В. Леоненко // Механика машин, механизмов и материалов. – 2013. – № 1 (22). – С. 31–35.

15 Лачугина, Е. А. Поперечные колебания пятислойной упругой круговой пластины с жесткими наполнителями / Е. А. Лачугина // Механика. Исследования и инновации. – 2022. – Вып. 15. – С. 212–219.

16 Лачугина, Е. А. Свободные колебания пятислойной круговой пластины с легкими наполнителями / Е. А. Лачугина // Механика. Исследования и инновации. – Гомель : БелГУТ, 2023. – Вып. 16. – С. 111–116. – EDN RССКРМ.

17 Лачугина, Е. А. Частоты собственных колебаний пятислойной круговой пластины / Е. А. Лачугина // Теоретическая и прикладная механика : междунар. науч.-техн. сб. – Минск : БНТУ, 2023. – Вып. 38. – С. 227–233.

18 Лачугина, Е. А. Собственные колебания пятислойной несимметричной по толщине пластины / Е. А. Лачугина // Механика, Сейсмостойкость, Машиностроение : сб. докладов Междунар. науч. конф., посвящ. 90-летию академика АН РУз Т. Р. Рашидова, 27–29 мая 2024 г. – Т. II. – Ташкент, 2024. – С. 426–433.

УДК 539.3

СОБСТВЕННЫЕ КОЛЕБАНИЯ СЭНДВИЧ-СТЕРЖНЯ

Д. В. ЛЕОНЕНКО

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Трехслойные конструкции широко применяются в различных отраслях промышленности. Расчету слоистых элементов посвящены многие работы. Так, в статье [1] рассмотрены свободные колебания трехслойной цилиндрической оболочки, а в статье [2] исследуются нелинейные колебания сэндвич-пластины. В работе [3] анализируется поведение стержня при действии температуры. В статьях [4, 5] исследуются свободные колебания стержней при наличии внутреннего или внешнего сопротивления. Работа [6] посвящена исследованию характеристик свободных колебаний сэндвич-балок с мягким наполнителем. Влияние отношения толщины наполнителя к толщине несущих слоев на собственные частоты многослойных балок было проанализировано в [7]. В работе [8] учитывались осевые, изгибные и сдвиговые деформации во всех слоях при расчетах собственных частот и форм колебаний сэндвич-балок. Здесь рассматриваются свободные колебания симметричного по толщине трехслойного стержня с несжимаемым наполнителем.

Для изотропных несущих слоев приняты гипотезы Бернулли. Для пакета справедлива гипотеза ломанной линии. На границах контакта используются условия непрерывности перемещений. Материалы несущих слоев несжимаемы в поперечном направлении, деформации малые. В качестве неизвестных принимаем прогиб $w(x, t)$ и сдвиг в наполнителе $\psi(x, t)$.

С помощью принципа Гамильтона получим систему движения в частных производных. В дальнейшем будут исследованы поперечные колебания упругого стержня, поэтому оставляем только члены, учитывающие инерцию движения в слоях вдоль вертикальной оси:

$$b_1 \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} - b_2 \frac{\partial^3 w}{\partial x^3} - b_4 \psi = 0, \quad b_2 \frac{\partial^3 \psi}{\partial x^3} - b_3 \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} = m_1 \frac{\partial^2 w}{\partial t^2},$$

где b_1, b_2, b_3 – коэффициенты, учитывающие жесткостные характеристики стержня; m_1 – инерционный член.

Решение для прогиба будем искать в виде

$$w(x, t) = T(t)W(x).$$

В результате получим два уравнения в одной переменной:

$$\frac{d^2 T}{dt^2} + \omega^2 T = 0; \quad \frac{d^4 W}{dx^4} - \lambda^4 W = 0, \quad (1)$$

где ω – частота собственных колебаний; λ – собственное число.

Первое уравнение из (1) имеет следующее решение:

$$T(t) = A \cos(\omega t) + B \sin(\omega t),$$

где A и B – константы интегрирования, определяемые из начальных условий.

Второе дифференциальное уравнение (1) для координатной функции имеет постоянные коэффициенты. Общее решение уравнения:

$$W(x) = C_1 \operatorname{ch}(\lambda x) + C_2 \operatorname{sh}(\lambda x) + C_3 \cos(\lambda x) + C_4 \sin(\lambda x).$$

Коэффициенты C_1 – C_4 определяются из граничных условий.

Получены решения для прогибов и частот свободных колебаний при различных условиях закрепления торцов стержня.

Список литературы

- 1 **Леоненко, Д. В.** Исследование спектра частот трехслойной цилиндрической оболочки с упругим наполнителем / Д. В. Леоненко, Э. И. Старовойтов // *Механика композиционных материалов и конструкций*. – 2015. – Т. 21, № 2. – С. 162–169.
- 2 **Sherif, H. A.** Non-linear forced flexural vibration of a clamped circular unsymmetrical sandwich plate / H. A. Sherif // *Journ. of Sound and Vibr.* – 1995. – Vol. 182, no. 3. – P. 495–503.
- 3 **Старовойтов, Э. И.** Деформирование трехслойного стержня в температурном поле / Э. И. Старовойтов, Д. В. Леоненко // *Механика машин, механизмов и материалов*. – 2013. – № 1 (22). – С. 31–35.
- 4 **Воробьев, С. А.** Частотные характеристики трехслойного стержня с учетом внутреннего трения на основе вязкой и комплексной моделей / С. А. Воробьев // *Материалы. Технологии. Инструменты*. – 2007. – Т. 12, № 2. – С. 12–16.
- 5 **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.
- 6 **Lee, J. W.** Free vibration analysis of three layered beams with a soft-core using the transfer matrix method / J. W. Lee // *Applied Sciences*. – 2023. – No. 13. – P. 411.
- 7 **Khdeir, A. A.** Free vibration of sandwich beams with soft core / A. A. Khdeir, O. J. Aldraihem // *Composite Structures*. – 2016. – No. 154. – P. 179–189.
- 8 **Yildirim, S.** Free vibration analysis of sandwich beams with functionally-graded-cores by complementary functions method / S. Yildirim // *AIAA Journal*. – 2020. – No. 58. – P. 5431–5439.

УДК 629.3.015.5

АНАЛИЗ ВЕРТИКАЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ СИДЕНЬЯ ВОДИТЕЛЯ КОЛЕСНОГО ТРАКТОРА

Д. А. ЛИННИК, А. Ч. СВИСТУН, Е. В. ОВЧИННИКОВ

Гродненский государственный университет им. Янки Купалы, Республика Беларусь

Для обеспечения безопасных и комфортных условий труда водителей сельскохозяйственной техники предъявляются все более высокие требования к эффективности работы. Как показывает практика, экономический результат, получаемый от внедрения новых технических решений систем подвески, обычно не оправдывает финансовых затрат на их разработку. Однако практика использования сельскохозяйственной техники показывает, что отсутствие комфортных условий труда водителя как прямо, так и косвенно влияет на технико-экономические показатели использования машины. При больших амплитудах колебаний сиденья водитель вынужден снижать скорость сельскохозяйственной машины, что сопровождается снижением средней линейной скорости и, как следствие, приводит к падению производительности работы машины. Высокий уровень вибрации на рабочем месте водителя влияет на его здоровье, вызывая утомляемость и потерю концентрации [1].

Водители сельскохозяйственных машин в своей повседневной работе подвергаются множеству негативных воздействий, которые оказывают сложное и опасное воздействие на организм. Помимо физических нагрузок, осадков, неблагоприятного микроклимата, различных загрязнений (пыль, средства защиты растений), высоких или низких температур, шума существенным вредным фактором являются низко- и высокочастотные вибрации. Эти вибрации особенно влияют на водителей колесных тракторов, поскольку они передаются через раму, пол кабины, сиденье и органы управления на все тело водителя [2–4].

Частоты в диапазоне от 1 до 7 Гц играют ведущую роль в возникновении рисков опорно-двигательного аппарата, особенно в поясничном отделе позвоночника. Эти нарушения встречались преимущественно у водителей колесных тракторов из-за высокой амплитуды воздействия низкочастотной вибрации. Для предупреждения и предотвращения влияния общих вибраций на здоровье водителей колесных тракторов и других сельскохозяйственных машин необходимо обеспечить безопасность труда и сохранить здоровье водителей [4–6].

В последнее время системы виброзащиты изучаются достаточно широко. Системы виброзащиты можно разделить на пассивные, активные и полуактивные. Полуактивные системы управления заполняют пробел между пассивными и активными системами управления и представляют собой компромисс между повышением производительности и простотой реализации. Разработка таких систем поддрессирования требует комплексных исследований и анализа характера возмущающего воздействия на машину в условиях сельскохозяйственного производства, исследования и поиск путей снижения вибронормировки рабочего места водителя сельскохозяйственных машин [1].

Математические модели находят широкое применение в различных сферах современной науки, таких как физика, техника, биология, экономика, социология и т. д. Они служат для описания, исследования и упрощения сложных систем, анализа их поведения, выявления взаимосвязей между параметрами и поиска оптимальных решений. Кроме того, модели позволяют на этапах раннего проектирования определить оптимальные параметры [7–9].

В работе [10] изложены результаты решения основного уравнения динамики с нулевыми начальными условиями колебания сиденья водителя колесного трактора «Беларус-3022ДЦ.1» при движении по неровностям опорной поверхности под действием возмущающей силы, силы трения, силы сопротивления амортизатора и силы тяжести. Произведена оценка оптимальных конструктивных параметров системы поддрессирования сиденья водителя с целью снижения величины вибрации на рабочем месте водителя колесного трактора.

Из рисунка 1 видно, что из-за действия возмущающей периодической силы (например, движение происходит по опорной поверхности с правильной волнистой поверхностью), колебания с собственными частотами в течение короткого промежутка времени затухают (из рисунка 1, *б* видно, что время установления составляет десятые доли секунды) и остаются лишь колебания, обусловленные действием возмущающей силы. Данные колебания совершаются с частотой возмущающей силы и с постоянной амплитудой и являются установившимися вынужденными колебаниями. Однако из рисунка 1, *а* видно, что эти колебания сиденья водителя не симметричны относительно нуля (начального положения сиденья).

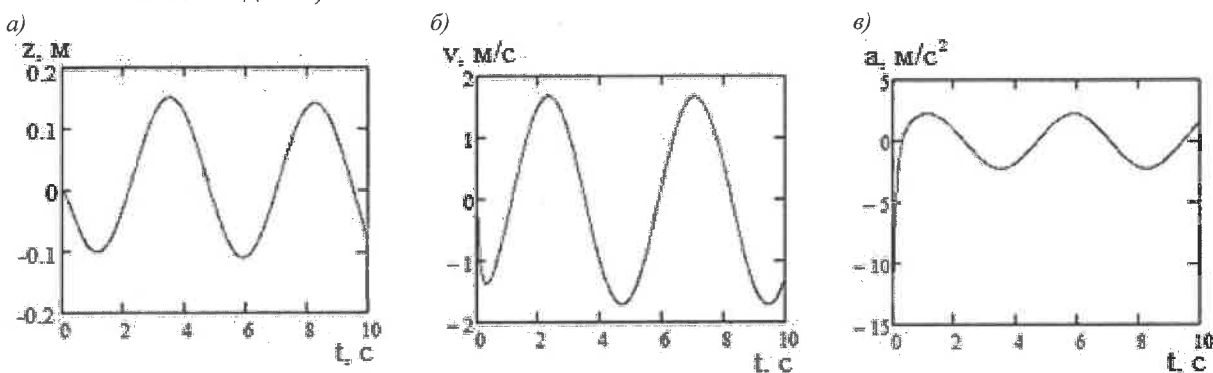


Рисунок 1 – Зависимость перемещения сиденья водителя 80-6800010 (*а*), скорости движения (*б*), ускорения (*в*) от времени

При передвижении колесного трактора по неровностям опорной поверхности часто возникают колебания с различными частотами, которые могут быть как неустановившимися, так и вынужден-

ными вибрационными частотами. Однако из-за оптимального выбора параметров и конструкции сиденья в [10] наблюдаются установившиеся вынужденные колебания.

Список литературы

- 1 **Kravchenko, V.** On the assessment of vibroloading of vehicle drivers in agricultural production / V. Kravchenko, L. Kravchenko, V. Oberemok // State and prospects for the development of agribusiness – INTERAGROMASH 2020 : XIII International scientific and practical conference ». – 2020. – Vol. 175. – P. 1–10.
- 2 **Cvetanovic, B.** Evaluation of whole-body vibration risk in agricultural tractor drivers / B. Cvetanovic, D. Zlatkovic // Bulgarian Journal of Agricultural Science. – 2013. – Vol. 19 (5). – P. 1155–1160.
- 3 **Линник, Д. А.** Оценка эффективности существующей системы виброзащиты рабочего места водителя колесного трактора при выполнении полевых работ / Д. А. Линник // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2023. – № 2. – С. 161–166.
- 4 Investigation of the vibrations transmitted by agricultural tractor to the driver under operative conditions / L. Fornaciari [et al.] // Innovation Technology to Empower Safety, Health and Welfare in Agriculture and Agro-food Systems : International Conf., Ragusa, 15–17 Sept. 2008. – Italy, 2008. – P. 1–8.
- 5 Whole body vibration exposure among the tractor operator during soil tillage operation : an evaluation using ISO 2631-5 standard / A. Singh [et al.] // Shock and Vibration. – 2022. – P. 1–8.
- 6 **Cutini, M.** Whole-body vibration in farming : background document for creating a simplified procedure to determine agricultural tractor vibration comfort / M. Cutini, M. Brambilla, C. Bisaglia // Agriculture. – 2017. – Vol. 7, is. 84. – P. 20.
- 7 **Линник, Д. А.** Математическая модель и программа моделирования колебаний масс колесного трактора с подремонной кабиной / Д. А. Линник, В. И. Булгаков // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2020. – № 2. – С. 122–127.
- 8 **Линник, Д. А.** Математическая модель опытного демпфера подвески кабины колесного трактора / Д. А. Линник, В. М. Пецевич, А. Ч. Свистун // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2020. – № 2. – С. 139–143.
- 9 **Мусафиров, Э. В.** Математическая модель колебаний сиденья водителя колесного трактора / Э. В. Мусафиров, Д. А. Линник, А. Ч. Свистун // Веснік Гродзенскага дзяржаўнага ўніверсітэта імя Янкі Купалы. Сер. 6. Тэхніка. – 2023. – Т. 13, № 1. – С. 64–75.
- 10 **Линник, Д. А.** К вопросу оценки вертикальных колебаний сиденья водителя при движении колесного трактора по неровностям опорной поверхности / Д. А. Линник, А. Ч. Свистун // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2024. – № 3. – С. 112–119.

УДК 551.461

ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ

А. И. ЛИСТОПАД, А. И. КИРИЛЕНКО

Белорусская государственная академия авиации, г. Минск

Тенденция развития беспилотных летательных аппаратов (БЛА) направлена на всепогодность. Основной особенностью БЛА является их использование преимущественно в приземном слое атмосферы, где идут конвективные восходящие потоки. Этот слой наиболее подвержен влиянию процессов, происходящих на земной поверхности. В этом слое можно наблюдать существенное изменение метеозлементов с высотой, но самое главное – они могут изменяться во времени. Например, вертикальный градиент скорости ветра, температура и влажность способны в несколько раз превышать свои показатели по отношению к вышележащим слоям. В силу небольших габаритов и относительно небольшого веса большинство моделей БЛА весьма чувствительны к изменениям скорости ветра и его порывам. В приземном слое атмосферы скорость ветра с высотой возрастает, однако наблюдается отсутствие изменения его направления [1]. Также на высоте от земли до 5 км содержится большая часть водяного пара атмосферы (порядка 90 %), именно поэтому в приземном слое происходят процессы, связанные с образованием облаков и осадков (дождя, снега, града). Физика этих явлений не изучена. Поэтому изучение влияния метеофакторов на полеты в приземном слое атмосферы весьма актуально. Одной из особенностей приземного слоя атмосферы является переменчивость вектора скорости воздушных масс. В условиях турбулентности вектор скорости частиц воздуха меняется хаотично в пространстве и во времени. Именно от параметров турбулентности зависят такие характеристики состояния воздушных масс, как температура, давление, влажность, плотность.

Цель работы – проанализировать климатические факторы, определяющие пределы использования БЛА в различных погодных условиях.

Оптимальным условием для производства полетов считается температура воздуха 25 °С. При таком показателе аккумулятор БЛА сохраняет максимальную производительность. Использование БЛА при низких температурах снижает срок службы источников питания. Наличие осадков, высокая влажность воздуха, обледенение отрицательно сказываются на работе электронных элементов беспилотника и могут привести к аварийным ситуациям, таким как потеря управления и возгорание, короткое замыкание, запотевание оптических элементов, что, в свою очередь, может привести к потере визуальной ориентировки для эксплуатанта.

При планировании полетов БЛА применяется стандартное давление, которое принято Международной организацией гражданской авиации и равняется 1013,25 Па, или 1 атмосфере на уровне моря [2]. На большинстве коммерческих беспилотников также установлены средства GPS-навигации. Однако подавляющее количество недорогих БЛА, используемых в сельском и лесном хозяйствах, транспортных организациях оснащены достаточно примитивными барометрическими высотомерами, в которых применяется давление QFE – давление уровня аэродрома. В таком случае для пользователя БЛА чрезвычайно важно знать некоторые особенности изменения атмосферного давления в нижних слоях атмосферы. В свою очередь один из важнейших показателей – барическая ступень – также тесно связан с температурой окружающей среды. При оптимальной температуре воздуха для БЛА барическая ступень будет равняться 11,73 м/мм рт. ст. вместо стандартных 11 м/мм рт. ст., которые приняты в гражданской авиации.

В приземном слое атмосферы довольно часто встречается смена ветра с высотой, происходящая по причине уменьшения силы трения при удалении от земной или водной поверхности. Максимальное отклонение ветра влево от изобары можно заметить на высоте до 50 метров, именно на таких высотах эксплуатируется большинство беспилотных аппаратов. Также в этом диапазоне высот используются различные ветровые установки, располагается высотная застройка, трубы предприятий, мачты и башни, которые создают дополнительные неудобства для использования БЛА и служат причиной возникновения дополнительного возмущения потоков воздушных масс.

Различные свойства подстилающей поверхности приводят к ее неравномерному нагреву, что влечет за собой возникновение турбулентных потоков разной интенсивности. В приземном слое могут образовываться вихри различных размеров, динамика развития и движения которых слабо изучена.

Смена однородного потока на турбулентный возникает при потере гидродинамической устойчивости потока, когда отношение сил инерции к силам вязкости превосходит некоторое критическое значение числа Рейнольдса, которое определяется по формуле

$$Re = \frac{\rho v d}{\mu},$$

где ρ – плотность воздуха; v – средняя скорость потока; μ – динамическая вязкость; d – размер потока жидкости. Иногда пользуются кинематической вязкостью, которая определяется по соотношению

$$v = \frac{\mu}{\rho}; \quad Re = \frac{1}{\nu} v d.$$

В то же время вязкость зависит от температуры, поскольку с ее изменением происходит изменение плотности воздуха. Из таблицы 1 видно, что с повышением температуры и плотности кинематическая вязкость уменьшается. Соответственно при повышении температуры число Рейнольдса будет уменьшаться. Как видим, это уменьшение весьма существенно.

Таблица 1 – Зависимость критического числа Рейнольдса от температуры

Температура, °С	ρ , кг/м ³	μ , Н·с/м ² ·10 ⁻⁵	ν , м ² /с·10 ⁻⁵	$Re_{кр} / \nu d$
-20	1,395	1,63	1,17	0,8547
0	1,293	1,71	1,32	0,7576
5	1,269	1,73	1,36	0,7353
10	1,247	1,76	1,41	0,7092
15	1,225	1,80	1,47	0,6803
20	1,204	1,82	1,51	0,6622
25	1,184	1,85	1,56	0,6410
30	1,165	1,86	1,60	0,6250

Ламинарное течение (обтекание) переходит в турбулентное, когда Re становится больше некоторого критического значения числа Рейнольдса. Если задать конкретные значения ν и d , то уве-

личение скорости потока приведет к возникновению турбулентности, следовательно, в атмосфере появятся вихри, которые считаются главными врагами беспилотной авиации.

Также в приземном слое атмосферы существует понятие пограничного слоя, в котором наиболее выражено изменение скорости ветра. В этом слое подстилающая поверхность затормаживает массы воздуха. Обычно увеличение скорости ветра наблюдается в пределах пограничного слоя. Его толщина варьируется в зависимости от профиля местности, подстилающей поверхности, температуры воздуха и силы ветра. По техническим требованиям большинства БЛА их использование не рекомендуется при скорости ветра выше 15 м/с [3].

Увеличение скорости ветра часто возникает в местах перепадов высот при наличии плотной застройки, лесопосадки, гористой местности, искусственных препятствий. Из этого можно сделать вывод, что наиболее подходящими для запуска БЛА являются открытые площадки без ветрозащитных полос. На открытых пространствах перемещение воздуха преимущественно равномерно по скорости и направлению.

Итак, поскольку метеорологическая обстановка существенно зависит от свойств подстилающей поверхности, то именно эта поверхность оказывает определяющее влияние на формирование турбулентных восходящих потоков и в конечном счете на производство полетов БЛА.

Список литературы

- 1 Баранов, А. М. Авиационная метеорология и метеорологическое обеспечение полетов / А. М. Баранов, Г. П. Лешенко, Л. Ю. Белоусова. – М. : Транспорт, 1993. – 567 с.
- 2 Руководство по стандартной атмосфере ИКАО (с верхней границей, поднятой до 80 километров (262 500 футов)). Дос 7488/3. – 3-е изд. – Междунар. организация гражданской авиации, 1993. – 305 с.
- 3 Карлин, Л. Н. Влияние ветра на боевое применение авиации / Л. Н. Карлин, В. И. Акселевич // Авиационная метеорология. – 2006. – С. 5–10.

УДК 620.174.2

ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГИБРИДНЫХ ТИТАН-ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

С. С. ЛОПАТИН, А. В. БАБАЙЦЕВ

Московский авиационный институт (НИИ), Российская Федерация

Сплавы титана обладают малым удельным весом и высокой механической прочностью (особенно при повышенных температурах), что делает их ценными авиационными материалами. В области самолетостроения и производства авиационных двигателей титан всё больше вытесняет алюминий и нержавеющей сталь. В настоящее время разработчики авиационной техники перестраивают всю материаловедческую концепцию строительства самолетов, активно привлекая и используя различные виды композиционных материалов на основе титановых сплавов. В сочетании со свойствами титана композиционные материалы FML на его основе обладают большей ударостойкостью, жёсткостью, термостойкостью, коррозионной стойкостью особенно по сравнению с аналогичными материалами на основе алюминия.

В работе исследуются динамические характеристики гибридных титан-полимерных композиционных материалов (ТПКМ) на основе титанового сплава BT-23 и стеклопластика с кратким приведением основных характеристик препрегов и схемы укладки. Описаны процесс изготовления образцов для испытаний, включая термообработку, схема укладки слоёв и схема армирования в двух вариантах. Представлены результаты экспериментальных исследований собственных частот и коэффициента демпфирования по методу свободных затухающих колебаний при свободных колебаниях пластин ТПКМ. При этом учитывается возможность расслоения, что накладывает ограничение по амплитуде. Испытания проводятся в варианте вертикального нагружения на специально сконструированной установке с триангуляционным датчиком. Испытываются два одинаковых вида образца с разными габаритными размерами по 5 тестов на 3 образца. Физические константы образцов предварительно определены в статических испытаниях. Установлена зависимость изменения коэффициента демпфирования от амплитуды для образцов и найдены собственные частоты, коэффициенты демпфирования.

Работа выполнена при финансовой поддержке государственного проекта Министерства образования и науки РФ «Код проекта FSFF-2023-0007».

ОБ ОДНОЙ МОДЕЛИ НАКОПЛЕНИЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ И ДЕГРАДАЦИИ СВОЙСТВ ДЛЯ СРЕД С РАСШИРЕННЫМ СПЕКТРОМ СВОЙСТВ

М. МАНУН, Л. Н. РАБИНСКИЙ

Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация

Предлагается для моделирования роста поврежденности и эффектов деградации свойств материала использовать вариант вариационной континуальной модели накопления поврежденности. Идея предлагаемой модели изложена в работе [1] и основана на предположении о том, что плотность потенциальной энергии рассматриваемой среды зависит не только от кинематических аргументов (деформаций, градиентов деформаций и пр., но и от скалярного параметра, характеризующего накопленную поврежденность. Эффект деградации механических свойств учитывается путем введения зависимости характеристик материала от параметра поврежденности. В общем случае полагается, что поврежденность исследуемого материала может быть связана и с полями микродефектов, для которых характерна эволюция в процессе нагружения, например, с микродилатационной дефектностью – пористостью. Модель учитывает, в принципе, и эти эффекты путем введения соответствующей плотности потенциальной энергии. Предлагаемый алгоритм учета поврежденности в процессе нагружения сводится к тому, что расширенный функционал Лагранжа позволяет получить связную систему разрешающих уравнений в перемещениях и краевые условия, включающие кинетическое уравнение на параметр поврежденности. В общем случае проблема является физически нелинейной и решается методом последовательных приближений после задания закона деградации физических свойств. В случае введения линейного закона деградации параметр поврежденности определяется через плотность потенциальной энергии, что указывает на физический смысл накопленной поврежденности и зависимость ее от степени сложности используемой модели. На каждом шаге итерационного процесса используется принцип локального равновесия, а процедура построения решения аналогична методу упругих решений.

Рассматривается тестовая задача моделирования процесса поврежденности и эффектов деградации свойств на примере одномерной задачи для стержня длиной L , находящегося под действием одноосной квазистатической нагрузки (рисунок 1).

Рассмотрим плотность потенциальной энергии градиентной поврежденной модели сред, в которой вводится скалярный параметр Ω , характеризующий поврежденность. Положим, что плотность потенциальной энергии W в объеме рассматриваемой среды V (с поверхностью ∂V) определяется равенством

$$W = W_{\Omega} + k_{\Omega} \Omega^n = \frac{1}{2} E_c \varepsilon_x^2 + k_{\Omega} \Omega^n = \frac{1}{2} E_c (u')^2 + k_{\Omega} \Omega^n. \quad (1)$$

Здесь W_{Ω} – плотность потенциальной энергии среды с поврежденным модулем E_c , $\varepsilon_x = u' = \frac{du}{dx}$ – деформация; u – перемещение в направлении оси x ; k_{Ω} – физический параметр закона поврежденности, требующий экспериментального определения. Обобщенное напряжение σ_x определяется линейным соотношением Гука:

$$\sigma_x = E_c \varepsilon_x, \quad (2)$$

E_c считается зависимым от параметра поврежденности Ω . Будем говорить, что зависимость E_c характеризует модель деградации свойств рассматриваемой среды. Постулируем, что имеет место линейная аппроксимация для закона деградации:

$$E_c = [1 - k_E \Omega(\varepsilon_x)] E_o = [1 - k_E \Omega(u')] E_o. \quad (3)$$

Здесь E_o – модуль упругости идеального неповрежденного материала, для которой $\Omega = 0$.

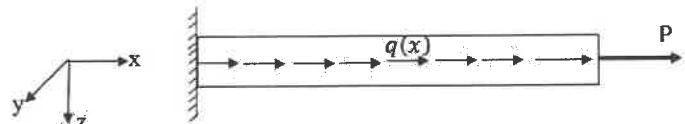


Рисунок 2 – Стержень при одноосном нагружении

Параметр поврежденности зависит от условий нагружения, граничных условий, микропараметров поврежденности, в качестве которых могут быть характеристики полей дефектов, а также, вообще говоря, от иных характеристик, ответственных за эффекты деградации [2, 3]. Следовательно, при реализации итерационного процесса на каждом шаге процесса имеет место изменение модулей упругости вследствие роста поврежденности.

Используя представление (1), сформулируем замкнутую математическую модель, включающую полную систему уравнений деформируемого тела и кинетические уравнения для параметра поврежденности.

Запишем разрешающие уравнения и краевые условия для среды с поврежденностью. Уравнения равновесия и краевые условия в результате получаются на основе вариационного принципа Лагранжа, который имеет вид [4, 5]

$$\delta \mathcal{E} = 0 \rightarrow \delta U - \delta A = 0. \quad (4)$$

Здесь \mathcal{E} – расширенный Лагранжиан; $U = \int_V W dV$ – потенциальная энергия системы; A – работа внешних сил.

Связанная задача определения напряженно-деформированного состояния с учетом поврежденности, которая, в свою очередь, зависит от уровня напряжений, является нелинейной. Для решения проблемы определения поврежденности и учета ее при оценке напряженно-деформированного состояния предлагается использовать процедуру последовательного приближения.

Расчеты, проведенные для тестовых примеров, показывают, что параметр поврежденности устойчиво определяется в процессе итерационных вычислений, оставаясь в интервале от 0 до 1.

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 // Материалы международного научного симпозиума по проблемам механики деформируемых тел (Москва, 20–21 января 2021 г.). – М., 2021. – С. 270–276.
- 2 Дудченко, А. А. Моделирование процессов роста поврежденности и деградации механических свойств слоистых композитов / А. А. Дудченко, С. А. Лурье. – М. : МАИ, 2019. – 160 с.
- 3 Ильюшин, А. А. Механика сплошной среды / А. А. Ильюшин. – М. : Московский университет, 1971. – 248 с.
- 4 Петров, В. В. Нелинейная инкрементальная строительная механика / В. В. Петров. – М. : Инфра-Инженерия, 2014. – 480 с.
- 5 Краснов, М. Л. Вариационное исчисление / М. Л. Краснов, Г. И. Макаренко, А. И. Киселев. – М. : Глав. ред. физ.-мат. лит. изд-ва «Наука», 1973. – 190 с.

УДК 539.422.52

ДЕФОРМИРОВАНИЕ И ПОВРЕЖДЕНИЕ КОМПОЗИТНОЙ ПАНЕЛИ ПРИ УДАРЕ ФРАГМЕНТАМИ ПНЕВМАТИКА АВИАЦИОННОЙ ШИНЫ

М. И. МАРТИРОСОВ, А. В. ХОМЧЕНКО

Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация

ПАО «Яковлев», г. Москва, Российская Федерация

Э. А. ЗАНИНА

ПАО «Яковлев», г. Москва, Российская Федерация

Полимерные композиционные материалы (ПКМ) широко используются в современной авиационной технике (АТ), в том числе и для изготовления основных силовых элементов (ОСЭ). Однако данный тип материалов наряду с множеством достоинств, таких как высокая удельная прочность и жесткость в сочетании с малым весом, высокая износостойкость, возможность создания конструкций, свойства материала которых заданы в соответствии со схемой нагружения и т. д., имеет ряд недостатков. Среди них чувствительность к нагружению из плоскости, особенно к ударам. Ударное воздействие в процессе эксплуатации может быть вызвано дискретными источниками, которые можно разделить на две группы: *твёрдые* – слабо деформируемые при ударе; *мягкие* – сильно де-

формируемые. К твёрдым источникам ударного воздействия можно отнести мелкие камни, металлические детали и инструменты, используемые при регламентных работах, и т. п. К мягким – птиц, град, а также фрагменты пневматика авиационной шины.

В результате воздействия дискретного источника на элемент конструкции из ПКМ в нём могут возникнуть повреждения. Повреждение – это отклонение изделия от нормального состояния, вызванное производственными и эксплуатационными причинами. В соответствии с международной практикой в зависимости от уровня сохранения остаточной прочности, контролепригодности, интервала между осмотрами, условий появления повреждений и некоторыми другими факторами повреждения подразделяются на пять категорий.

К *первой категории* повреждений конструкций из ПКМ можно отнести расслоение или непрочной площадью до 635 мм²; царапину или трещину глубиной до 2 мм и длиной до 10 мм; воздействие градин размером от 10 до 25 мм с энергией до 56 Дж на аэродромной стоянке или при движении самолёта со скоростью, не превышающей крейсерскую скорость полёта с вероятностью не более 10^{-5} за час полёта; ударные повреждения от стального бойка с радиусом закругления 12,5 мм с энергией от 20 до 140 Дж типа вмятин глубиной от 0,3 до 1,0 мм или меньшей (после релаксации размеров). Статическая прочность конструкций с допустимыми повреждениями первой категории после воздействия различных нагрузок должна быть продемонстрирована на протяжении всего периода эксплуатации.

К повреждениям *второй категории* относятся ударное повреждение типа вмятины глубиной до 1–1,5 мм или меньшей (после релаксации размеров) от стального бойка с энергией от 26 до 240 Дж с радиусом закругления 12,5 мм для внутренних элементов и до 50 мм – для внешних элементов при моделировании случаев наезда транспортным средством авиационного обслуживания; воздействие градин диаметром 50 мм с энергией до 36 Дж, либо двигающихся со скоростью, не превышающей крейсерскую скорость полёта самолета с вероятностью не выше 10^{-9} на час полёта; пробоина диаметром до 5 мм от удара стальным бойком с радиусом закругления 2,5 мм. Повреждения второй категории считаются допустимыми, если продемонстрирована надёжность метода целевого комплексного осмотра при заданном интервале, а величина остаточной прочности конструкции с повреждением сохраняется при действии нагрузки, превышающей эксплуатационную.

Повреждения *третьей категории* представляют собой пробоину диаметром 75 мм; ударные повреждения категории 2 при условии их явной обнаруживаемости; отсутствие одного или двух крепёжных элементов в зонах соединений; разрушение одного пути нагружения в статически неопределимой конструкции; трещину или пробоину, обнаруживаемые по течи топлива или падению давления в герметичной части самолёта. В случае повреждения третьей категории требуется обоснование живучести, которое включает демонстрацию надёжного обнаружения повреждения при предполётном и послеполётном визуальном осмотре и сохранение прочности при нагрузке не ниже эксплуатационной или близкой к ней (при выполнении не менее 50 полётов).

Повреждения *четвёртой категории* приводят к ограничению в пилотировании до завершения полёта. Они могут быть вызваны ударом птицы, разрушением вращающихся деталей двигателя с неконтролируемым разлётом обломков, разрывом пневматика из армированной резины колеса шасси, а также ударом градины диаметром от 50 до 64 мм с крейсерской скоростью полёта самолёта. К четвёртой категории относятся двухполётные повреждения всех ОСЭ. Прочность конструкции с повреждениями четвёртой категории может быть обоснована демонстрацией остаточной прочности от статических нагрузок, которые можно ожидать при завершении полёта, в котором имело место повреждение.

Повреждения *пятой категории* не входят в расчетные критерии или процедуры обоснования прочности конструкции и требуют немедленного прекращения эксплуатации самолёта.

В рассматриваемом в данной работе случае повреждение панели из ПКМ при ударе фрагментами пневматика авиационной шины (разрыв покрышки колеса шасси самолета при движении по взлетно-посадочной полосе аэродрома при взлёте или посадке) может относиться ко второй или третьей категории. Для доказательства соответствия прочностных характеристик силовых конструкций АТ из ПКМ сертификационным требованиям, необходимо проведение расчетно-теоретических и экспериментальных работ по методикам, позволяющим показать, что проектируемые конструктивные элементы АТ из ПКМ полностью удовлетворяют предъявляемым требованиям.

В данной работе рассматривается цилиндрическая шарнирно-опёртая прямоугольная в плане панель длиной $a = 540$ мм, шириной $b = 480$ мм и стрелой подъёма $c = 10,7$ мм, выполненная из

однонаправленного углепластика на основе углеродного волокна T300 и эпоксидного связующего PRIME 20 LV. Схема укладки панели симметричная, сбалансированная и смешанная с типовыми углами ± 45 , 0 и 90° , всего в укладке 45 слоёв с толщиной монослоя $\delta = 0,1$ мм. Панель моделируется послойно с использованием объёмных конечных элементов первого порядка. Модель материала «221_MAT_ORTHOTROPIC_SIMPLIFIED_DAMAGE» основана на деформационном критерии разрушения. Соединение монослоёв осуществляется с помощью когезионных элементов – модель материала «138_MAT_COHESIVE_MIXED_MODE».

В качестве нагрузки рассматривается ударное воздействие множественными фрагментами пневматика, число которых варьируется от 1 до 7. Фрагменты имеют форму прямоугольных параллелепипедов, высота которых находится в пределах от 50 до 100 мм, длина – от 70 до 100 мм, ширина – от 30 до 50 мм, и воздействуют на панель по нормали к поверхности. Начальные скорости фрагментов направлены вдоль нормалей к внешней поверхности панели в точках соударения и изменяются в пределах от 15 до 35 м/с. В качестве модели материала фрагментов используется гиперупругая модель «77_MAT_OGDEN_RUBBER», параметры которой определяются экспериментально в соответствии с ГОСТ 270-75.

Для автоматизации процесса в программном комплексе Simcenter Femap (Siemens PLM Software) разработана программа (макрос), позволяющая создавать конечно-элементные модели (КЭМ) с различными параметрами фрагментов пневматика. Данный макрос позволяет создавать КЭМ фрагментов пневматика, размеры которых псевдослучайно изменяются в заданных пользователем пределах. Узлы на геометрической поверхности для построения нормалей, вдоль которых будут ориентированы фрагменты, определяются пользователем.

Разработана методика автоматического послойного моделирования панели из ПКМ в программном комплексе Simcenter3D (Siemens PLM Software) с помощью приложения Laminate Composite с дальнейшим импортом полученной КЭМ в программный комплекс LS-DYNA (ANSYS Inc.). В программном комплексе Simcenter Femap (Siemens PLM Software) разработан пакет программ (макросов) на языке VBA для сохранения ориентации монослоёв при импорте, позволяющий записывать ориентацию элементов в отдельный файл, который в дальнейшем используется для преобразования ориентации монослоёв в LS-DYNA, а также преобразовывать типы конечных элементов из Laminate Solid и Cohesive Solid в Solid.

Решение задачи проведено в LS-DYNA с помощью метода конечных элементов с использованием центрально-разностной схемы интегрирования по времени с автоматическим определением шага согласно критерию Куранта – Фридрихса – Леви. По результатам полученного решения проведён анализ повреждений монослоёв панели по коэффициентам деградации материала. Рассмотрено изменение кинетической энергии фрагментов пневматика, а также их полных перемещений.

УДК 621.793 + 621.762.55

ПОЛУЧЕНИЕ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ $\text{MoSi}_2\text{-HfB}_2$ НА УККМ ИЗ ПОРОШКОВЫХ КОМПОЗИЦИЙ $\text{MoSi}_2\text{-HfB}_2\text{-Si}$, $\text{MoSi}_2\text{-HfSi}_2\text{-SiB}_4$ И $\text{MoSi}_2\text{-HfB}_2\text{-HfSi}_2\text{-SiB}_4$

*А. И. МАТУЛЯК, А. Н. АСТАПОВ, В. А. ПОГОДИН, А. Н. ТАРАСОВА
Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация*

Данная работа является продолжением исследований о возможности получения жаростойких защитных покрытий на основе системы $\text{MoSi}_2\text{-HfB}_2$ на углерод-керамических композиционных материалах (УККМ) класса C/C-SiC с помощью реакционного синтеза in situ [1, 2].

На данный момент проведен синтез покрытий из порошковых систем $\text{MoSi}_2\text{-HfB}_2\text{-Si}$, $\text{MoSi}_2\text{-HfSi}_2\text{-SiB}_4$ и $\text{MoSi}_2\text{-HfB}_2\text{-HfSi}_2\text{-SiB}_4$ при температуре 1620°C и остаточном давлении аргона ~ 100 Па. Структурно-фазовые исследования синтезированных слоев выполнены с помощью сканирующей электронной микроскопии, энергодисперсионной спектроскопии и рентгеновского фазового анализа.

Микроструктура покрытия, синтезированного из порошковой композиции в системе $\text{MoSi}_2\text{-HfB}_2\text{-Si}$, представлена в виде высокопористого слоя, состоящего из частично спеченных зерен MoSi_2 с равномерно распределенными дисперсными частицами HfB_2 , Si и SiC (следы). Дисперсность частиц MoSi_2 составляет ~ 10 мкм, а средний размер частиц HfB_2 – 1–5 мкм, у агломератов

HfB₂ – 10–12 мкм. Образование вторичной фазы SiC происходит за счет реакционного взаимодействия кремния с углеродом, который появляется в системе в результате диффузии из подложки и в качестве остатка при пиролизе связующего.

При синтезе покрытий из реакционных систем MoSi₂–HfSi₂–SiB₄ и MoSi₂–HfB₂–HfSi₂–SiB₄ образуются пористые слои с аналогичным равномерно распределенным по объему фазовым составом: MoSi₂, HfB₂, Si и SiC (следы). В обоих слоях структура представлена фрагментарно спеченными зернами MoSi₂ с равномерно распределенными в них частицами HfB₂ в виде дисперсных полиэдрических образований, а также в виде тонких игл. Предполагаем, что синтез полиэдрических частиц HfB₂ размером от 5 до 10 мкм, а также их последующий рост и спекание происходят в условиях наличия значительного количества жидкой фазы, образующейся при нагреве. По мере снижения доли жидкой фазы в результате увеличения полноты конверсии реагентов морфология формирующихся частиц сменяется на тонкие иглы длиной < 2 мкм. Стоит отметить, что в системе MoSi₂–HfSi₂–SiB₄ жидкофазное спекание протекало лучше, что подтверждается большей долей сплошных участков в структуре синтезированного слоя, чем для слоя, полученного из композиции MoSi₂–HfB₂–HfSi₂–SiB₄. Это вызвано тем, что в системе MoSi₂–HfSi₂–SiB₄ отсутствуют исходные частицы HfB₂, наличие которых снижало бы площадь поверхности контакта между реагентами в расплаве и препятствовало бы увеличению сплошности структуры в результате спекания.

Также в работе предложены механизмы реакционного взаимодействия в системах MoSi₂–HfSi₂–SiB₄ и MoSi₂–HfB₂–HfSi₂–SiB₄ и выявлены причины высокой пористости синтезированных слоев. Механизмы реакционного взаимодействия включают перитектоидное разложение SiB₄ на SiB₆ и Si, образование расплава L₁ в системе Si–B, инконгруэнтное плавление HfSi₂ с образованием расплава L₂ и фазы HfSi, смешение расплавов L₁ и L₂, конгруэнтное растворение SiB₆ и HfSi в расплаве с одновременным химическим взаимодействием между Hf и B, Si и C.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-19-00352.

Список литературы

1 Матуляк, А. И. Получение покрытий на УККМ из порошковых композиций MoSi₂–HfB₂–Si, MoSi₂–HfSi₂–SiB₄ и MoSi₂–HfB₂–HfSi₂–SiB₄ / А. И. Матуляк // Гагаринские чтения : сб. тезисов 50-й Междунар. молодежной науч. конф. – М. : Перо, 2024. – С. 596–597.

2 Получение покрытия на C/C–SiC композите из порошковой композиции Mo–HfSi₂–SiB₄ методом реакционного синтеза in situ / А. Н. Астапов [и др.] // Электротехнология. – 2024. – № 2. – С. 2–12.

УДК 539.3

ИЗГИБ ПРЯМОУГОЛЬНОЙ СЭНДВИЧ-ПЛАСТИНЫ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ МАТЕРИАЛАХ ЗАПОЛНИТЕЛЯ

А. С. МЕЛЬНИКОВА, А. Г. КОЗЕЛ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Сэндвич-панель – строительный материал, имеющий трёхслойную структуру, состоящую из двух листов жёсткого материала и слоя заполнителя между ними. Трёхслойные сэндвич-панели находят широкое применение в различных секторах строительства: в промышленном строительстве, при возведении сельскохозяйственных объектов, в жилищном строительстве и коммерческой недвижимости. Спрос на трёхслойные конструкции в строительстве обусловлен несколькими факторами. В первую очередь это энергоэффективность и долговечность, что особенно важно в условиях холодного климата. Во-вторых, такие конструкции удобны в монтаже и неприхотливы в эксплуатации, что позволяет экономить значительные средства в процессе эксплуатации. При выборе материала заполнителя для сэндвич-панелей акцентируют внимание не только на прочностных характеристиках, но и на стоимости материала заполнителя. Здесь же рассмотрим прогибы несущих слоёв сэндвич-пластины при использовании в качестве заполнителя пенополиуретана, пенопласта и фторопласта.

В [1] исследован спектр частот трёхслойной цилиндрической оболочки с упругим наполнителем. Деформирование трёхслойных стержней и пластин при температурном воздействии рассмотрено в работах [2–5]. В [6] выполнен анализ динамики и прочности пакетов сэндвич-панелей как

трехслойных конструкций под действием нагрузок, приводящих к значительным деформациям при длительной транспортировке. Статьи [7–8] посвящены исследованию сэндвич-пластин при изменении внешних слоёв и жёсткости основания. В [9–10] исследовано деформирование трёхслойных конструкций при действии различных нагрузок.

Рассматривается несимметричная по толщине упругая трёхслойная прямоугольная пластина, состоящая из двух несущих слоёв и сжимаемого заполнителя. Несущие слои выполнены из материалов высокой прочности и жёсткости, так как этими слоями воспринимается основная часть механической нагрузки, приходящейся на пластину. Заполнитель служит для образования монолитной конструкции, гарантирует перераспределение усилий между несущими слоями, тем самым обеспечивает совместную работу слоёв пластины.

Для изотропных несущих слоёв приняты гипотезы Кирхгофа. Материалы несущих слоёв несжимаемы в поперечном направлении. В жестком заполнителе перемещения по толщине изменяются линейно, также учитывается обжатие заполнителя. Постановка и аналитическое решение рассматриваемой задачи приведено в [9].

В качестве материала заполнителя рассмотрим:

- пенопласт – синтетический материал, состоящий из вспененного полистирола. Он обладает низкой теплопроводностью, лёгкостью, прочностью, водостойкостью и долговечностью;
- пенополиуретан – современный материал, который представляет собой жидкую смесь из полиола и изоцианата. Он обладает высокой теплоизоляционной способностью, водостойкостью, прочностью, эластичностью и долговечностью;
- фторопласт – полимерный материал с высоким содержанием фтора, который применяется в различных сферах промышленности. Он обладает стойкостью к химически агрессивным реагентам, низкими коэффициентами трения, негорючестью и устойчивостью к воздействию температурных перепадов.

Численное решение было получено с помощью MathCad. Рисунок 1 иллюстрирует изменение прогибов несущих слоёв при следующих материалах заполнителя: 1 – пенополиуретан, 2 – пенопласт, 3 – фторопласт. Несущие слои выполнены из Д16Т. Нагрузка равномерно распределена по всей поверхности пластины интенсивностью $q = -1$ МПа, размеры пластины $l_x = 1$ м, $l_y = 1$ м, $h_1 = 0,04$ м, $h_2 = 0,02$ м, $h_3 = 0,4$ м. При численной апробации решения использовали механические характеристики материалов, приведенные в [11, с. 24].

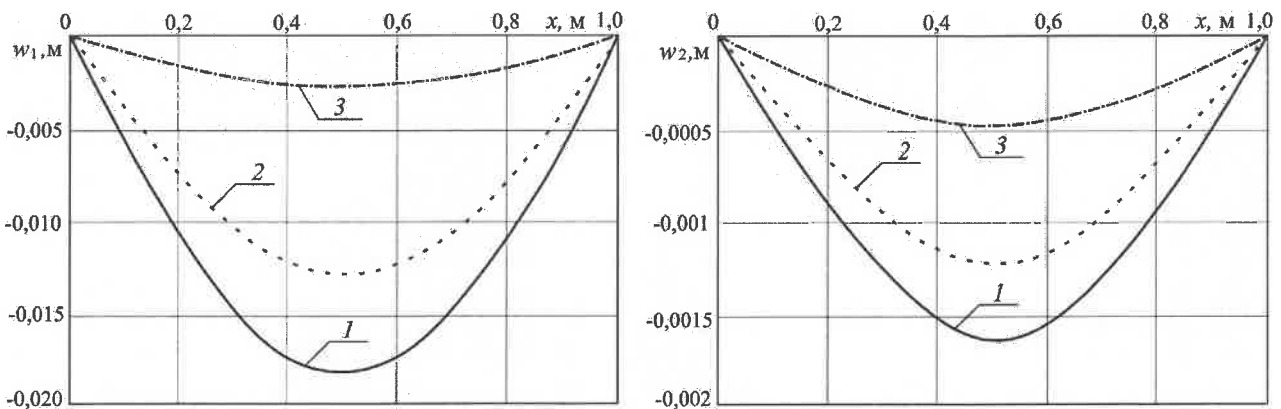


Рисунок 1 – Прогибы несущих слоёв пластины при различных материалах заполнителя:
1 – пенополиуретан; 2 – пенопласт; 3 – фторопласт

Так как наибольшими упругими характеристиками обладает фторопласт, а наименьшими пенополиуретан, то была обнаружена следующая зависимость: чем меньше упругие механические характеристики материала заполнителя, тем больше прогибы несущих слоёв. И наоборот, при применении материала заполнителя с большими механическими характеристиками наблюдается уменьшение прогибов несущих слоёв.

Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского Республиканского фонда фундаментальных исследований (проект № Т24РМ-004).

Список литературы

- 1 Леоненко, Д. В. Исследование спектра частот трехслойной цилиндрической оболочки с упругим наполнителем / Д. В. Леоненко, Э. И. Старовойтов // Механика композиционных материалов и конструкций. – 2015. – № 2. – С. 162–169.
- 2 Старовойтов, Э. И. Деформирование трехслойного стержня в температурном поле / Э. И. Старовойтов, Д. В. Леоненко // Механика машин, механизмов и материалов. – 2013. – № 1 (22). – С. 31–35.
- 3 Леоненко, Д. В. Изгиб ступенчатой круговой сэндвич-пластины при тепловом нагружении / Д. В. Леоненко // Механика. Исследования и инновации. – 2022. – № 15. – С. 123–127.
- 4 Козел, А. Г. Термоупругопластический изгиб трехслойной круговой пластины на основании Пастернака / А. Г. Козел // Механика. Исследования и инновации. – 2022. – № 15. – С. 100–108.
- 5 Зеленая, А. С. Цилиндрический изгиб упругопластической прямоугольной трехслойной пластины со сжимаемым наполнителем в температурном поле / А. С. Зеленая // Проблемы физики, математики и техники. – 2019. – № 1 (38). – С. 45–49.
- 6 Шимановский, А. О. Моделирование колебаний и напряженно-деформированного состояния пакетов сэндвич-панелей при их транспортировке / А. О. Шимановский, И. Е. Кракова // Строительная механика и конструкции. – 2022. – № 4 (35). – С. 49–57.
- 7 Козел, А. Г. Влияние сдвиговой жёсткости основания на напряжённое состояние сэндвич-пластины / А. Г. Козел // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2018. – № 6 (332). – С. 25–35.
- 8 Черняк, А. В. Изгиб сэндвич-пластины с внешними слоями, линейно изменяющимися по толщине / А. В. Черняк // Механика. Исследования и инновации. – 2022. – № 15. – С. 235–240.
- 9 Зеленая, А. С. Деформирование упругой трехслойной прямоугольной пластины со сжимаемым наполнителем / А. С. Зеленая // Известия Гомельского гос. ун-та им. Ф. Скорины. Естественные науки. – 2017. – № 6 (105). – С. 89–95.
- 10 Нестерович, А. В. Деформирование трехслойной круговой пластины при косинусоидальном нагружении в своей плоскости / А. В. Нестерович // Проблемы физики, математики и техники. – 2020. – № 1 (42). – С. 85–90.
- 11 Старовойтов, Э. И. Трехслойные стержни в терморadiационных полях / Э. И. Старовойтов, М. А. Журавков, Д. В. Леоненко. – Минск : Беларуская навука, 2017. – 275 с.

УДК 539.375

ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЕ В СТРИНГЕРНОЙ ПЛАСТИНЕ С КРУГОВЫМ ОТВЕРСТИЕМ

М. В. МИР-САЛИМ-ЗАДЕ

Институт математики и механики, г. Баку, Азербайджан

Рассмотрена бесконечная изотропная упругая пластина, ослабленная круговым отверстием радиуса R . К пластине прикрепаны поперечные упругие ребра жесткости. Контур кругового отверстия свободен от внешних усилий. На бесконечности пластина подвержена однородному растяжению вдоль стрингеров напряжением $\sigma_y^\infty = \sigma_0$. Действие прикрепанных стрингеров в расчетной схеме заменяется неизвестными эквивалентными сосредоточенными силами, приложенными в местах расположения точек крепления.

По мере нагружения пластины силовой нагрузкой в ней будут возникать зоны предразрушения, которые моделируются как области ослабленных межчастичных связей материала. Принято, что (область) полоса предразрушения ориентирована в направлении максимальных растягивающих напряжений, возникающих в стрингерной пластине. Взаимодействие берегов зоны предразрушения моделируется связями между ними, имеющими заданную диаграмму деформирования. Физическая природа связей и размеры полосы предразрушения зависят от вида материала пластины. Считается, что закон деформирования связей задан. В общем случае он представляет собой нелинейный закон деформирования.

В исследуемом случае зарождение трещины представляет собой процесс перехода области предразрушения в область разорванных связей между поверхностями материала. Так как зона предразрушения мала по сравнению с остальной частью подкрепленной пластины, ее можно мысленно удалить, заменив разрезом поверхности (взаимодействуют между собой по некоторому закону, соответствующему действию удаленного материала). Рассмотрим полосу предразрушения длины l , исходящую из поверхности кругового отверстия и расположенную на отрезке оси абсцисс $y = 0$, $R \leq x \leq R + l$. Берега полосы предразрушения взаимодействуют, что сдерживает зарождение трещины. Считается, что между берегами имеются связи (силы сцепления). При действии внешних нагрузок на пластину в связях будут возникать усилия $p(x)$, имеющие из-за симметрии задачи относительно оси абсцисс только нормальную составляющую. Следовательно, к берегам полосы предразрушения будут приложены неизвестные нормальные напряжения, численно равные $p(x)$.

Граничные условия в рассматриваемой задаче имеют следующий вид:

$$\begin{aligned} \sigma_r - i\tau_{r\theta} = 0 & \text{ при } |z| = R \text{ на контуре отверстия;} \\ \sigma_y - i\tau_{xy} = p(x) & \text{ при } y = 0, \quad R \leq x \leq R + l. \end{aligned}$$

Основные соотношения задачи должны быть дополнены уравнением, связывающим перемещение раскрытия берегов полосы предразрушения и усилия в связях:

$$v^+(x, 0) - v^-(x, 0) = C(x, p(x))p(x). \quad (1)$$

Здесь функцию $C(x, p)$ можно рассматривать как эффективную податливость связей, зависящую от их натяжения. При постоянных значениях $C(x, p)$ имеем в (1) линейный закон деформирования.

На основании формул Колосова – Мухелишвили [1] и краевых условий на контуре кругового отверстия и берегах полосы предразрушения задача сводится к определению двух аналитических функций $\Phi(z)$ и $\Psi(z)$ комплексного переменного $z = x + iy$ из граничных условий

$$\Phi(\tau) + \overline{\Phi(\tau)} - [\overline{\tau}\Phi'(\tau) + \Psi(\tau)]e^{2i\theta} = 0, \quad (2)$$

$$\Phi(t) + \overline{\Phi(t)} + \overline{t}\Phi'(t) + \Psi(t) = p(x) \text{ при } R \leq x \leq R + l. \quad (3)$$

Решение краевой задачи (2), (3) ищем в виде

$$\Phi(z) = \Phi_0(z) + \Phi_1(z) + \Phi_2(z), \quad \Psi(z) = \Psi_0(z) + \Psi_1(z) + \Psi_2(z). \quad (4)$$

Здесь потенциалы $\Phi_0(z)$ и $\Psi_0(z)$ определяют поле напряжений и деформаций в сплошной бездефектной подкрепленной пластине под действием системы сосредоточенных сил P_{mn} и σ_0 . Функции $\Phi_1(z)$ и $\Psi_1(z)$ ищем в виде

$$\Phi_1(z) = \frac{1}{2\pi} \int_{L_1} \frac{g(t)}{t-z} dt, \quad L_1 = [R, d], \quad d = R + l; \quad \Psi_1(z) = \frac{1}{2\pi} \int_{L_1} \left[\frac{g(t)}{t-z} - \frac{tg(t)}{(t-z)^2} \right] dt,$$

где $g(t)$ – искомая функция:

$$g(x) = \frac{2\mu}{1+\kappa} \cdot \frac{d}{dx} [v^+(x, 0) - v^-(x, 0)] \text{ на участке } R \leq x \leq d; \quad (5)$$

Неизвестная функция $g(x)$ и комплексные потенциалы $\Phi_2(z)$ и $\Psi_2(z)$ определяются из краевых условий (2), (3). Для решения этой граничной задачи используется метод Н. И. Мухелишвили [1]. Требуя, чтобы функции (4) удовлетворяли краевому условию (3) на полосах предразрушения, получаем сингулярное интегральное уравнение относительно $g(x)$, содержащее неизвестные величины сосредоточенных сил P_{mn} и усилия $p(x)$.

С помощью закона Гука для искоемых величин сосредоточенных сил P_{mn} получены бесконечные системы уравнений.

Для построения решения сингулярного интегрального уравнения использовался метод прямого решения интегральных уравнений [2]. Сингулярное интегральное уравнение с помощью процедуры алгебраизации [3] сводится к системе алгебраических уравнений для M неизвестных $g^0(\tau_m)$ ($m = 1, 2, \dots, M$), в которые входят неизвестные значения напряжений $p(x)$ в узловых точках, принадлежащих полосе предразрушения. На основании соотношений (1) и (5) имеем

$$-\frac{1+\kappa}{2\mu} \int_l^x g(x) dx = C(x, p(x))p(x). \quad (6)$$

Для построения недостающих уравнений потребуем выполнения условий (6) в узловых точках, содержащихся в полосе предразрушения (R, d). В результате получили алгебраическую систему из M уравнений для определения приближенных значений $p(\eta_m)$ ($m = 1, 2, \dots, M$).

Полученные алгебраические системы оказались связанными и должны решаться совместно. Для замкнутости полученной системы не хватает одного уравнения, определяющего размер полосы предразрушения. Таким условием является условие конечности напряжений в вершине полосы предразрушения ($x = d$). Из-за неизвестного размера l полученная алгебраическая система даже при

линейных связях оказалась нелинейной. По этой причине для решения полученной системы в случае линейных связей использовался метод последовательных приближений. В случае нелинейного закона деформирования связей для определения усилий в связях использовался также алгоритм, подобный методу упругих решений [4].

Для определения предельно-равновесного состояния вершины полосы предразрушения необходимо дополнительное критическое условие. В качестве такого условия принималось условие предельного раскрытия берегов полосы предразрушения. Принято, что разрыв связей на краю полосы предразрушения $x = R$ происходит при выполнении условия

$$v^+(R, 0) - v^-(R, 0) = \delta_c,$$

где δ_c – предельная длина (вытяжка) связи.

Совместное решение полученных систем уравнений позволяет (при заданных характеристиках связей) найти критическую внешнюю нагрузку, при которой происходит появление трещины.

Аналогично решена задача о зарождении двух трещин в направлении максимальных растягивающих напряжений, т. е. рассмотрены две полосы предразрушения на отрезках $y = 0$, $R \leq |x| \leq R + l$.

Список литературы

- 1 Мухелишвили, Н. И. Некоторые основные задачи математической теории упругости / Н. И. Мухелишвили. – М.: Наука, 1966. – 707 с.
- 2 Каландия, А. И. Математические методы двумерной упругости / А. И. Каландия. – М.: Наука, 1973. – 304 с.
- 3 Мирсалимов, В. М. Неоднородные упругопластические задачи / В. М. Мирсалимов. – М.: Наука, 1987. – 256 с.
- 4 Ильюшин, А. А. Пластичность / А. А. Ильюшин. – М.: Логос, 2004. – 376 с.

УДК 532.516:539.3

НЕЛИНЕЙНЫЕ ВОЛНЫ В УПРУГОЙ ОБОЛОЧКЕ С ВЯЗКИМ ГАЗОМ ВНУТРИ

Л. И. МОГИЛЕВИЧ, Е. В. ПОПОВА, А. И. ЗЕМЛЯНУХИН, В. С. ПОПОВ

*Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю. А.,
Российская Федерация*

Рассмотрена осесимметричная задача о волновом процессе в бесконечной упругой оболочке, заполненной вязким газом. Волновой процесс в упругой оболочке исследован в [1] при ее непологости, но с частичным учетом моментной теории оболочек. В [2] асимптотически показано, что для бесконечно длинной оболочки волновые процессы исследуются в рамках безмоментной теории. Оба эти фактора позволяют записать уравнения динамики рассматриваемой оболочки как [3]:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial x} \left[\left(\frac{\partial u}{\partial x} - \mu_0 \frac{w}{R} \right) \left(1 + \frac{\partial u}{\partial x} \right) \right] - \frac{\rho_0 (1 - \mu_0^2)}{E} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} &= - \frac{\rho_0 (1 - \mu_0^2)}{E h_0} q_x, \\ \frac{1}{R} \left[\left(\mu_0 \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{w}{R} \right) \left(1 - \frac{w}{R} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial x} \left[\left(\frac{\partial u}{\partial x} - \mu_0 \frac{w}{R} \right) \frac{\partial w}{\partial x} \right] - \frac{\rho_0 (1 - \mu_0^2)}{E} \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} &= - \frac{\rho_0 (1 - \mu_0^2)}{E h_0} q_n, \end{aligned} \quad (1)$$

где x – продольная координата; t – время; u – продольное перемещение оболочки; w – прогиб оболочки, положительный к центру ее кривизны; h_0 – толщина оболочки; R – радиус ее срединной поверхности; E , ρ_0 , μ_0 – модуль Юнга, плотность и коэффициент Пуассона материала оболочки; q_x и q_n – продольное и нормальное поверхностные напряжения со стороны газа.

Напряжения q_x и q_n снесены на срединную поверхность оболочки и имеют вид [4]

$$q_x = -\mu \left(\frac{\partial v_x}{\partial r} + \frac{\partial v_r}{\partial x} \right)_{r=R}, \quad q_n = \left[-p + 2\mu \frac{\partial v_r}{\partial r} - \frac{2}{3} \mu \left(\frac{\partial v_r}{\partial r} + \frac{v_r}{r} + \frac{\partial v_r}{\partial x} \right) \right]_{r=R}. \quad (2)$$

Здесь v_x , v_r – компоненты вектора скорости газа в цилиндрической системе координат; p – давление газа; μ – динамический коэффициент вязкости газа.

Уравнения динамики газа при его ползущем течении имеют вид [4]

$$\begin{aligned}\frac{\partial p}{\partial r} &= \mu \left(\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial V_r}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 V_r}{\partial x^2} - \frac{V_r}{r^2} \right) + \frac{1}{3} \mu \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r V_r) + \frac{\partial V_z}{\partial x} \right), \\ \frac{\partial p}{\partial z} &= \mu \left(\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial V_x}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 V_x}{\partial x^2} \right) + \frac{1}{3} \mu \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r V_r) + \frac{\partial V_x}{\partial x} \right), \\ \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r p V_r) + \frac{\partial}{\partial x} (p V_x) &= 0.\end{aligned}\quad (3)$$

Считаем состояние газа изотермическим, т. е. $p / \rho = a^2 = \text{const}$, где a – изотермическая скорость звука в газе.

Граничные условия уравнений (3) – суть условия прилипания газа:

$$V_x = \frac{\partial U}{\partial t}, \quad V_r = -\frac{\partial W}{\partial t} \quad \text{при } r = R - W, \quad (4)$$

а также условия на оси симметрии, сформулированные и обоснованные Могилевичем Л. И. в [5],

$$r \frac{\partial V_x}{\partial r} = 0, \quad r \frac{\partial V_r}{\partial r} = 0 \quad \text{при } r = 0. \quad (5)$$

Проводя асимптотический анализ сформулированной задачи аэроупругости аналогично [5], при схожем выборе безразмерных переменных и малых параметров и переходя к уравнениям тонкого цилиндрического слоя вязкого газа аналогично [6], получено следующее эволюционное уравнение для рассматриваемой оболочки в безразмерном виде:

$$\frac{\partial^2 u_{10}}{\partial \xi \partial \tau} + \sqrt{1 - \mu_0^2} \frac{\partial u_{10}}{\partial \xi} \frac{\partial^2 u_{10}}{\partial \xi^2} + \frac{\mu_0^2 \sqrt{1 - \mu_0^2}}{2} \frac{\partial^4 u_{10}}{\partial \xi^4} = -\frac{1}{2\sqrt{1 - \mu_0^2}} \frac{l}{\varepsilon^2 \rho_0 h_0 c_0^2} \left[q_x - \mu_0 \frac{R}{l} \frac{\partial q_n}{\partial \xi} \right]_{r^*=1} \quad (6)$$

и безразмерные уравнения динамики вязкого газа

$$\frac{\partial P^0}{\partial r^*} = 0, \quad \frac{\partial P^0}{\partial x^*} = \frac{1}{r^*} \frac{\partial}{\partial r^*} \left(r^* \frac{\partial v_x^0}{\partial r^*} \right), \quad \frac{\text{Ma}^2}{\text{Re}} \frac{\partial P^0}{\partial t^*} + \frac{1}{r^*} \frac{\partial}{\partial r^*} (r^* v_r^0) + \frac{\partial v_x^0}{\partial x^*} = 0, \quad (7)$$

с граничными условиями

$$\begin{aligned}r^* \frac{\partial v_r^0}{\partial r^*} = r^* \frac{\partial v_x^0}{\partial r^*} &= 0 \quad \text{при } r^* = 0, \\ v_r^0 = -\frac{\partial u_3}{\partial t^*}, \quad v_x^0 = \frac{\partial u_1}{\partial t^*} &\quad \text{при } r^* = 1.\end{aligned}\quad (8)$$

Здесь $\xi = x^* - (1 - \mu_0^2)^{1/2} t^*$, $\tau = \varepsilon t^*$, $\text{Ma} = c_0^2 / a_0^2$, $\text{Re} = \rho_{00} c_0 \varepsilon l / \mu$, $c_0 = E / (\rho_0 (1 - \mu_0^2)^{1/2})$ – скорость распространения линейных упругих волн в оболочке; a_0 – изотермическая скорость звука в газе в невозмущенном состоянии; ρ_{00} – плотность газа в невозмущенном состоянии; $\varepsilon = h_0 / R$ – малый параметр задачи; l – длина волны, принимаемая за характерный линейный размер; u_{10} – безразмерное продольное перемещение оболочки; v_x , v_r – безразмерные компоненты вектора скорости газа; P^0 – безразмерное давление газа. Параметры с верхним индексом * соответствуют безразмерным координатам и времени.

Заметим, что при отсутствии газа внутри оболочки последние два члена в правой части (6) равны нулю. В результате получается уравнение Кортевега де Вриза для $\partial u_{10} / \partial \xi$, которое имеет точное решение в виде уединенной волны, являющейся солитоном.

Задача (7), (8) решалась методом итерации аналогично [6] и, на основе полученного решения, правую часть (6) представили в виде

$$\left[q_x - \mu_0 \frac{R}{l} \frac{\partial q_n}{\partial \xi} \right]_{r^*=1} = \frac{\mu \varepsilon c_0}{R} \left[4\sqrt{1 - \mu_0^2} (1 - 2\mu_0)^2 \frac{\partial u_{10}}{\partial \xi} - 32 \frac{\text{Ma}^2}{\text{Re}} (1 - \mu_0^2) (1 - 2\mu_0)^2 u_{10} \right].$$

В результате получено новое эволюционное уравнение нелинейного волнового процесса в рассматриваемой оболочке

$$\frac{\partial^2 u_{10}}{\partial \xi \partial \tau} + \sqrt{1 - \mu_0^2} \frac{\partial u_{10}}{\partial \xi} \frac{\partial^2 u_{10}}{\partial \xi^2} + \frac{\mu_0^2 \sqrt{1 - \mu_0^2}}{2} \frac{\partial^4 u_{10}}{\partial \xi^4} + \frac{2\mu l (1 - 2\mu_0)^2}{\varepsilon R \rho_0 h_0 c_0} \frac{\partial u_{10}}{\partial \xi} - 16 \frac{\text{Ma}^2}{\text{Re}} \frac{\mu l \sqrt{1 - \mu_0^2} (1 - 2\mu_0)^2}{\varepsilon R \rho_0 h_0 c_0} u_{10} = 0, \quad (9)$$

решение которого возможно только численное. Для реализации численного решения может быть предложен подход перехода к адекватной разностной схеме при помощи техник базисов Гребнера [7, 8], использованный в [2, 5].

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-29-00071.

Список литературы

1 **Zemlyanukhin, A. I.** Physically Admissible and Inadmissible Exact Localized Solutions in Problems of Nonlinear Wave Dynamics of Cylindrical Shells / A. I. Zemlyanukhin, A. V. Bochkarev, N. A. Artamonov // *Rus. J. Nonlin. Dyn.* – 2024. – Vol. 20, no. 2. – P. 219–229.

2 Solitary deformation waves in two coaxial shells made of material with combined nonlinearity and forming the walls of annular and circular cross-section channels filled with viscous fluid / L. I. Mogilevich [et al.] // *Izvestiya VUZ. Applied Nonlinear Dynamics.* – 2024. – Vol. 32, no. 4. – P. 521–540.

3 **Вольмир, А. С.** Нелинейная динамика пластинок и оболочек / А. С. Вольмир. – М.: Наука, 1972. – 432 с.

4 **Лойцянский Л. Г.** Механика жидкости и газа / Л. Г. Лойцянский. – М.: Дрофа, 2003. – 840 с.

5 Эволюция уединенных гидроупругих волн деформации в двух коаксиальных цилиндрических оболочках с физической нелинейностью Шамеля / Ю. А. Блинков [и др.] // *Вычислительная механика сплошных сред.* – 2023. – Т. 16, № 4. – С. 430–444.

6 **Попов, В. С.** Колебания стенки канала на нелинейно-упругом подвесе под воздействием пульсирующего слоя вязкого газа, находящегося в канале / В. С. Попов, Л. И. Могилевич, А. А. Попова // *Известия высших учебных заведений. Радиофизика.* – 2023. – Т. 66, № 10. – С. 821–834.

7 **Gerdt, V. P.** Gröbner bases and generation of difference schemes for partial differential equations / V. P. Gerdt, Yu. A. Blinkov, V. V. Mozhilkin // *SIGMA.* – 2006. – Vol. 2. – Art. no. 051.

8 **Блинков, Ю. А.** Дискретизация квазилинейных эволюционных уравнений методами компьютерной алгебры / Ю. А. Блинков, В. П. Гердт, К. Б. Маринов // *Программирование.* – 2017. – № 2. – С. 28–34.

УДК 539.3

ИЗНОС И НАПРЯЖЕНИЯ В ПОКРЫТИЯХ ЗУБЬЕВ ИЗ ОРТОТРОПНОГО МАТЕРИАЛА ПРИ КОНТАКТНОМ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ В ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧАХ

В. В. МОЖАРОВСКИЙ, Д. С. КУЗЬМЕНКОВ, С. В. КИРГИНЦЕВА

Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины, Республика Беларусь

Зубчатые колеса считаются очень важной частью взаимодействующих элементов деталей машин в машиностроении и на транспорте. Для зубчатых колес используются многочисленные покрытия, которые обеспечивают защиту их к износу. В настоящем исследовании ограничимся рассмотрением покрытий из композитов, в которых материал покрытия обладает анизотропными свойствами, а основание – изотропными.

В данной работе развиты математические и численные модели и теории о контактном взаимодействии изотропных и анизотропных цилиндрических тел (в том числе с покрытиями), которые применимы для построения методики по расчету износа, напряженного состояния и деформативности зубьев зубчатых колес из композитов. Принципиальная схема взаимодействия элементов зубчатых передач показана на рисунке 1.

Износ и напряжения в зубьях и в покрытиях из ортотропного материала при взаимодействии зубьев определяется по разработанной методике [1–3].

Теоретической основой реализации поставленной задачи являются решения о контактном взаимодействии цилиндров с ортотропным покрытием, которые моделируют контакт зубьев зубчатых колес. В работах [1, 2] дана методика расчета параметров контакта и напряжений при взаимодействии жесткого цилиндра с ортотропным покрытием. Для определения линейного износа зубьев с покрытием необходимо знать размеры зоны контакта, которые легко можно определить исходя из графиков на рисунке 2.



Рисунок 1 – Схема, моделирующая контакт зубьев с покрытием

На рисунке 2 приведены зависимости изменения зоны контакта $\tilde{a} = a/a_0$ от a/h , где $a_0 = \sqrt{\frac{2PR}{\pi m}}$ – полуширина площадки контакта при контакте с ортотропным цилиндром $m = 1 / \left\{ [(\beta_1 + \beta_2) S_{22}]^{(1)} \right\}$,

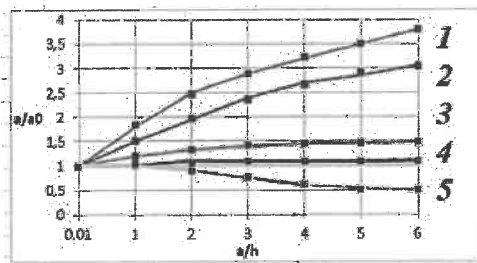


Рисунок 2 – Зависимость относительной полуширины площадки контакта a/a_0 от a/h .
Отношение модулей упругости ортотропного покрытия к основанию E_2/E_1 :
1 – 24; 2 – 12; 3 – 2,5; 4 – 1; 5 – 0,05

основные обозначения используемых параметров представлены в [1, 2]. Полученные результаты являются оценочными, они показывают качественное влияние упругих свойств материалов и их упругих соотношений на параметры контакта и могут использоваться в инженерных расчетах.

Следует отметить, что расчет параметров контакта (зон контакта, напряжений, износа и т. д.) применительно к работе таких передач, как зубчатые колеса из композитов, является многопрофильным, включает расчеты, связанные с напряжениями зубьев и трибологическими отказами, такими как износ. Для автоматизации процесса расчета на износ зубьев создана компьютерная программа, по которой можно прогнозировать

и определять ресурс работы такой передачи, делать визуализацию результатов расчета в виде графических зависимостей, таблиц и т. д.

Для расчета параметров контакта при взаимодействии зубьев зубчатых колес, в которых одно колесо имеет покрытие из композита, жестко скрепленного с упругим основанием, а другое – металлическое (изотропное), необходимо рассмотреть следующие математические модели контактного взаимодействия:

- а) теоретическое описание контакта жесткого цилиндра с изотропным цилиндром, имеющим покрытие из композита;
- б) теоретическое описание контакта упругого (изотропного) цилиндра с изотропным цилиндром, имеющим покрытие из композита;

Для дальнейшего исследования рассмотрим более подробно расчет параметров контакта, принимая модель «а» (см. рисунок 1).

Например, рассмотрен расчет износа зубьев зубчатого колеса с покрытиями из волокнистого материала на упругом основании по созданной программе [3]. Формула для определения линейного износа зубьев зубчатого колеса из композита при заданной интенсивности износа I будет $h_{\text{изн}} = 2av_{\text{ck}}nztI / v$, здесь размер зоны контакта a определяется по графикам на рисунке 2; z – количество пар зацепления ($z = 1$); t – время работы, мин; $N = nzt$ – количество циклов зацепления, v – скорость качения (обозначения параметров, входящих в формулу даны в [3]).

Пример. Пусть зубчатая передача без смазки выполнена из металлической шестерни с покрытием из композита, состоящего из полиамидной матрицы и стеклянных волокон с модулями упругости $E_m = 3500$ МПа, $E_f = 85000$ МПа, коэффициентами Пуассона $\nu_m = 0,35$, $\nu_f = 0,2$, модулями сдвига $G_m = 1300$ МПа, $G_f = 35420$ МПа, с различным процентным содержанием волокон, зацепляется с таким же металлическим колесом. Зубчатая передача имеет следующие геометрические размеры в общепринятых обозначениях: модуль $m = 4$, число зубьев $z_s = 23$, $z_k = 23$, межцентровое расстояние $A = 92$ мм, угол зацепления $\alpha = 20^\circ$, ширина венца $b = 20$ мм, $d_s = 92$ мм, $d_k = 92$ мм, $M_{\text{кр}} = 852,6$ Н·мм; $n_s = 2000$ об/мин, передаточное число $u = 1$. Толщина покрытия 2 мм. По результатам испытаний износ зубьев шестерни и колеса определялся числом циклов нагружения $N_s = 4,15 \cdot 10^7$. Необходимо определить изнашивание зубьев h при заданной интенсивности изнашивания $I_s = 4,1 \cdot 10^{-8}$, влияние объемного содержания волокна на износ, определить напряженное состояние покрытий на упругом основании численными методами. Построены графические зависимости износа для волокнистого покрытия в зависимости от объемного содержания волокна в матрице.

Список литературы

- 1 Мажаровский, В. В. Прикладная механика слоистых тел из композитов / В. В. Мажаровский, В. Е. Старжинский. – Минск : Наука и техника, 1988. – 280 с.
- 2 Реализация алгоритмов расчета напряженно-деформированного состояния элементов машин и трибологических систем / В. В. Мажаровский [и др.] // Теоретическая и прикладная механика. – 2020. – Вып. 35. – С. 36–43.
- 3 Влияние расположения волокон на параметры контакта и износа для зубьев зубчатых передач из композитов / В. В. Мажаровский [и др.] // Математические методы в технологиях и технике. – 2023. – № 10. – С. 71–75.

СИСТЕМАТИЗАЦИЯ МЕТОДОВ ДИАГНОСТИКИ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ

А. К. МОЗАЛЕВСКАЯ, Р. С. БОЛЬШАКОВ

Иркутский государственный университет путей сообщения, Российская Федерация

Безопасность эксплуатации технических систем является основополагающим направлением проведения научных исследований в области оценки прочности деталей, конструкций, технологических машин [1–2]. В частности, производство изделий из различных металлов и сплавов с последующей температурной обработкой связано с появлением в деталях остаточных напряжений, влияющих на их качество [3–6]. Остаточные напряжения возникают в деталях при реализации большинства технологических операций и по своей величине могут превосходить напряжения от внешних нагрузок. Наличие остаточных напряжений влияет на прочность и другие механические свойства изделий и может вызвать формирование остаточных деформаций, что в конечном итоге приводит к геометрическим искажениям, снижает срок службы деталей, увеличивает количество брака при их изготовлении.

В предлагаемом докладе рассматриваются современные разрушающие технологии определения остаточных напряжений в изделиях из различных материалов.

Остаточные напряжения рассматриваются как один из ключевых факторов, влияющих на ухудшение качества и эксплуатационных характеристик изделий. Следует отметить, что остаточные напряжения не всегда вредят эксплуатационным характеристикам материала, например, дробеструйное упрочнение или обкатка роликами заключается в создании сжимающих остаточных напряжений в поверхностных слоях для улучшения их прочностных характеристик. Данные технологические процессы также сопровождаются контролем остаточных напряжений после обработки [4]. Целью исследования являются систематизация методов разрушающего контроля и рекомендации по их применению для решения научных и производственных задач.

Разрушающие методы позволяют количественно измерять как поверхностные, так и внутренние остаточные напряжения. При этом разрушающие методы относительно просты в выполнении и, несмотря на существенную трудоемкость и разрушение образца при их реализации, обладают высокой точностью. Сущность принципа определения остаточных напряжений в разрушающих методах состоит в том, что разрез и обнажение поверхности эквивалентны (для оставшейся части тела) к приложению поверхности сечения остаточных напряжений обратного знака. Обзор наиболее распространенных разрушающих методов определения остаточных напряжений приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнительный обзор разрушающих методов определения остаточных напряжений (ОН) и рекомендации по их применению в лабораторных и производственных условиях

Методика / Глубина измерения	Преимущества	Недостатки	Область и объект применения
Метод сегментирования и расщепления / По толщине образца	Простота и низкая трудоемкость исследований; возможность исследования образцов из различных металлов и сплавов; отсутствие необходимости наличия сложного оборудования; быстрый оценочный тест при производстве изделий	Применение метода возможно только при однородном распределении напряжений по толщине образца; подходит только для приблизительной оценки ОН из-за большой погрешности; ограничение при оценке неоднородных деформаций	Образцы или изделия простой геометрической формы из углеродистых сталей, для стальных, алюминиевых и нержавеющей профилей; сварные подкрепленные алюминиевые конструкции, в том числе с отверстиями в центральной части; применяется для контроля ОН в тонкостенных трубках насосно-компрессорных установок
Метод сверления отверстий / До 2 мм	Высокая точность измерений; оценка однородных и неоднородных ОН; измерение двухосного распределения ОН; минимальный уровень повреждений в сравнении	Определение только поверхностных ОН; погрешность тензометрического датчика влияет на точность измерения; вызывает образование ОН обусловленных механической обработкой, отсутствие возможности учета пространственного распределения ОН	Толстые стыковые соединения алюминиевых деталей и сварных швах; сплавы для изготовления материалов самолетных авиационных двигателей; сварных листах из различных материалов; нержавеющей и аустенитные стали

Окончание таблицы 1

Методика / Глубина измерения	Преимущества	Недостатки	Область и объект применения
Метод сверления «глубоких» отверстий / До 750 мм	Возможность измерения двухосного распределения ОН на большой глубине	Может использоваться для образцов (деталей) толщиной более 6 мм; высокие требования к соосности осей отверстий	Стальные, алюминиевые образцы, детали из ламинированных композитных материалов
Метод кольцевого сердечника / До 6 мм	Высокая точность измерений; оценка однородных и неоднородных ОН; измерение двухосного распределения ОН	Погрешность тензометрического датчика влияет на точность измерения; вызывает образование ОН обусловленных механической обработкой, процесс проточки обычно проводят электроэрозионной обработкой, что накладывает ограничения на спектр исследуемых материалов	Детали и образцы всей группы изотропных материалов с известным модулем упругости при механической обработке; после сварки конструкций из стали; авиационные двигатели; паровые турбины и турбогенераторы; композитные материалы
Метод снятия слоев материала / По толщине образца	Измерение больших перепадов ОН по толщине изделия; высокая точность; оценка распределения ОН по всему объему образца; возможность определения всех трех компонент ОН	Длительный процесс измерения; полное разрушение образца; погрешность измерения существенно зависит от качества удаления материала, а также точности определения толщины удаляемого слоя; не подходит для сварных деталей	При исследовании ОН в металлических и неметаллических деталях и образцах
Метод пропилов (разреза) / По толщине образца	Измерение больших перепадов ОН по толщине изделия; простота реализации; высокая точность; относительно быстрый и простой в применении процесс	Определение только одноосных нормальных остаточных напряжений к поверхности реза; влияние погрешности тензометрического датчика на точность измерения; затрудненная реализация метода на деталях сложной формы	При исследовании ОН в металлических и неметаллических деталях и образцах; применяют для контроля ОН в сварных швах
Контурный метод (метод профилирования) / Образец толщиной более 5 мм	Измерение больших перепадов ОН по толщине изделия; получение картины ОН, нормальных к поверхности разреза по всему сечению; определение ОН в изделиях больших размеров	Определение только одноосных остаточных напряжений нормальных к поверхности реза; повышенная погрешность при измерении поверхностных ОН; затрудненная реализация метода на деталях сложной формы; разрушение образца	Заготовки, образцы из металлических материалов; сварные швы; закаленные толстостенные пластины; холоднокатанные трубы; поковки из алюминиевых сплавов; заготовки, образцы больших габаритных размеров при наличии электроэрозионного станка

Таким образом, по результатам аналитического обзора научно-технической литературы можно сделать вывод, что выбор метода измерения остаточных напряжений может осуществляться в достаточно большом диапазоне. Независимо от метода измерения каждому из них присущи определенные недостатки. Выбор подходящего метода измерения осуществляется с учетом исследуемого объекта, материала, из которого он сделан, и его геометрической формы, а также требований к результатам исследований, их полноте и точности.

Список литературы

- 1 Определение реакций связей между элементами виброзащитных систем на основе метода структурных преобразований / В. Б. Кашуба [и др.] // Механика XXI века. – 2016. – № 15. – С. 295–300. – EDN WBERBJ.
- 2 Патент № 2689901 С2 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.
- 3 Биргер, И. А. Остаточные напряжения / И. А. Биргер. – М. : Гос. науч.-техн. изд-во машиностроительной лит-ры, 1963. – 233 с.
- 4 Способ определения закалочных остаточных напряжений / Ю. И. Замашиков [и др.]. – № 1643928 от 22.12.90. – 5 с.
- 5 Каргапольцев, С. К. Способы определения термических остаточных напряжений в заготовках типа плит из алюминиевых сплавов / С. К. Каргапольцев, А. К. Мозалевская // Системы. Методы. Технологии. – 2023. – № 4 (60). – С. 27–32. – DOI : 10.18324/2077-5415-2023-4-27-32. – EDN NAUKUK.

НЕСТАЦИОНАРНАЯ ДИНАМИКА ТОНКИХ УПРУГИХ АНИЗОТРОПНЫХ КОНИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК

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

Конические оболочки обширно применяются в ракетно-космической и авиационной технике в качестве конструктивного элемента обтекателей. В процессе эксплуатации летательного аппарата или ракеты-носителя обтекатели подвергаются широкому спектру воздействий. К наиболее сложным и требующим особого внимания стоит отнести воздействия нестационарного характера. Трудность заключается в существенной неоднородности решения по координатам и времени при определении напряженного деформированного состояния оболочечных конструкций.

Специфические требования радиопрозрачности с одновременным сохранением заданного уровня прочности и жесткости обтекателя приводят к необходимости создания тонкостенных конических оболочек из композиционных материалов, в том числе с конструктивной анизотропией, что дополнительно усложняет задачу при проектировании. Таким образом, построение математической модели, разработка алгоритмов и методов расчета оболочечных конструкций из анизотропных материалов является сложной и важной проблемой механики.

Исследованию вопросов конических оболочек посвящены труды Нерубайло Б. В. [3], Дудченко А. А. [2], а также иностранных ученых W. Li [4], C. Shu [5], C.-P. Wu [6]. Нерубайло Б. В. и Смирнов Л. Г. в своей работе [3], используя метод асимптотического синтеза напряженного состояния, решают задачу о локальном воздействии нормального давления на тонкую круговую оболочку. В качестве примера рассмотрена коническая оболочка, находящаяся под действием локальных радиальных нагрузок. Дудченко А. А., Сергеев В. Н. в научной статье [2] представили математическую модель деформирования подкрепленной конической оболочки с выводом нелинейных уравнений равновесия оболочки с помощью аппарата векторного анализа. В работах W. Li [4], C. Shu [5], C.-P. Wu [6] исследуется вопрос свободных колебаний усеченных конических оболочек с использованием обобщенного метода дифференциальных квадратур.

Объектом исследования настоящей работы является тонкая, неограниченная по длине образующей коническая оболочка постоянной толщины h (рисунок 1).

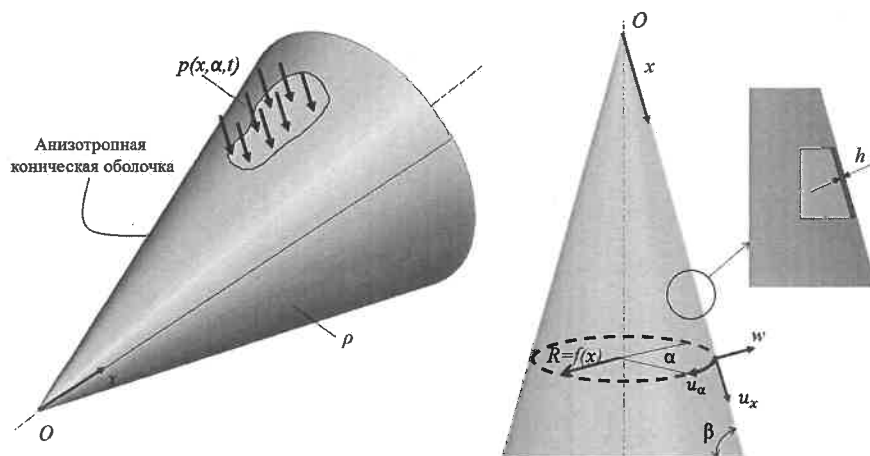


Рисунок 1 – Объект исследования

Материал оболочки упругий и анизотропный, с симметрией относительно ее срединной поверхности – моноклинный тип симметрии упругой среды. Математическая модель конической оболочки основана на гипотезах Кирхгофа – Лява. Материал оболочки характеризуется шестью независимыми упругими постоянными: c_{11} , c_{12} , c_{16} , c_{22} , c_{26} , c_{66} . В начальный момент времени $t = 0$ на боковую

поверхность оболочки воздействует нестационарное нормальное давление $p(x, \alpha, t)$ с переменной по координатам и времени амплитудой. Движение оболочки рассматривается в криволинейной системе координат $O\beta\alpha x$. Постановка задачи включает в себя уравнения движения в перемещениях для анизотропной оболочки, нулевые начальные условия и условия ограниченности решения на бесконечности.

Целью работы является построение новых фундаментальных решений (функций Грина, функций влияния) для тонкой упругой анизотропной неограниченной конической оболочки.

В основу методологии исследования нестационарной динамики конических оболочек положены принцип суперпозиции и метод фундаментальных решений, суть которого заключается в связи искомого решения (нормального $w(x, \alpha, t)$ и тангенциальных $u_\alpha(x, \alpha, t)$, $u_x(x, \alpha, t)$ перемещений) с нагрузкой при помощи интегрального оператора типа свертки «*» по пространственным переменным и по времени:

$$w(x, \alpha, t) = G(x, \xi, \alpha, t) *** p(x, \alpha, t) = \int_0^\infty \int_{-\pi}^\pi \int_0^t G(x, \xi, \alpha - \zeta, t - \tau) p(\xi, \zeta, \tau) d\tau d\zeta d\xi,$$

$$u_\alpha(x, \alpha, t) = G_\alpha(x, \xi, \alpha, t) *** p(x, \alpha, t) = \int_0^\infty \int_{-\pi}^\pi \int_0^t G_\alpha(x, \xi, \alpha - \zeta, t - \tau) p(\xi, \zeta, \tau) d\tau d\zeta d\xi,$$

$$u_x(x, \alpha, t) = G_x(x, \xi, \alpha, t) *** p(x, \alpha, t) = \int_0^\infty \int_{-\pi}^\pi \int_0^t G_x(x, \xi, \alpha - \zeta, t - \tau) p(\xi, \zeta, \tau) d\tau d\zeta d\xi.$$

Ядрами этих интегральных операторов являются фундаментальные решения для нормального $G(x, \xi, \alpha, t)$ и тангенциальных $G_\alpha(x, \xi, \alpha, t)$, $G_x(x, \xi, \alpha, t)$ перемещений. Эти фундаментальные решения представляют собой перемещения в ответ на воздействие единичной сосредоточенной нагрузки по координатам и времени, математически описываемой дельта-функцией Дирака. Соответствующая постановка задачи о фундаментальных решениях имеет вид

$$\frac{\partial^2 \mathbf{G}}{\partial t^2} = \mathbf{K}(\mathbf{G}) + \mathbf{P}, \quad \mathbf{K} = (K_{ij})_{3 \times 3}, \quad \mathbf{G} = (G_x, G_\alpha, G)^T, \quad \mathbf{P} = \left(0, 0, \frac{\delta(x - \xi, \alpha) \delta(t)}{\rho h} \right)^T,$$

$$G_\alpha|_{t=0} = 0, \quad \frac{\partial G_\alpha}{\partial t} \Big|_{t=0} = 0, \quad G_x|_{t=0} = 0, \quad \frac{\partial G_x}{\partial t} \Big|_{t=0} = 0, \quad G|_{t=0} = 0, \quad \frac{\partial G}{\partial t} \Big|_{t=0} = 0, \quad (1)$$

$$\lim_{x \rightarrow \infty} G_\alpha(x, \xi, \alpha, t) = 0, \quad \lim_{x \rightarrow \infty} G_x(x, \xi, \alpha, t) = 0, \quad \lim_{x \rightarrow \infty} G(x, \xi, \alpha, t) = 0,$$

где K_{ij} – дифференциальные операторы уравнения движения анизотропной конической оболочки; $\delta(\cdot)$ – дельта-функция Дирака.

Решение начально-краевой задачи (1) можно получить при помощи интегральных преобразований, в частности, с применением интегрального преобразования Лапласа по времени t , интегрального преобразования Меллина по координате x и разложения в экспоненциальные ряды Фурье по угловой координате α .

Список литературы

- 1 Волны в сплошных средах : учеб. пособие для вузов / А. Г. Горшков [и др.]. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 472 с.
- 2 Дудченко, А. А. Нелинейные уравнения равновесия конической оболочки, подкрепленной дискретным набором шпангоутов / А. А. Дудченко, В. Н. Сергеев // Вестник ПНИПУ. Механика. – 2017. – № 2. – С. 78–98.
- 3 Нерубайло, Б. В. К решению задач упругости конических оболочек / Б. В. Нерубайло, Л. Г. Смирнов // Прикладная механика и техническая физика. – 2005. – № 5. – С. 150–165.
- 4 Li, W. Vibration Analysis of Conical Shells by the Improved Fourier Expansion-Based Differential Quadrature Method / W. Li, G. Wang, J. Du // Shock and Vibration. – 2016. – P. 1–10.
- 5 Shu, C. Free vibration analysis of composite laminated conical shells by generalized differential quadrature / C. Shu // Journal of Sound and Vibration. – 1996. – Vol. 194, no 4. – P. 587–604
- 6 Wu, C.-P. Differential quadrature solution for the free vibration analysis of laminated conical shells with variable stiffness / C.-P. Wu, C.-Y. Lee // International Journal of Mechanical Sciences. – 2001. – Vol. 43, no. 8. – P. 1853–1869.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛЯ ТЕМПЕРАТУР В ПОЛУПЛОСКОСТИ
ПРИ НЕСТАЦИОНАРНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ ТЕПЛООВОГО ПОТОКА***А. А. ОРЕХОВ, Л. Н. РАБИНСКИЙ, Т. С. ТЕРЕЩЕНКО**Московский авиационный институт (НИИ), Российская Федерация*

Для определения технологических температурных напряжений, возникающих в процессе селективного лазерного плавления металлопорошковой композиции в пределах одного слоя, необходимо знать распределение поля температур в полуплоскости от воздействия лазерного источника. Как и при любом другом тепловом воздействии на материал, неизменной характеристикой термического процесса является температура. Перенос тепла в твердых телах осуществляется известными механизмами теплопроводности. Для решения поставленной задачи проводится дополнительное исследование вспомогательной задачи о нестационарном нагреве изотропной полуплоскости подвижным поверхностным источником тепла. Для этого построена математическая модель для обобщенного уравнения теплопроводности с учетом конечной скорости распространения.

Найденное решение соответствует воздействию сосредоточенного во времени и координатах объемного источника тепла в виде дельта-функции, расположенного в теплопроводящей полуплоскости. Для решения используется интегральное одномерное преобразование Фурье по координате и интегральное преобразование Лапласа по времени. Соответствующие оригиналы построены последовательным обращением преобразования Лапласа и Фурье.

Получено интегральное представление, позволяющее получать решения задачи о произвольных поверхностных источниках тепла в полупространстве. С использованием найденного фундаментального решения приводится пример решения задачи о действии непрерывного сосредоточенного источника тепла в полупространстве. Полученный результат позволит с большой точностью решать задачи о воздействии высокоинтенсивных тепловых потоков в новых материалах с неклассическими теплопроводящими свойствами.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (FSFF-2023-0004).

**ПРОДОЛЬНЫЕ НЕЛИНЕЙНЫЕ КОЛЕБАНИЯ СТЕНКИ УЗКОГО КАНАЛА,
ЗАПОЛНЕННОГО ВЯЗКОЙ ЖИДКОСТЬЮ***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», Российская Федерация**А. А. ПОПОВА**Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю. А.,
Российская Федерация*

При разработке и исследовании различных изделий современного транспортного комплекса, включающих в свой состав жесткие элементы с упругими связями или упругоподатливые элементы, контактирующие с жидкостью или газом, требуется привлечение подходов теории гидроаэроупругости [1, 2]. Например, с такими ситуациями приходится сталкиваться в демпферах колебаний, датчиках гидросистем, гидро- и газоопорах [3, 4]. В [5, 6] исследовано взаимодействие несжимаемой вязкой жидкости в узком клиновидном канале с его жесткой стенкой на линейно-упругом подвесе. В [7, 8] разработаны модели взаимодействия вязкой несжимаемой жидкости с торцевой [7] и нижней [8] стенками, имеющими линейно-упругий подвес, узкой щели, которую она заполняет.

В [9, 10] рассмотрены аналогичные задачи, когда стенка канала имеет подвес с кубической нелинейностью [9] или представляет собой пластину на нелинейно-упругом основании [10]. Однако в работах, которые указаны выше, за рамками исследований остался случай вязкой жидкости, взаимодействующей с нелинейно-упругозакрепленной стенкой узкого канала, совершающей продольные колебания.

Рассмотрим узкий плоский канал с жесткими стенками, размеры которых в плане $2\ell \times b$ и $2\ell \ll b$ (рисунок 1). Канал заполнен сильно вязкой жидкостью, пульсирующей за счет заданного на торцах гармонически изменяющегося перепада давления $\Delta p(\omega t)$. Нижняя стенка имеет упругое закрепление с мягкой кубической нелинейностью, которое допускает ее колебания в продольном направлении, а верхняя стенка неподвижна. Связываем начало декартовой системы координат $Oxyz$ с центром поверхности (контактирующей с жидкостью) нижней стенки канала в невозмущенном состоянии и изучаем плоскую задачу для установившихся нелинейных колебаний стенки с амплитудой $x_m \ll \ell$.

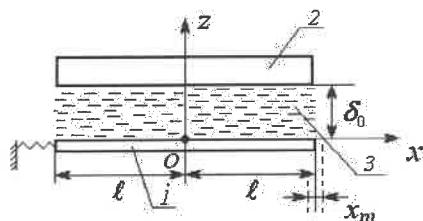


Рисунок 1 – Узкий канал, нижняя стенка которого имеет нелинейное упругое закрепление:

- 1 – стенка с нелинейно-упругим закреплением;
- 2 – неподвижная стенка;
- 3 – пульсирующая вязкая жидкость

Движение вязкой жидкости в узком канале – ползущее, и уравнения ее движения имеют вид [11]

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} = \nu \left(\frac{\partial^2 v_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_x}{\partial z^2} \right), \quad \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} = \nu \left(\frac{\partial^2 v_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial z^2} \right), \quad (1)$$

$$\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = 0,$$

граничные условия для уравнений динамики жидкости (1) записываются как

$$v_x = \frac{dx_1}{dt}, \quad v_z = 0 \quad \text{при } z = 0, \quad (2)$$

$$v_x = 0, \quad v_z = 0 \quad \text{при } z = \delta, \quad (3)$$

$$p = \Delta p(\omega t) = p_m \sin \omega t \quad \text{при } x = -\ell, \quad (3)$$

$$p = 0 \quad \text{при } x = \ell,$$

где p – давление жидкости; v_z, v_x – проекции вектора скорости жидкости на оси Oz и Ox , ν – коэффициент кинематической вязкости жидкости; ρ – плотность жидкости; $x_1 = x_m f(\theta t)$ – закон движения нижней стенки канала; θ – характерная частота нелинейных колебаний нижней стенки ω ; p_m – заданные частота и амплитуда гармонической пульсации давления на левом торце щели.

Уравнение движения нижней стенки запишем как [8]

$$m \frac{d^2 x_1}{dt^2} + n_1 x_1 - n_3 x_1^3 = b \int_{-\ell}^{\ell} q_{zx} \Big|_{z=0} dx, \quad q_{zx} = \rho \nu \left(\frac{\partial v_x}{\partial z} + \frac{\partial v_z}{\partial x} \right). \quad (4)$$

Здесь q_{zx} – касательное напряжение в жидкости; m – масса стенки; t – время; n_1 – коэффициент жесткости линейной составляющей реакции подвеса; n_3 – коэффициент жесткости кубической составляющей реакции подвеса, т. к. рассматриваем мягкую нелинейность, то полагаем $n_3 > 0$.

Сформулированная задача гидроупругости (1)–(4) исследовалась методом возмущений. После этого рассматривалась линеаризованная задача динамики для тонкого слоя жидкости в узкой щели и определялись законы изменения гидродинамических параметров в нем. На следующем этапе решалось уравнение (4) методом гармонического баланса. После этого были определены основной нелинейный гидроупругий отклик стенки и соответствующая ему характеристика фазового сдвига. Данные характеристики возможно исследовать численно по аналогии с [9, 10]. В частности, найти резонансные частоты колебаний стенки, а также области ее неустойчивых колебаний со скачкообразным изменением амплитуд колебаний.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (государственное задание по теме 122030100145-3).

Список литературы

- 1 Аэрогидроупругость конструкций / А. Г. Горшков [и др.]. – М. : Физматлит, 2000. – 592 с.
- 2 Païdoussis, M. P. Dynamics of cylindrical structures in axial flow: A review / M. P. Païdoussis // Journal of Fluids and Structures. – 2021. – Vol. 107. – Art. no. 103374.

- 3 Константиnescу, В. Н. Газовая смазка / В. Н. Константиnescу. – М. : Машиностроение, 1968. – 718 с.
- 4 Распопов, В. Я. Микромеханические приборы / В. Я. Распопов. – М. : Машиностроение, 2007. – 400 с.
- 5 Могилевич, Л. И. Продольные и поперечные колебания упругозакрепленной стенки клиновидного канала, установленного на вибрирующем основании / Л. И. Могилевич, В. С. Попов, А. А. Попова // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2018. – № 3. – С. 28–36.
- 6 Mogilevich, L. I. Mathematical modeling of elastically fixed wall longitudinal oscillations of wedge-shaped channel under foundation vibration / L. I. Mogilevich, V. S. Popov, L. N. Rabinsky // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. – 2016. – Vol. 12, no. 4. – P. 9–17.
- 7 Попов, В. С. Моделирование взаимодействия стенки канала с упругозакрепленным торцевым уплотнением / В. С. Попов, А. А. Попова // Компьютерные исследования и моделирование. – 2020. – Т. 12, № 2. – С. 387–400.
- 8 Попов, В. С. Моделирование гидроупругих колебаний стенки канала, имеющей нелинейно-упругую опору / В. С. Попов, А. А. Попова // Компьютерные исследования и моделирование. – 2022. – Т. 14, № 1. – С. 79–92.
- 9 Modeling nonlinear hydroelastic response for the endwall of the plane channel due to its upper-wall vibrations / M. Barulina [et al.] // Mathematics. – 2022. – Vol. 10. – Art. no. 3844.
- 10 Моделирование гидроупругого отклика пластины, установленной на нелинейно-упругом основании и взаимодействующей с пульсирующим слоем жидкости / Д. В. Кондратов [и др.] // Компьютерные исследования и моделирование. – 2023. – Т. 15, № 3. – С. 581–597.
- 11 Лойцянский, Л. Г. Механика жидкости и газа / Л. Г. Лойцянский. – М. : Дрофа, 2003. – 840 с.

УДК 535.243.25

ТРАНСПОРТНЫЕ ЗАДАЧИ ПО ФИЗИКЕ

В. И. ПОРТНОВ

Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва

Инженерная подготовка специалистов транспортной отрасли призвана выработать у обучаемых не только навыки анализа возникающих проблем, но и умение проводить необходимые (порой, стандартные) расчёты, позволяющие предложить обоснованное и безопасное решение этих проблем. В вузе выработке таких навыков способствует изучение естественных наук (математики, физики), причём особенно эффективно это происходит, если в качестве примеров разбираются задачи, связанные с практической деятельностью обучаемых.

Транспортные задачи – особый вид задач, которые возникают в процессе функционирования транспорта и транспортных систем.

К таким задачам можно отнести следующие.

- 1 Задачи типа задачи коммивояжёра, когда необходимо наиболее экономичным способом обойти несколько пунктов, расположенных произвольным образом.
- 2 Задачи по составлению расписания движения транспорта с учётом ограниченного числа путей и сложности и разнообразия грузоперевозок.
- 3 Задачи навигации и определения местоположения.
- 4 Задачи на относительность движения.
- 5 Задачи погони или убегания.
- 6 Задачи на мощность, развиваемую двигателем транспорта.
- 7 Баллистические задачи
- 8 Задачи, связанные с условиями перевозки хрупких или особо опасных грузов
- 9 Задачи на скорейшую погрузку-разгрузку.
- 10 Задачи на силы трения.
- 11 Задачи на реактивное движение.
- 12 Задачи на силу Кориолиса.
- 13 Задачи на эффект Допплера и ему подобные эффекты.
- 14 Задачи на аварийные ситуации (столкновения, опрокидывание, сход с пути и т. д.).

Приведём пример транспортных задач:

1 На плоскости закреплены базовые точки А (0, 0) и В (10, 0). Координаты измеряются в метрах. Определить модуль скорости точки С на плоскости, если в момент $t = 0$ углы САВ и СВА равны соответственно 75° и 85° , а в момент $t = 0,03$ с эти углы равны 76° и 83° . Считать движение равномерным и прямолинейным. Результат округлить до целых.

2 Автомобиль массы $m = 4$ т движется из пункта А в пункт В практически с постоянной скоростью. Расстояние от А до В $S = 250$ км. Сила трения $F = a + bv + kv^2$, где $a = 70$ Н; $b = 5$ кг/с, $k = 0,2$ кг/м – известные коэффициенты. Стоимость 1 Дж произведённой двигателем работы равна $w = 0,5$ руб./Дж. Прибыль от каждого рейса $W = 150$ млн руб. Какая скорость наиболее выгодна для работы на автомобиле? Ответ дать в км/ч, округлить до целых.

3 Необходимо переместить предмет на 5 км по горизонтали с помощью катапульты. Какую минимальную скорость необходимо придать для перемещения предмету, если сопротивление воздуха пропорционально квадрату его скорости, а вниз предмет летит с установившейся скоростью 200 м/с.

Решения:

1 Первая задача довольно проста – находим угол С и используем теорему синусов. Угол С сначала был равен 20° , затем 21° . Соответственно АС было равно $10 \cdot \sin 85^\circ / \sin 20^\circ = 29,1268$ м, стало равно 27,69629 м. Затем находим скорость $(-27,9409, -42,0242)$ м/с и её искомый модуль $50,46509$ м/с ≈ 50 м/с.

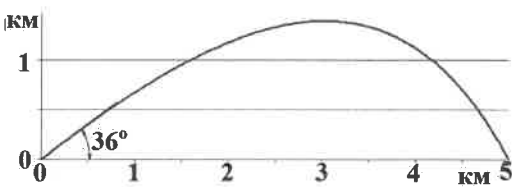
2 Во второй задаче можно получить аналитический результат. Работа силы трения за рейс равна $2FS$. Стоимость работы двигателя $2FSw$. Время рейса равно $2S / v$. За единицу времени можно сделать $v / 2S$ поездок, получив за них гонорар $vW / 2S$. Стоимость горючего при этом будет равна Fvw . Прибыль составит $v(W / 2S - (a + bv + kv^2)w)$. Производная этого выражения по скорости при достижения максимальной прибыли должна быть равна 0, поэтому $3kvw^2 + 2bvw + aw - W / 2S = 0$. Подставляя значения, получим два решения, одно из которых положительно: $v = 22,534$ м/с. В пересчёте на км/ч получим $81,12 \approx 81$ км/ч.

3 Третья задача не может быть решена аналитическими методами. Пользуясь электронной таблицей Excel, была вычислена минимальная начальная скорость 417 м/с: она направлена под углом 36° к горизонту. Обратим внимание: оптимальный угол стрельбы оказался меньше 45° , несмотря на то, что оптимальный угол для больших пушек оказывался больше. Это связано с тем, что снаряды больших пушек большую часть времени летят на большой высоте в разреженной атмосфере.

Приведём кратко путь решения задачи в таблице Excel. Ниже приведены первые 6 строк таблицы и кратко описана последовательность действий:

	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K
1	t	x	y	v _x	v _y	a _x	a _y	v	dt	0,1
2	0	0	0	337,3601	245,1065	-35,1698	-35,5523	417	v ₀	417
3	0,1	33,56016	24,33288	333,8431	241,5512	-34,3913	-34,8837	412,0658	α	36
4	0,2	66,77251	48,31359	330,404	238,0628	-33,6381	-34,2369	407,2354	g	10
6	0,3	99,64472	71,94869	327,0402	234,6392	-32,9089	-33,6109	402,5057	k	0,00025

В ячейках A2, B2 и C2 записаны начальное время и начальные координаты (нули). В ячейках D2 и E2 – проекции начальной скорости: D2: =K2*COS(K3*π/180), E2: =K2*SIN(K3*π/180) (вместо π мы, конечно, пишем последовательность цифр 3,1415926...). В ячейке H2 – модуль скорости H2:=КОРЕНЬ(D2^2+E2^2), в ячейках F2 и G2 – проекции ускорения на ось x F2:=-D2*H2*\$K\$5 и ось y: G2:=-\$K\$4-E2*H2*\$K\$5, что можно записать как $a_x = -kv_xv$ и $a_y = -g - kv_yv$. Далее мы записываем приближённое решение уравнения движения по схеме Эйлера. В ячейку A3 – приращение времени A3:=A2+\$K\$1 ($t_{\text{новое}} = t + dt$). В ячейки D3 и E3 новые скорости D3:=D2+F2*\$K\$1, E3:=E2+G2*\$K\$1 (соответствует формулам $v_{x \text{ новое}} = v_x + a_x dt$, $v_{y \text{ новое}} = v_y + a_y dt$). В ячейки B3 и C3 записываются новые координаты B3:=B2+(D2+D3)/2*\$K\$1, C3:=C2+(E2+E3)/2*\$K\$1, что соответствует формулам $x_{\text{новое}} = x + \frac{1}{2}(v_x + v_{x \text{ новое}}) dt$, $y_{\text{новое}} = y + \frac{1}{2}(v_y + v_{y \text{ новое}}) dt$.



Полусумма новой и прежней скоростей даёт большую точность счёта. Затем копируем ячейки F2, G2 и H2 в F3, G3 и H3 соответственно, выделяем пул ячеек от A3 до H3 и копируем его в строки от 4-й до 2000. Затем мы при фиксированной скорости выстрела подбираем угол наибольшей дальности, а затем уменьшаем скорость до тех пор, пока дальность не станет равной заданному в задаче расстоянию. Траектория снаряда представлена на диаграмме справа, которая и использовалась при подгонке начальной скорости и угла.

Многообразие транспортных задач показывает необходимость хорошего знания математики и физики для поддержания всей системы транспорта в рабочем состоянии, а тем более для её развития. Возможно, следует уделить больше времени задачам на различные виды сил трения.

Многочисленные пособия и задачки как школьные [1–3], так и вузовские [4, 5], содержат множество транспортных задач самого разного уровня сложности и по различной тематике. Однако необходимо признать, что многие задачи, возникающие из практических нужд, порой повисают в воздухе из-за оторванности преподавателей одной учебной дисциплины от таких же преподавателей других дисциплин. Эту проблему может решить только более тесное сотрудничество преподавателей физики, математики и информатики со специалистами выпускающих кафедр вуза.

Список литературы

- 1 Сборник задач по физике / Л. П. Баканина [и др.]. – М. : Наука, 1969. – 416 с.
- 2 Перельман, Я. И. Занимательная физика / Я. И. Перельман. – М. : АСТ, 2023. – 352 с.
- 3 Кокин, С. М. Физика в истории железных дорог : учеб. пособие / С. М. Кокин, В. А. Селезнёв. – Долгопрудный : Интеллект, 2016. – 296 с.
- 4 Иродов, И. Е. Задачи по общей физике : учеб. пособие для вузов / И. Е. Иродов. – М. : Бином, 2012. – 431 с.
- 5 Сборник задач по общему курсу физики. В 5 т. / С. П. Стрелков [и др.]. – М. : Наука, 1977–1981.

УДК 539.3

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ВОЛНОВЫХ ПРОЦЕССОВ В СЛОИСТЫХ КОМПОЗИТАХ С НАСЛЕДСТВЕННЫМИ СВОЙСТВАМИ

С. Г. ПШЕНИЧНОВ

*Научно-исследовательский институт механики МГУ им. М. В. Ломоносова, г. Москва,
Российская Федерация*

Получены новые формы представления решений начально-краевых задач для кусочно-однородных тел (слоистых композитов) с линейно-вязкоупругими компонентами. При этом предполагается выполнение следующих требований.

1 На контакте однородных компонентов выполняются условия кинематической и динамической непрерывности.

2 Область изменения пространственных координат в математической постановке задачи (одномерная, двумерная, или трехмерная) является ограниченной.

3 Наследственные свойства компонентов определяются соотношениями линейной вязкоупругости в рамках модели Больцмана – Вольтерра.

4 Материалы всех компонентов удовлетворяют условию ограниченной ползучести.

Рассмотрены случаи, когда в интегральных соотношениях Больцмана – Вольтерра участвуют ядра релаксации или в виде конечных сумм экспонент, или в форме Ржаницына – Колтунова. Какой-либо зависимости между ядрами компонентов не предполагается.

Построение решений задач указанного класса основано на применении интегрального преобразования Лапласа по времени и его обращения. Считается, что решение задачи в пространстве изображений найдено и всё внимание уделяется построению оригинала в наиболее удобной форме. Для этого используются как прежние результаты, так и новые подходы.

Ранее было показано, что при регулярных наследственных ядрах в виде конечных сумм экспонент и некоторых дополнительных условиях построение решения рассматриваемой нестационарной задачи в оригиналах получается в виде ряда по вычетам в полюсах изображений. Это означает разложение решения в ряд по собственным формам свободных колебаний слоистого тела, и нестационарная задача фактически сводится к поиску элементов спектрального множества E на комплексной плоскости. В предыдущих работах был предложен метод поиска элементов множества E , которое имеет помимо бесконечно удаленной предельной точки конечные предельные точки на действительной оси. Вместе с тем при большом количестве слоев с неодинаковыми наследственными ядрами процесс численной реализации полученных формул существенно замедляется.

При сингулярных ядрах Ржаницына – Колтунова ранее была предложена формула, содержащая в качестве одного из слагаемых интеграл по мнимой оси. Под знаком этого интеграла зависящим от времени сомножителем является ограниченная функция, которая с ростом времени осциллирует всё быстрее и не стремится к нулю. В результате создаются определенные неудобства вычислений, если количество слоев композита достаточно велико.

В настоящей работе представлены новые формы решений в оригиналах, полученные на основе прежних результатов с применением методов контурного интегрирования на комплексной плоскости. В случае регулярных ядер в виде конечных сумм экспонент решение предложено в виде двух слагаемых. Одно – разложение по некоторому подмножеству собственных форм, другое – легко вычисляемый интеграл по замкнутому контуру. В случае сингулярных ядер Ржаницына – Колтунова решение также представлено в специальной форме, содержащей неполное спектральное разложение и слагаемое в виде некоторого нового интеграла. Весьма важно, что каждый из интегралов при любом значении времени лишен указанных выше недостатков и легко вычисляется даже при большом количестве слоев композита. Всё это позволяет существенно упростить динамические расчеты многослойных конструкций.

С помощью новых формул проведены исследования распространения нестационарных волн в слоистых композитах при конкретных исходных данных.

Исследование выполнено за счет гранта РФФИ № 24-29-00164.

УДК 536.2

АСИМПТОТИКА РЕШЕНИЯ УРАВНЕНИЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ДЛЯ НЕОДНОРОДНОЙ ПЛАСТИНЫ ПРИ ЗАВИСИМОСТИ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ ОТ ВРЕМЕНИ

Ю. А. ПШЕНИЧНОВ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Метод ВКБ [1, 2], разработанный для решения задач квантовой механики, нашел применение и в различных областях физики. В [3, 4] на основе совместного применения преобразования Лапласа и данного метода построены асимптотические решения для задач теплопроводности с зависящими от координаты z теплоемкостью C и коэффициентом теплопроводности λ .

Посредством введения новой координаты [5]

$$x = \int_0^z \frac{dz}{\lambda(z)} \left(\int_0^{z_1} \frac{dz}{\lambda(z)} \right)^{-1}, \quad 0 \leq x \leq 1, z \leq x \leq z_1, \quad (1)$$

и использования безразмерных величин уравнение теплопроводности принимает вид

$$\gamma(x) \frac{\partial \theta}{\partial F_0} = \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2}, \quad (2)$$

где $\gamma(x) = C(z)\lambda(z)/\gamma_1$, $\gamma_1 = C(z_1)\lambda(z_1)$, $F_0 = \frac{\tau}{\gamma_1 z_1^2}$, $\theta(x, F_0) = \frac{T(z, \tau)}{T_0}$,

z_1 – ширина неограниченной пластины; τ – время; T_0 – начальная температура.

Применив к уравнению (2) преобразование Лапласа, получим

$$\frac{d^2 U_{si}^+}{dx^2} - s\gamma(x)U_{si}^+ = 0. \quad (3)$$

Если уравнение (3) в интервале $0 \leq x \leq 1$ не имеет особых точек, то первый член асимптотики ВКБ-решения записывается в виде [2]

$$U_s^+(x) = \frac{1}{\sqrt{\gamma(x)}} \left[A \exp(-\sqrt{s}\gamma_x) + B \exp(\sqrt{s}\gamma_x) \right], \quad \gamma_x = \int_0^x \sqrt{\gamma(x)} dx. \quad (4)$$

Для данного изображения обратное преобразование можно выполнить двумя способами [5, 6]. В первом случае теорема обращения [6] применяется непосредственно к выражению (4) и решение для $U(x, F_0)$ принимает вид ряда по собственным функциям. Этот путь неприемлем, поскольку изображение (4) справедливо только для больших значений s , и, следовательно, оригинал в форме ряда верен только для малых значений F_0 , когда ряд имеет плохую сходимость и неудобен для вычислений. Другой путь инверсии предполагает предварительное разложение (4) в ряд по экспоненциальным функциям, то есть в наиболее естественный для больших значений s ряд, в котором мож-

но ограничиться несколькими первыми числами. В этом случае обратное преобразование приводит к решению, имеющему наиболее простой вид при малых значениях времени τ .

Найденный вторым способом оригинал для данного изображения принимает вид

$$U(x, F_0) = \sqrt[4]{\frac{\gamma(1)}{\gamma(x)}} \sum_{n=0}^{\infty} \left[\operatorname{erfc} \frac{(2n+1)\gamma_1 - \gamma_x}{2\sqrt{F_0}} - \operatorname{erfc} \frac{(2n+1)\gamma_1 + \gamma_x}{2\sqrt{F_0}} \right]. \quad (5)$$

При получении асимптотического решения нет необходимости в расчетах учитывать всю сумму. Поэтому асимптотическое решение рассматриваемой задачи получается принципиально простым [3]:

$$U(x, F_0) = \sqrt[4]{\frac{\gamma(1)}{\gamma(x)}} \left(\operatorname{erfc} \frac{\gamma_1 - \gamma_x}{2\sqrt{F_0}} - \operatorname{erfc} \frac{\gamma_1 + \gamma_x}{2\sqrt{F_0}} \right). \quad (6)$$

Для случая $\gamma(x) = 1 + x$ расчет по предлагаемой формуле (6) и численным методом [7] до $F_0 = 0,2$ формула (6) дает результаты, графически совпадающие с значениями температуры, полученными численным методом. Заметное расхождение наблюдается только при $F_0 > 0,5$, что характерно для приближенных решений в форме Лапласа и более простых задач, когда теплофизические свойства тела не зависят от координаты.

Для симметричных относительно плоскости $x = 0$ граничных условий первого рода, а также для граничных условий второго и третьего родов найденные данным методом изображения и асимптотические решения приведены в [4].

Рассмотрим случай, когда температура поверхности $x = 0$ изменяется по степенному закону

$$U(0, F_0) = F_0^{k/2}, \quad k = 0, 1, \dots, \quad U(0, F_0) = 0.$$

Ограниченное при $x \rightarrow \infty$ ВКБ-решение уравнения (3) можно записать в виде [60]

$$U_s^+(x) = A \exp \left[\sqrt{s} \int_0^x \sum_{n=1}^{\infty} \varpi_n(x) s^{-n/2} dx \right], \quad (7)$$

где $\varpi_0 = -\sqrt{\gamma(x)}$, $\varpi_1 = -\frac{\varpi_0'}{2\varpi_0}$, $\varpi_2 = -\frac{\varpi_1' + \varpi_1^2}{2\varpi_0}$, $\varpi_{n+1} = -\frac{1}{2\varpi_0} \left(\varpi_n' + \sum_{m=1}^n \varpi_m \varpi_{n+1-m} \right)$, $n \geq 2$.

Разложив $\exp(\frac{g_x}{\sqrt{s}})$ в ряд Тейлора по степеням $1/\sqrt{s}$, получим

$$U_s^+(x) = \sqrt[4]{\frac{\gamma(0)}{\gamma(x)}} \Gamma\left(\frac{k}{2} + 1\right) \frac{\exp(-\sqrt{s}\gamma_x)}{s^{\frac{k}{2}+1}} \left(1 + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{g_x^n}{n!} s^{-\frac{n}{2}} \right), \quad g_x = \int_0^x \varpi_2(x) dx. \quad (8)$$

Переходя к оригиналу с помощью таблицы изображений [79], найдем

$$U(x, F_0) = \sqrt[4]{\frac{\gamma(0)}{\gamma(x)}} \Gamma\left(\frac{k}{2} + 1\right) (4F_0)^{\frac{k}{2}} \left(i^k \operatorname{erfc} \frac{\gamma_x}{2\sqrt{F_0}} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{g_x^n}{n!} F_0^{\frac{n}{2}} 2^n i^{n+k} \operatorname{erfc} \frac{\gamma_x}{2\sqrt{F_0}} \right). \quad (9)$$

При малых значениях F_0 в этом ряде допустимо ограничиться несколькими первыми слагаемыми.

Можно показать, что при $\gamma(x) = \text{const}$ полученные асимптотические решения переходят в известные решения, приведенные в [5, 6].

Список литературы

- 1 Маделунг, Э. Математический аппарат физики / Э. Маделунг. – М. : Наука, 1968. – 620 с.
- 2 Никифоров, А. Ф. Основы теории специальных функций / А. Ф. Никифоров, В. Б. Уваров. – М. : Наука, 1974. – 304 с.
- 3 Пшеничников, Ю. А. Асимптотика решения уравнений теплопроводности и диффузии для неоднородной среды / Ю. А. Пшеничников // Теплообмен и гидродинамика. – Красноярск : КПИ, 1975. – Вып. 3. – С. 29–34.
- 4 Пшеничников, Ю. А. Асимптотика решения неоднородной краевой задачи теплопроводности при зависимости коэффициентов переноса от координаты / Ю. А. Пшеничников // Теплообмен и гидродинамика. – Красноярск : КПИ, 1976. – Вып. 4. – С. 15–22.
- 5 Лыков, А. В. Теория теплопроводности / А. В. Лыков. – М. : Высш. шк., 1967. – 599 с.
- 6 Карслоу, Х. С. Теплопроводность твердых тел / Х. С. Карслоу, Д. К. Егер. – М. : Наука, 1964. – 488 с.
- 7 Ваничев, А. П. Приближенный метод решения задач теплопроводности при переменных константах / А. П. Ваничев // Известия АН СССР. ОТН. – 1946. – № 2. – С. 1767–1774.

АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ТРЕХСЛОЙНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ С ДЕФЕКТАМИ

Л. Н. РАБИНСКИЙ, М. И. МАРТИРОСОВ, Д. В. ДЕДОВА
Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация

Техническим заданием (ТЗ) современному среднемагистральному пассажирскому самолету, как правило, назначается проектный ресурс 60 тысяч полетов, 80 тысяч летных часов в пределах календарного срока службы 30 лет. В соответствии с ТЗ срок службы конструкции планера самолета (в том числе крыла и центроплана) до вероятного появления усталостных трещин должен составлять не менее половины проектного ресурса, т. е. быть не менее 30 тысяч полетов, или 40 тысяч летных часов.

В соответствии с требованиями действующих отечественных норм Авиационных правил АП-25 (Нормы летной годности самолетов транспортной категории) усталостная прочность, коррозионная стойкость, повреждения планера самолета должны быть таковы, чтобы при выполнении требований эксплуатационной технической документации аварийная или катастрофическая ситуация из-за усталости, коррозии, производственных (технологических) дефектов или случайных повреждений была бы практически невероятным событием в течение всего времени эксплуатации самолета (под практически невероятным событием принимается событие с вероятностью возникновения менее 10^{-9} за один летный час).

Элементы конструкции из полимерных композиционных материалов (ПКМ), применяемые в современном гражданском авиационном строении, должны иметь такой же уровень безопасности по условиям прочности, жесткости и устойчивости, что и элементы конструкций из традиционных металлических конструкционных материалов.

Основная задача, которая ставится при создании композита – совместить в одном материале несколько других, которые будут компенсировать недостатки друг друга. В результате получается новый материал, обладающий более высокими характеристиками, чем его компоненты по отдельности. Можно сказать, что композит – это материал, получаемый совмещением химически разнородных компонентов с четко выраженной поверхностью раздела. Основными факторами, определяющими безопасность, а также эффективность элементов конструкций из ПКМ, являются:

- нагружение за весь срок эксплуатации;
- производственные дефекты, например, технологического характера и механические повреждения, например, ударного действия;
- характеристики прочности, деформативности, трещиностойкости и длительной прочности самого ПКМ (на уровне материала) и элементов конструкций из него при действии широкого спектра нагрузок;
- способы неразрушающего контроля состояния готового изделия;
- ремонтпригодность;
- другие факторы.

Как отрицательный фактор, влияющий на практическое использование ПКМ в авиационном строении, следует отметить, что при производстве и эксплуатации элементов конструкции из таких материалов могут возникать дефекты различной природы, которые оказывают значительное влияние на механические характеристики и прочность.

Среди дефектов часто встречаются межслоевые дефекты типа расслоений. Под расслоением понимается нарушение адгезионной связи между монослоями в композитном пакете, вызванное механическими воздействиями, например, ударного характера или внутренними напряжениями в изделии после формования или проведения сборочно-монтажных работ.

В работе проводится численное исследование напряженно-деформированного состояния (НДС) трехслойных элементов конструкций под действием динамических нагрузок различного характера.

Рассматриваются плоские и цилиндрические панели, а также цилиндрические оболочки круговой формы. Данные трехслойные элементы конструкции состоят из двух тонких прочных внешних слоев – обшивок, выполненных из ПКМ, и слоя сотового заполнителя, разделяющего внешние слои. В различных местах изучаемых элементов конструкции между монослоями из ПКМ и между монослоем и заполнителем могут присутствовать множественные дефекты произвольной формы,

размеров и расположения. В частных случаях рассматриваются дефекты эллиптической, круговой и прямоугольной форм.

В качестве материалов монослоев обшивок рассматриваются клеевые препреги следующих марок: стеклоткани КМКС-2м.120.Т10, КМКС-2м.120.Т60, КМКС-2м.120.Т64; углеленты КМКУ-2м.120.Р-2009 и КМКУ-2м.120.Р-4510. Число монослоев и схемы укладок варьируются. В качестве сотовых заполнителей используются полимеросотопласты марок ПСП-1 и ПСП-1К (на основе полимерной бумаги типа «Номекс» и «Кевлар», пропитанных фенольной смолой) и стекло-сотопласты марки ССП-1 (на основе электроизоляционной ткани ЭЗ-100П, бакелитового лака ЛБС-1 и клея БФ-2). Форма ячеек сот – гексагональная. Исследуются следующие сотовые заполнители: ПСП-1-2,0-48, ПСП-1-2,0-64, ПСП-1-2,0-96, ПСП-1-2,0-144, ПСП-1К-2,0-48, ПСП-1К-2,0-64, ПСП-1К-2,0-96, ПСП-1К-2,0-144; ССП-1-2,5, ССП-1-3,5.

В работе анализируются следующие типы воздействий: нестационарные поля давлений, распределенные по различным законам; удар абсолютно жестким бойком полусферической формы; удар множественными и одиночными фрагментами из армированной резины, имеющей форму прямоугольного параллелепипеда (разрыв покрышки колеса шасси самолета при движении по взлетно-посадочной полосе аэродрома в условиях взлета или посадки); воздействие от набегающей волны давления заданной интенсивности, имитирующей действие потока струи двигателя пассажирского самолета на панель корневого закрылка, являющуюся трехслойной, а также другие динамические воздействия различного характера.

Задача решается численно методом конечных элементов (МКЭ). Создание конечно-элементной сетки осуществляется в программном комплексе Simcenter Femap. Каждый монослой моделируется отдельным набором конечных элементов (КЭ). Затем модель импортируется в программный комплекс LS-DYNA (Livermore Software Technology Corp.), где задаются нагрузка и граничные условия.

В результате проведенного численного исследования определяется распределение полей напряжений и деформаций в монослоях элементов конструкции в различные моменты времени. Вычисляется распределение индекса разрушения по различным критериям разрушения применительно к ПКМ.

Расчет проводится по критериям Puck, Hashin, Chang-Chang, Puppo-Evensen, Hoffman, LaRC (Langley Research Center). Считается, что разрушение наступает, когда индекс разрушения становится равным единице.

Приводится сравнение полученных результатов для панелей и оболочек с различными вариантами исполнения сотового заполнителя и обшивок, а также сравнение результатов для рассмотренных элементов конструкций с дефектами и без них. Проводится параметрический анализ.

Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда № 23-49-00133, выданного Московскому авиационному институту.

Список литературы

- 1 Исследование динамики композитных цилиндрических панелей с сотовым заполнителем с внутренними повреждениями под действием струи авиационного двигателя / Л. Н. Рабинский [и др.] // Станки. Инструмент. – 2024. – № 4. – С. 30–33.
- 2 Поведение трёхслойных панелей с сотовым заполнителем из полимеросотопластов повышенной плотности с внутренними дефектами при действии реактивной струи двигателя / Л. Н. Рабинский [и др.] // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2024. – Вып. 3. – С. 298–303.
- 3 Численное исследование влияния внутренних дефектов на напряженно-деформированное состояние трехслойной панели с различными типами сотового заполнителя / Д. В. Дедова [и др.] // Станки. Инструмент. – 2023. – № 10. – С. 27–30.

УДК 539.3

О ПЕРЕМЕННОМ НАГРУЖЕНИИ ТРАНСВЕРСАЛЬНО-ИЗОТРОПНЫХ УПРУГО-ПЛАСТИЧЕСКИХ ТЕЛ

Н. Б. РУЗИЕВА, А. АБДУСАТТАРОВ

Ташкентский государственный транспортный университет, Республика Узбекистан

Известно, что в линейной теории упругости анизотропных тел связь между тензором напряжений и деформаций имеет следующий вид и называется обобщенным законом Гука [1, 2]:

$$\sigma_{ij} = C_{ijkl} \varepsilon_{kl}, \quad (1)$$

где σ_{ij} и ε_{ij} – симметричные тензоры напряжений и деформаций соответственно; C_{ijkl} – симметричный тензор упругих постоянных,

Если тензор напряжений является изотропной функцией тензора деформации, то в наиболее общем виде можно записать [3, 4]

$$\sigma_{ij} = \alpha_1 \delta_{ij} + \alpha_2 \delta_{3i} \delta_{3j} + \alpha_3 \varepsilon_{ij} + \alpha_4 (\delta_{i3} \varepsilon_{3j} + \delta_{3j} \varepsilon_{3i}), \quad (2)$$

где $\alpha_1, \dots, \alpha_4$ – функции независимых инвариантов тензора деформаций, например:

$$\theta = \varepsilon_{ii}, \quad \bar{\varepsilon} = \varepsilon_{2j} \varepsilon_{2j}, \quad \bar{\varepsilon}_3 = \varepsilon_{3i} \varepsilon_{3i}. \quad (3)$$

За инварианты тензора напряжений можно принять аналогично:

$$3\sigma = \sigma_{ii}, \quad \bar{\sigma}_i = \sigma_{2j} \varepsilon_{2j}, \quad \bar{\sigma}_3 = \varepsilon_{3i} \varepsilon_{3i},$$

Следуя [2], обозначим через σ_{ij}^* и ε_{ij}^* компоненты тензора напряжений и деформаций при повторном нагружении. Введем разности

$$\sigma_{ij}^* = \sigma'_{ij} - \sigma''_{ij}, \quad \varepsilon_{ij}^* = \varepsilon'_{ij} - \varepsilon''_{ij}. \quad (4)$$

По аналогии (2), можно записать следующее соотношения

$$\sigma_{ij}^* = \alpha_1^* \cdot \delta_{ij} + \alpha_2^* \cdot \delta_{3i} \cdot \delta_{3j} + \alpha_3^* \cdot \varepsilon_{ij}^* + \alpha_4^* (\delta_{i3} \cdot \varepsilon_{3j}^* + \delta_{3j} \cdot \varepsilon_{3i}^*), \quad (5)$$

которые в упругом случае имеют вид

$$\begin{aligned} \alpha_1^* &= \lambda_4 \theta + (\lambda_3 - \lambda_4) \varepsilon_{33}^*; \\ \alpha_2^* &= (\lambda_5 - \lambda_4) \theta + (\lambda_3 + \lambda_4 - 2\lambda_7 - 2\lambda_5 - 4\lambda_5) \varepsilon_{33}^*; \\ \alpha_3^* &= 2\lambda_7, \quad \alpha_4^* = 2(\lambda_3 - \lambda_7). \end{aligned}$$

где $\lambda_3, \lambda_4, \lambda_5, \lambda_7, \lambda_9$ – упругие константы трансверсально изотропного тела.

Если тензор σ_{ij}^* является потенциальным, т. е. существует такая скалярная функция $w^*(\theta^*, \varepsilon_{33}^*, \bar{\varepsilon}^*, \bar{\varepsilon}_3^*)$, имеют место следующие соотношения [4]:

$$\begin{aligned} \sigma_{ij}^* &= \frac{\partial W^*}{\partial \varepsilon_{ij}^*}, \quad (6) \\ \alpha_1^* &= \frac{\partial W^*}{\partial \theta^*}, \quad \alpha_2^* = \frac{\partial W^*}{\partial \varepsilon_{33}^*}, \quad \alpha_3^* = \frac{\partial W^*}{\partial \bar{\varepsilon}^*}, \quad \alpha_4^* = \frac{\partial W^*}{\partial \bar{\varepsilon}_3^*}, \end{aligned}$$

Соотношения между напряжениями и деформациями при повторном нагружении обобщаются в виде

$$\sigma_{ij}^* = \bar{\sigma}^* (\delta_{ij} - \delta_{3i} \cdot \delta_{3j}) + \sigma_{33}^* \cdot \delta_{3i} \cdot \delta_{3j} + P_{ij}^* + Q_{ij}^*, \quad (7)$$

где

$$P_{ij}^* = P_{ij}^* \cdot \frac{P^*}{p^*}, \quad Q_{ij}^* = q_{ij}^* \cdot \frac{Q^*}{q^*}. \quad (8)$$

$$\begin{aligned} p^* &= \frac{\sqrt{2}}{2} \sqrt{(\varepsilon_{11}^* - \varepsilon_{22}^*)^2 + 4\varepsilon_{12}^{*2}}, \quad q^* = \sqrt{\varepsilon_{13}^{*2} - \varepsilon_{23}^{*2}}, \\ P^* &= \frac{\sqrt{2}}{2} \sqrt{(\sigma_{11}^* - \sigma_{22}^*)^2 + 4\sigma_{12}^{*2}}, \quad Q^* = \sqrt{\sigma_{13}^{*2} - \sigma_{23}^{*2}}. \end{aligned}$$

Определяющее соотношение теории пластичности при повторном нагружении трансверсально-изотропных тел в случае кусочно-линейной аппроксимации диаграмм деформирования имеет вид

$$\sigma_{ij}^* = C_{ijkl} \varepsilon_{kl}^* - 2p_{ij}^* (\lambda_2 - \lambda_2^*) \left(1 - \frac{p_{ij}^*}{p}\right) - 2q_{ij}^* (\lambda_5 - \lambda_5^*) \left(1 - \frac{q_{ij}^*}{q}\right), \quad P^* \geq P_S^*, \quad q^* \geq q_S^*, \quad (9)$$

Модельное уравнение (9) можно удобно представить в следующем виде:

$$\sigma_{ij}^* = C_{ijkl} \cdot \varepsilon_{kl}^* - \sigma_{ijp}^*, \quad (10)$$

где C_{ijkl} – так называемая релаксация тензора напряжений; σ_{ijp}^* – нелинейная часть соотношения (10):

$$\sigma_{ijp}^* = \begin{cases} 0, & \text{при } p^* < 0 \text{ и } q^* < 0. \\ 2p_{ij}^* (\lambda_2 - \lambda_2^*) \left(1 - \frac{p_{ij}^*}{p}\right), & \text{при } p^* \geq p_S^*, \\ 2q_{ij}^* (\lambda_5 - \lambda_5^*) \left(1 - \frac{q_{ij}^*}{q}\right), & \text{при } q^* \geq q_S^*. \end{cases} \quad (11)$$

В соотношении (11), λ_2^*, λ_5^* – касательные модули; P_S^*, q_S^* – пределы упругости в продольном и поперечном направлении трансверсально изотропного тела, соответственно

$$\begin{aligned} p_{ij}^* &= \varepsilon_{ij}^* + \frac{\theta^*}{2} (\delta_{i3} \cdot \delta_{j3} - \delta_{ij}) + \varepsilon_{33}^* \cdot \delta_{i3} \cdot \delta_{j3} - (\varepsilon_{i3}^* \cdot \delta_{j3} + \varepsilon_{3j}^* \delta_{i3}); \\ q_{ij}^* &= \varepsilon_{i3}^* \cdot \delta_{j3} + \varepsilon_{3j}^* \delta_{i3} - 2\varepsilon_{33}^* \cdot \delta_{i3} \cdot \delta_{j3}, \quad \theta^* = \varepsilon_{11}^* - \varepsilon_{22}^*, \\ p^* &= \sqrt{\frac{1}{2} p_{ij}^* p_{ij}^*} = \frac{\sqrt{2}}{2} \sqrt{(\varepsilon_{11}^* - \varepsilon_{22}^*)^2 + 4\varepsilon_{12}^{*2}}, \quad q^* = \sqrt{q_{ij}^* q_{ij}^*} = \sqrt{\varepsilon_{13}^{*2} - \varepsilon_{23}^{*2}}. \end{aligned} \quad (12)$$

Упругие модули имеют следующую связь с техническими константами [4]:

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= \frac{E(\nu+k(\nu)^2)}{e(1+\nu)}, \quad \lambda_2 = G = \frac{E}{2(1+\nu)}, \quad \lambda_3 = \frac{E\nu}{e}, \\ \lambda_4 &= \frac{E(1-\nu)}{e}, \quad \lambda_5 = G, \quad e = 1 - \nu - 2k(\nu)^2, \quad k = \frac{E}{E^*}. \end{aligned}$$

где E, ν, G – технические постоянные трансверсально изотропного материала. Они связаны с компонентами тензора упругих постоянных следующим образом:

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= C_{2211}, \quad \lambda_2 = C_{1212}, \quad \lambda_3 = C_{1133}, \quad \lambda_4 = C_{3333}, \quad \lambda_5 = C_{1313}, \\ \lambda_6 &= \lambda_7 = \lambda_1 + 2\lambda_2 = C_{2211} + 2C_{1212}, \quad \lambda_8 = \lambda_3 = C_{1133}, \quad \lambda_9 = \lambda_5 = C_{1313}. \end{aligned}$$

Учитывая соотношение (11), после некоторых преобразований получим следующую упругопластическую задачу в перемещениях при повторном нагружении:

$$\sum_{j,k,i=1}^3 \frac{\partial}{\partial x_i} \left(C_{ijkl} \frac{\partial u_k^*}{\partial x_j} - \sigma_{klp}^* \right) + X_i^* = 0, \quad x_i \in V, \quad (13)$$

$$u_i|_{\Sigma_1} = u_i^0, \quad x_i \in \Sigma_1, \quad (14)$$

$$\sum_{k,i,j=1}^3 n_j \left(C_{ijkl} \frac{\partial u_k^*}{\partial x_j} - \sigma_{ij}^* \right) \Big|_{\Sigma_2} = S_i, \quad x_i \in \Sigma_2, \quad (15)$$

где величина σ_{ijp}^* определена соотношением (11) и представляет собой нелинейную часть краевой задачи. Для решения краевых задач (13)–(15) применяется метод упругих решений. Применение метода упругих решений позволяет свести нелинейную задачу теории пластичности к последовательности упругих задач с переменной правой частью в уравнениях [5].

Список литературы

- 1 Ильюшин, А. А. Пластичность / А. А. Ильюшин. – М. : Гостехиздат, 1948. – 376 с.
- 2 Москвитин, В. В. Циклические нагружения элементов конструкций / В. В. Москвитин. – М. : Наука, 1981. – 344 с.
- 3 Победря, Б. Е. Численные методы в теории упругости и пластичности / Б. Е. Победря. – М. : Изд-во МГУ, 1996. – 343 с.
- 4 Теории пластичности и термопластичности анизотропных тел / А. А. Халджигитов [и др.]. – Ташкент : Фан ва технология, 2015. – 320 с.
- 5 Абдусаттаров, А. Деформирование и повреждаемость упругопластических элементов конструкций при циклических нагружениях / А. Абдусаттаров, Э. И. Старовойтов, Н. Б. Рузиева. – Ташкент : IDEAL PRESS, 2023. – 381 с.

ИЗГИБ КРУГОВОЙ ПЯТИСЛОЙНОЙ ПЛАСТИНЫ ЛОКАЛЬНОЙ НАГРУЗКОЙ

В. С. САЛИЦКИЙ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Спрос на использование слоистых конструкций обуславливает развитие математических моделей и методов их расчета на различные виды и типы нагрузок. В монографиях [1–5] приводятся подходы к принятию кинематических гипотез и построению краевых задач для трехслойных элементов конструкций. Свободные и вынужденные колебания трехслойных и пятислойных пластин рассмотрены в работах [6, 7].

Квазистатическому деформированию трехслойных пластин со сжимаемым и несжимаемым заполнителями посвящены статьи [8–12]. В публикациях [13–15] приводятся результаты об осесимметричном изгибе пятислойных пластин.

Уравнения равновесия для круговой пятислойной пластины в усилиях получены в [18]. Решение задачи об изгибе пятислойной круговой пластины равномерно распределенной нагрузкой приведено в [19, 20]. Здесь предлагается решение краевой задачи об изгибе пятислойной круговой пластины локальной круговой нагрузкой.

Рассматривается симметричная по толщине пятислойная круговая пластина, деформируемая локальной нагрузкой, равномерно распределенной по кругу относительного радиуса $r \leq b$:

$$q(r) = q_0 H_0(b-r), \quad (1)$$

где $H_0(x)$ – функция Хэвисайда; q_0 – интенсивность распределенной нагрузки.

Тонкие внешние несущие слои толщиной $h_2 = h_4$ и внутренний несущий слой толщиной h_1 выполнены из более прочных материалов и принимают на себя основную силовую нагрузку. Также в модели учитываются относительный сдвиг ψ и работа касательных напряжений в заполнителях. Цилиндрическая система координат r, φ, z связывается со срединной плоскостью внутреннего несущего слоя. Все геометрические размеры пластины отнесены к ее радиусу r_0 .

Система дифференциальных уравнений равновесия в перемещениях получена в [15] при равномерно распределенной нагрузке. В случае нагрузки (1) она принимает вид

$$\begin{aligned} L_2(a_4 \psi - a_5 w_{,r}) - 2cG_3 \psi &= 0, \\ L_3(a_5 \psi - a_6 w_{,r}) &= -q_0 H_0(b-r), \end{aligned} \quad (2)$$

где запятая в нижнем индексе обозначает операцию дифференцирования по следующей за ней координате; коэффициенты

$$\begin{aligned} a_4 &= \left[2K_2^+ h_2 h_3^2 + 2K_3^+ \frac{h_3^3}{3} \right], \quad a_5 = \left[K_2^+ h_2 h_3 (h_1 + 2h_3 + h_2) + 2K_3^+ h_3 \left(\frac{h_1 h_3}{4} + \frac{h_3^2}{3} \right) \right], \\ a_6 &= \left[2K_2^+ h_2 \left(\frac{h_1^2}{4} + \frac{h_1 h_2}{2} + h_1 h_3 + \frac{h_2^2}{3} + h_2 h_3 + h_3^2 \right) + K_1^+ \frac{h_1^3}{12} + 2K_3^+ h_3 \left(\frac{h_1^2}{4} + \frac{h_1 h_3}{2} + \frac{h_3^2}{3} \right) \right]; \end{aligned}$$

L_2, L_3 – линейные дифференциальные операторы

$$L_2(g) \equiv \left(\frac{1}{r} (rg)_{,r} \right)_{,r} \equiv g_{,rr} + \frac{g_{,r}}{r} - \frac{g}{r^2}, \quad L_3(g) \equiv \frac{1}{r} (r L_2(g))_{,r} \equiv g_{,rrr} + \frac{2g_{,rr}}{r} - \frac{g_{,r}}{r^2} + \frac{g}{r^3}.$$

Решение системы (2) для пластины, заделанной по контуру, имеет вид

$$\begin{aligned} \psi &= \frac{\gamma_1 q_0}{\beta^2} \left[\frac{I_1(\beta r)}{I_1(\beta)} \left(\frac{b^2}{2} - bK_1(\beta)I_1(\beta b) \right) + bI_1(\beta b)K_1(\beta r) + \frac{H_0(b-r)}{2} \left(\frac{b^2}{r} - r + 2b(K_1(\beta b)I_1(\beta r) - I_1(\beta b)K_1(\beta r)) \right) - \frac{b^2}{2r} \right], \\ w &= \frac{a_5}{a_6} \frac{\gamma_1 q_0}{\beta^2 I_1(\beta)} \left\{ \frac{I_0(\beta r)}{\beta I_1(\beta)} \left(\frac{b^2}{2} - bK_1(\beta)I_1(\beta b) \right) - \frac{b^2 I_0(\beta) \beta}{2\beta^2 I_1(\beta)} + \frac{bI_1(\beta b)}{\beta^2 I_1(\beta)} - \frac{bI_1(\beta b)K_0(\beta r)}{\beta} - \right. \\ &\quad \left. - \frac{b^2}{2} \ln(r) \frac{H_0(b-r)}{2} \left[\frac{b^2 - r^2}{2} + b^2 \ln \left(\frac{r}{b} \right) + \frac{2b}{\beta} (K_1(\beta b)I_0(\beta r) + I_1(\beta b)K_0(\beta r)) - \frac{2}{\beta^2} \right] \right\} + \end{aligned}$$

$$+ \frac{q_0}{8a_6} \left\{ \left(\frac{r^4 - 5b^4}{8} - \frac{b^4}{2} \ln \left(\frac{r}{b} \right) - b^2 r^2 \ln \left(\frac{r}{b} \right) + \frac{b^2 r^2}{2} \right) H_0(b-r) + b^2 r^2 (\ln r - 1) + \frac{b^2}{4} r^2 (2 - b^2) + \frac{b^4}{2} \ln r + \frac{b^4}{4a_6} + \frac{b^2}{2a_6} \right\}. \quad (3)$$

Численно исследованы прогиб и сдвиг (3) в защемленной по контуру пятислойной круговой пластине единичного радиуса, симметричной по толщине. За базовую расчетную модель принята пластина, слои которой набраны из материалов Д16-Т – фторопласт – Д16-Т – фторопласт – Д16-Т. Толщины несущих слоев: $h_1 = h_2 = h_4 = 0,02$, заполнителей: $h_3 = h_5 = 0,1$, величина нагрузки $q_0 = 10$ МПа. Упругие характеристики этих материалов приведены в [1].

Зависимость максимальных перемещений от величины пятна нагрузки (1) при различной толщине внутреннего несущего слоя следующая: уменьшение толщины внутреннего слоя в 2 раза приводит к увеличению прогиба на 11,4 процента; увеличение толщины внутреннего несущего слоя в 1,5 раза приводит к уменьшению прогиба на 15,2 процента.

Предложенное в работе решение позволяет моделировать напряженно-деформированное состояние круговых пятислойных пластин при локальных поверхностных нагрузках. Численные расчеты показали существенное влияние радиуса пятна нагрузки и жесткости материалов несущих слоев на величину максимальных перемещений в пластине.

Работа выполнена при финансовой поддержке ГПНИ «Конвергенция-25».

Список литературы

- 1 Горшков, А. Г. Механика слоистых вязкоупругопластических элементов конструкций / А. Г. Горшков, Э. И. Старовойтов, А. В. Яровая. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 576 с.
- 2 Журавков, М. А. Математические модели механики твердого тела / М. А. Журавков, Э. И. Старовойтов. – Минск : БГУ, 2021. – 535 с.
- 3 Zhuravkov, M. A. Mechanics of Solid Deformable Body / M. A. Zhuravkov, Lyu Yongtao, E. I. Starovoitov. – Singapore : Springer, 2022. – 317 p.
- 4 Абдусаттаров, А. Деформирование и повреждаемость упругопластических элементов конструкций при циклических нагружениях / А. Абдусаттаров, Э. И. Старовойтов, Н. Б. Рузиева. – Ташкент : IDEAL PRESS, 2023. – 381 с.
- 5 Деформирование трехслойных пластин при термосиловых нагрузках / Э. И. Старовойтов [и др.]. – Гомель : БелГУТ, 2024. – 395 с.
- 6 Старовойтов, Э. И. Исследование спектра частот трехслойной цилиндрической оболочки с упругим наполнителем / Э. И. Старовойтов, Д. В. Леоненко // Механика композиционных материалов и конструкций. – 2015. – Т. 21, № 2. – С. 162–169.
- 7 Лачугина, Е. А. Частоты собственных колебаний пятислойной круговой пластины / Е. А. Лачугина // Теоретическая и прикладная механика. – Минск : БНТУ, 2023. – Вып. 38. – С. 227–233.
- 8 Деформирование ступенчатой композитной балки в температурном поле / Э. И. Старовойтов [и др.] // Инженерно-физический журнал. – 2015. – Т. 88, № 4. – С. 987–993. – EDN UARYZD.
- 9 Захарчук, Ю. В. Трехслойная круговая упругопластическая пластина со сжимаемым наполнителем / Ю. В. Захарчук // Проблемы физики, математики и техники. – 2018. – № 4 (37). – С. 72–79.
- 10 Старовойтов, Э. И. Изгиб трехслойной пластины равномерно распределенной нагрузкой в нейтронном потоке / Э. И. Старовойтов // Проблемы физики, математики и техники. – 2021. – № 3 (48). – С. 56–62.
- 11 Козел, А. Г. Уравнения равновесия упругопластической круговой пластины на основании пастернака / А. Г. Козел // Механика. Исследования и инновации. – Гомель : БелГУТ, 2018. – Вып. 11. – С. 127–133.
- 12 Нестерович, А. В. Напряженное состояние круговой трехслойной пластины при осесимметричном нагружении в своей плоскости / А. В. Нестерович // Механика. Исследования и инновации. – Гомель : БелГУТ, 2019. – Вып. 12. – С. 152–157.
- 13 Салицкий, В. С. Уравнения равновесия круговой пятислойной пластины в усилиях / В. С. Салицкий // Динамические и технологические проблемы механики конструкций и сплошных сред : материалы XXVII Междунар. симпозиума им. А. Г. Горшкова. – 2021. – Т. 1. – С. 199–201.
- 14 Салицкий, В. С. Изгиб защемленной по контуру круговой пятислойной пластины / В. С. Салицкий // Механика. Исследования и инновации. – Гомель : БелГУТ, 2022. – Вып. 15. – С. 209–213.
- 15 Салицкий, В. С. Изгиб круговой пятислойной пластины / В. С. Салицкий // Теоретическая и прикладная механика. – Минск, 2023. – Вып. 38 – С. 234–239.

УДК 539.3

СЭНДВИЧ-ПЛАСТИНА ПРИ РЕЗОНАНСНОЙ НАГРУЗКЕ В ТЕМПЕРАТУРНОМ ПОЛЕ

Э. И. СТАРОВОЙТОВ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Введение. Конструктивные слоистые элементы широко применяются с середины прошлого века в транспортном машиностроении, аэрокосмическом комплексе и строительстве. Исследование

их поведения при динамическом нагружении с учетом окружающей температуры является одним из наиболее актуальных вопросов в последнее время. Созданию необходимых математических моделей посвящен многочисленный ряд публикаций. Рассмотрим некоторые из них.

Монографии [1–6] посвящены разработке расчетных моделей деформирования слоистых конструкций при воздействии различных физико-механических полей. Предлагаются подходы к выбору кинематических гипотез, постановке и методике решения задач статики и динамики, отмечаются возникающие особенности при температурных воздействиях. В статьях [7–9] рассмотрены свободные колебания и нестационарные нагружения тонкостенных элементов конструкций, включая цилиндрические оболочки. В работах [10–16] исследовано напряженно-деформированное состояние трехслойных стержней и пластин при квазистатическом нагружении.

1 Постановка задачи проведена в цилиндрической системе координат, связанной со срединной плоскостью заполнителя. Для тонких несущих слоев с одинаковыми толщинами $h_1 = h_2 = h$ справедливы гипотезы Кирхгофа. В легком относительно толстом заполнителе ($h_3 = 2c$) принята гипотеза Тимошенко. К внешней поверхности $z = c + h_1$ в начальный момент времени подается тепловой поток интенсивности q_0 , благодаря которому изменяется усредненная температура пластины.

Для связи напряжений и деформаций в слоях использовался закон Гука с учетом температуры:

$$\begin{aligned} s_{\alpha}^{(k)} &= 2G_k \vartheta_{\alpha}^{(k)}, \quad \sigma^{(k)} = 3K_k (\varepsilon^{(k)} - \alpha_{0k} T) \quad (\alpha = r, \varphi), \\ s_{rz}^{(3)} &= 2G_k \vartheta_{rz}^{(3)}, \end{aligned} \quad (1)$$

где $s_{\alpha}^{(k)}, s_{rz}^{(3)}, (\vartheta_{\alpha}^{(k)}, \vartheta_{rz}^{(3)})$ – девиаторы тензоров напряжений (деформаций); $\sigma^{(k)}, (\varepsilon^{(k)})$ – среднее напряжение (деформация); $G_k(T), K_k(T)$ – термозависимые модули сдвига и объемного деформирования, совпадающие в несущих слоях $G_1 = G_2 = G, K_1 = K_2 = K$; α_{0k} – коэффициент линейного температурного расширения материалов слоев.

Гармоническая силовая нагрузка, равномерно распределена по поверхности верхнего слоя:

$$q(r, t) = q_0 (D \cos(\omega_k t) + E \sin(\omega_k t)), \quad (2)$$

где $q_0 = \text{const}$; ω_k – интенсивность и частота нагрузки, совпадающая с одной из собственных частот пластины $\omega_k = \omega_n$; D, E – параметры нагрузки.

Общие уравнения колебаний рассматриваемой пластины без учета воздействия температурного поля приведены в [1]. В нашем случае сэндвич-пластины уравнений останется два, коэффициенты a_i будут зависеть от температуры через модули упругости, а в правой части второго уравнения появится резонансная нагрузка (2):

$$\begin{aligned} L_2(a_4 \psi - a_5 w_{,r}) &= 0, \\ L_3(a_5 \psi - a_6 w_{,r}) - M_0 \ddot{w} &= q_0 (D \cos(\omega_k t) + E \sin(\omega_k t)), \end{aligned} \quad (3)$$

где $w(r, t), \psi(r, t)$ – искомые прогиб и относительный сдвиг; $M_0 \ddot{w}$ – инерционные силы, причем $M_0 = (\rho_1 h_1 + \rho_2 h_2 + \rho_3 h_3) r_1^2$, ρ_k – плотность материала, точка сверху обозначает производную по времени; дифференцирование по координате r обозначено запятой в нижнем индексе; коэффициенты a_i и дифференциальные операторы L_2, L_3 –

$$\begin{aligned} a_4 &= c^2 \left(2hK^+ + \frac{2}{3} cK_3^+ \right), \quad a_5 = c \left[2h \left(c + \frac{1}{2} h \right) K^+ + \frac{2}{3} c^2 K_3^+ \right], \quad a_6 = 2h \left(c^2 + ch + \frac{1}{3} h \right) K^+ + \frac{2}{3} c^3 K_3^+ \\ K_k^+ &= K_k + \frac{4}{3} G_k, \quad L_2(g) \equiv g_{,rr} + \frac{g_{,r}}{r} - \frac{g}{r^2}, \quad L_3(g) \equiv g_{,rrr} + \frac{2g_{,rr}}{r} - \frac{g_{,r}}{r^2} + \frac{g}{r^3}. \end{aligned} \quad (4)$$

Для описания зависимости упругих характеристик материалов слоев от температуры применялась известная формула Белла [1].

На контуре пластины принимается наличие жесткой диафрагмы, препятствующей относительному сдвигу слоев $\psi(r_1, t) = 0$. Граничные условия при шарнирном опирании:

$$\psi(r_1, t) = w(r_1, t) = 0, \quad M_r(r_1, t) = \sum_{k=1}^3 \int_{h_k} \sigma_r^{(k)} dz = 0, \quad (5)$$

где $\sigma_r^{(k)}$ – радиальные напряжения; M_r – радиальный изгибающий момент.

В начальный момент времени прогиб и скорость отсутствуют:

$$w(r, 0) = 0, \quad \dot{w}(r, 0) = 0. \quad (6)$$

2 Решение задачи. Система (3) после элементарных преобразований приводится к виду

$$\psi = \frac{a_5}{a_4} w_{,r} + C_3 r + \frac{C_4}{r},$$

$$L_3(w_{,r}) + M^4 \ddot{w} = q_0 (D \cos(\omega_k t) + E \sin(\omega_k t)). \quad (7)$$

где $M^4 = \frac{a_4}{a_6 a_4 - a_5^2} M_0$.

В (7) необходимо положить константу интегрирования $C_4 = 0$, т. к. относительный сдвиг ψ ограничен в центре пластины. Подставив первое уравнение (7) в граничные условия (5), выразим оставшуюся константу интегрирования через значение производной от прогиба на контуре:

$$C_3 = -\frac{a_5}{a_4 r_1} w_{,r}(r_1, t).$$

Используя это выражение, получим второе граничное условие для прогиба:

$$w = 0, \quad a_6 w_{,rr} + \frac{a_{60}}{r_1} w_{,r} = 0, \quad (r = r_1). \quad (8)$$

Следовательно, прогиб рассматриваемой пластины, должен удовлетворять дифференциальному уравнению в (7), начальным условиям (6) и граничным условиям (8).

Искомые функции и нагрузку разложим в ряд по системе собственных функций $v_n(\beta_n r)$, [1]:

$$w(r, t) = \sum_{n=0}^{\infty} v_n T_n(t), \quad \psi(r, t) = \frac{a_5}{a_4} \sum_{n=0}^{\infty} v_{,r} T_n(t), \quad q(r, t) = M_0 \sum_{n=0}^{\infty} v_n q_n(t),$$

$$v_n(\beta_n r) \equiv \frac{1}{d_n} \left[J_0(\beta_n r) - \frac{J_0(\beta_n r_1)}{I_0(\beta_n r_1)} J_0(\beta_n r) \right], \quad (9)$$

где $T_n(t)$ – неизвестная функция времени; β_n – собственные числа; d_n – нормировочный коэффициент; $J_0(\beta_n r)$, $I_0(\beta_n r)$ – функции Бесселя; $q_n(t)$ – коэффициенты разложения нагрузки (2) в ряд

$$q_n(t) = \frac{1}{M_0} \int_0^{r_1} q(r, t) v_n r dr = D_n \cos(\omega_k t) + E_n \sin(\omega_k t),$$

$$D_n = Df(\beta_n), \quad E_n = Ef(\beta_n), \quad f(\beta_n) = \frac{q_0 r_1}{M_0 d_n \beta_n} \left[J_1(\beta_n r_1) - \frac{J_0(\beta_n r_1)}{I_0(\beta_n r_1)} I_1(\beta_n r_1) \right].$$

Если во второе уравнение системы (7) подставить выражения (9) с учетом коэффициентов $q_n(t)$, то, используя ортонормированность системы собственных функций v_n , получим дифференциальное уравнение второго порядка для нахождения искомой функции времени $T_n(t)$:

$$\ddot{T}_n(t) + \omega_n^2 T_n(t) = D_n \cos(\omega_k t) + E_n \sin(\omega_k t). \quad (10)$$

Решение уравнения (10) можно принять в виде

$$T_n(t) = A_n \cos(\omega_n t) + B_n \sin(\omega_n t) + y_n(t), \quad (11)$$

где $y_n(t)$ – частное решение, зависящее от частоты резонансной нагрузки ω_k ,

$$y_n(t) = \begin{cases} \frac{E_n}{\omega_n^2 - \omega_k^2} \sin(\omega_k t) + \frac{D_n}{\omega_n^2 - \omega_k^2} \cos(\omega_k t) & \text{при } n \neq k, \\ \frac{D_k}{2\omega_k} t \sin(\omega_k t) - \frac{E_k}{2\omega_k} t \cos(\omega_k t), & \text{при } n = k. \end{cases}$$

Подставив в начальные условия выражение для прогиба (9) и функцию (11), получим константы интегрирования A_n, B_n . Таким образом, резонансные колебания рассматриваемой пластины, учитывающие окружающую температуру, описываются выражениями (9) с функцией времени (11).

Выводы. Предложенная математическая модель термосилового резонансного воздействия на трехслойную упругую круговую пластину позволяет учитывать влияние температуры окружающей среды на параметры колебаний. Численная апробация решения показала, что при резонансе по более высокой собственной частоте происходит уменьшение скорости увеличения амплитуды колебаний за принятый интервал времени. Например, максимальный прогиб при частоте ω_0 больше соответствующего прогиба при частоте ω_1 примерно в 15 раз. Нагревание пластины приводит к росту прогиба на 11 %.

Работа выполнена при финансовой поддержке ГПНИ «Конвергенция-2025».

Список литературы

- 1 Горшков, А. Г. Механика слоистых вязкоупругопластических элементов конструкций / А. Г. Горшков, Э. И. Старовойтов, А. В. Яровая. – М. : Физматлит, 2005. – 576 с. – EDN RXGSLJ.
- 2 Журавков, М. А. Математические модели механики твердого тела / М. А. Журавков, Э. И. Старовойтов. – Минск : БГУ, 2021. – 535 с.
- 3 Zhuravkov, M. A. Mechanics of Solid Deformable Body / M. A. Zhuravkov, Lyu Yongtao, E. I. Starovoitov. – Singapore : Springer, 2022. – 317 p.
- 4 Абдусаттаров, А. Деформирование и повреждаемость упругопластических элементов конструкций при циклических нагрузениях / А. Абдусаттаров, Э. И. Старовойтов, Н. Б. Рузиева. – Ташкент : IDEAL PRESS, 2023. – 381 с.
- 5 Carrera, E. Thermal Stress Analysis of Composite Beams, Plates and Shells : Computational Modelling and Applications / E. Carrera, F. A. Fazzolari, M. Cinefra. – Academic Press, 2016. – 440 p.
- 6 Деформирование трехслойных пластин при термосиловых нагрузках / Э. И. Старовойтов [и др.]. – Гомель : БелГУТ, 2024. – 395 с.
- 7 Старовойтов, Э. И. Исследование спектра частот трехслойной цилиндрической оболочки с упругим наполнителем / Э. И. Старовойтов, Д. В. Леоненко // Механика композиционных материалов и конструкций. – 2015. – Т. 21, № 2. – С. 162–169.
- 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, no 4. – P. 359–367. – DOI : 10.1007/s10778-016-0760-8.
- 9 Tarlakovskii, D. V. Two-Dimensional Nonstationary Contact of Elastic Cylindrical or Spherical Shells / D. V. Tarlakovskii, G. V. Fedotenko // Journal of Machinery Manufacture and Reliability. – 2014. – Vol. 43, no. 2. – P. 145–152.
- 10 Старовойтов, Э. И. Изгиб упругой круговой трехслойной пластины на основании Пастернака / Э. И. Старовойтов, А. Г. Козел // Механика композиционных материалов и конструкций. – 2018. – Т. 24, № 3. – С. 392–406.
- 11 Козел, А. Г. Уравнения равновесия упругопластической круговой пластины на основании пастернака / А. Г. Козел // Механика. Исследования и инновации. – Гомель : БелГУТ, 2018. – Вып. 11. – С. 127–133.
- 12 Трацевская, Е. Ю. Динамическая неустойчивость квазитрехослоенных моренных грунтов / Е. Ю. Трацевская // Литосфера. – 2017. – № 1 (46). – С. 107–111.
- 13 Захарчук, Ю. В. Перемещения в круговой трехслойной пластине со сжимаемым наполнителем / Ю. В. Захарчук // Механика. Исследования и инновации. – Гомель : БелГУТ, 2017. – Вып. 10. – С. 55–66.
- 14 Нестерович, А. В. Напряженное состояние круговой трехслойной пластины при осесимметричном нагружении в своей плоскости / А. В. Нестерович // Механика. Исследования и инновации. – Гомель : БелГУТ, 2019. – Вып. 12. – С. 152–157.
- 15 Деформирование ступенчатой композитной балки в температурном поле / Э. И. Старовойтов [и др.] // Инженерно-физический журнал. – 2015. – Т. 88, № 4. – С. 987–993.
- 16 Старовойтов, Э. И. Деформирование трехслойного стержня в температурном поле / Э. И. Старовойтов, Д. В. Леоненко // Механика машин, механизмов и материалов. – 2013. – № 1 (22). – С. 31–35.

УДК 539.3

ВОЗДЕЙСТВИЕ ТЕПЛООВОГО УДАРА НА ВЫНУЖДЕННЫЕ КОЛЕБАНИЯ ТРЕХСЛОЙНОЙ ПЛАСТИНЫ

Э. И. СТАРОВОЙТОВ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Д. В. ТАРЛАКОВСКИЙ, Г. В. ФЕДОТЕНКОВ

НИИ механики МГУ им. М. В. Ломоносова, г. Москва, Российская Федерация

Трехслойные элементы конструкций, в том числе пластины, широко применяются с середины прошлого века в транспортном машиностроении и строительстве. Для проведения их прочностных расчетов возникает необходимость создания расчетных математических моделей, чему и посвящен многочисленный ряд публикаций.

Монографии [1–7] посвящены построению математических моделей деформирования трехслойных элементов конструкций при квазистатических и динамических нагрузках. Свободные, вынужденные и резонансные колебания трехслойных пластин и оболочек, в том числе при нестационарных нагрузках исследовались в работах [8–12]. Статьи [13–18] посвящены квазистатическому деформированию трехслойных стержней и пластин.

В предлагаемой работе исследовано воздействие теплового удара на вынужденные колебания круговой трехслойной пластины, возбужденные импульсной нагрузкой. Предполагается, что трехслойная круговая пластина шарнирно оперта по контуру. На нее в начальный момент падают тепловой поток интенсивностью q_i и равномерно распределенный силовой импульс

$$q(r, t) = q_1 \delta(t),$$

где $q_1 = \text{const}$ – интенсивность импульса; $\delta(t)$ – дельта-функция Дирака.

Распределение нестационарной температуры по толщине пластины вычисляется по приближенной формуле, полученной в [1]. Используя гипотезу Неймана, на свободные колебания, вызванные тепловым ударом (мгновенным падением теплового потока), накладываются вынужденные колебания от импульсной нагрузки.

Для несущих слоев трехслойной круговой пластины принимаются гипотезы Кирхгофа. В легком заполнителе справедлива гипотеза Тимошенко о прямолинейности и несжимаемости деформированной нормали, которая поворачивается на некоторый дополнительный угол $\psi(r)$. Искомыми функциями считаются также прогиб $w(r)$ и радиальное перемещение срединной плоскости заполнителя $u(r)$. Проведен вывод системы дифференциальных уравнений в частных производных, описывающих поперечные колебания упругой круговой трехслойной пластины в температурном нестационарном поле. Полный прогиб представляется в виде суммы квазистатического w_s и динамического w_d прогибов, где

$$w_s = r_0^2 M_i \left[1 - (r/r_0)^2 \right] / 2(a_7 + a_8).$$

Начальные условия неоднородные, в них появляется ненулевая скорость:

$$\dot{w}_d = 0, \quad \dot{w}_d = -r_0^2 \dot{M}_i(0) \left[1 - (r/r_0)^2 \right] / 2(a_7 + a_8).$$

Динамическая составляющая w_d представляется в виде разложения в ряд по системе собственных ортонормированных функций. Проведен численный параметрический анализ зависимости собственных чисел и частот колебаний от температуры, материалов и толщин слоев.

Искомое решение выписано в виде разложения в ряд по системе собственных ортонормированных функций. Приведены расчетные формулы для перемещений и относительного сдвига в заполнителе. Проведен численный параметрический анализ прогиба пластины и частот собственных колебаний в зависимости от интенсивности и времени воздействия теплового потока, геометрических параметров пластины, материалов несущих слоев.

Предложенная механико-математическая модель термосилового динамического воздействия на трехслойные упругие круговые пластины позволяет учитывать влияние теплового удара на параметры колебаний. При шарнирно опертом контуре пластины тепловой удар приводит к возникновению свободных колебаний, на которые накладываются вынужденные колебания от импульсной силовой нагрузки. Численные исследования показали, что увеличение жесткости материала несущего слоя приводит к уменьшению квазистатической составляющей прогиба.

Работа выполнена при финансовой поддержке ГПНИ «Конвергенция-2025».

Список литературы

- 1 Горшков, А. Г. Механика слоистых вязкоупругопластических элементов конструкций / А. Г. Горшков, Э. И. Старовойтов, А. В. Яровая. – М. : Физматлит, 2005. – 576 с. – EDN RXGSLJ.
- 2 Журавков, М. А. Математические модели механики твердого тела / М. А. Журавков, Э. И. Старовойтов. – Минск : БГУ, 2021. – 535 с.
- 3 Zhuravkov, M. A. Mechanics of Solid Deformable Body / M. A. Zhuravkov, Lyu Yongtao, E. I. Starovoirov. – Singapore : Springer, 2022. – 317 p.
- 4 Абдусаттаров, А. Деформирование и повреждаемость упругопластических элементов конструкций при циклических нагружениях / А. Абдусаттаров, Э. И. Старовойтов, Н. Б. Рузиева. – Ташкент : IDEAL PRESS, 2023. – 381 с.
- 5 Деформирование трехслойных пластин при термосиловых нагрузках / Э. И. Старовойтов [и др.]. – Гомель : БелГУТ, 2024. – 395 с.
- 6 Тарлаковский, Д. В. Общие соотношения и вариационные принципы математической теории упругости : учеб. пособие / Д. В. Тарлаковский, Г. В. Федотенков. – М. : МАИ-Принт, 2009. – 111 с. – EDN QJWNEP.

- 7 **Carrera, E.** Thermal Stress Analysis of Composite Beams, Plates and Shells : Computational Modelling and Applications / E. Carrera, F. A. Fazzolari, M. Cinefra. – Academic Press, 2016. – 440 p.
- 8 **Старовойтов, Э. И.** Исследование спектра частот трехслойной цилиндрической оболочки с упругим наполнителем / Э. И. Старовойтов, Д. В. Леоненко // Механика композиционных материалов и конструкций. – 2015. – 21, № 2. – С. 162–169.
- 9 **Tarлакoвskii, D. V.** Two-Dimensional Nonstationary Contact of Elastic Cylindrical or Spherical Shells / D. V. Tarлакoвskii, G. V. Fedotenkov // Journal of Machinery Manufacture and Reliability. – 2014. – Vol. 43, no. 2. – P. 145–152.
- 10 **Вестяк, В. А.** Распространение нестационарных объемных возмущений в упругой полуплоскости / В. А. Вестяк, А. С. Садков, Д. В. Тарлаковский // Известия Российской академии наук. Механика твердого тела. – 2011. – № 2. – С. 130–140. – EDN NHLAQR.
- 11 Воздействие нестационарного давления на тонкую сферическую оболочку с упругим наполнителем / А. В. Вестяк [и др.] // Вычислительная механика сплошных сред. – 2016. – Т. 9, № 4. – С. 443–452. – DOI : 10.7242/1999-6691/2016.9.4.37. – EDN XDDTSX.
- 12 **Трацевская, Е. Ю.** Демпфирующие свойства слабосвязных трехфазных грунтов / Е. Ю. Трацевская // Литосфера. – 2017. – № 2 (51). – С. 115–121.
- 13 Деформирование ступенчатой композитной балки в температурном поле / Э. И. Старовойтов [и др.] // Инженерно-физический журнал. – 2015. – Т. 88, № 4. – С. 987–993. – EDN UARYZD.
- 14 **Старовойтов, Э. И.** Изгиб трехслойной пластины равномерно распределенной нагрузкой в нейтронном потоке / Э. И. Старовойтов // Проблемы физики, математики и техники. – 2021. – № 3 (48). – С. 56–62. – DOI : 10.54341/20778708_2021_3_48_56. – EDN ZPDZRF.
- 15 **Старовойтов, Э. И.** Деформирование трехслойной упругопластической пластины погонными нагрузками / Э. И. Старовойтов, М. А. Журавков // Механика. Исследования и инновации. – Гомель : БелГУТ, 2019. – Вып. 12. – С. 191–197. – EDN CYOCOI.
- 16 **Starovoitov, E. I.** Thermal effect on deformation of a sandwich rod with compressible filler / E. I. Starovoitov, A. D. Zeyad // Материалы, технологии, инструменты. – 2009. – Vol. 14, no. 1. – P. 16–22. – EDN YIEDCE.
- 17 **Старовойтов, Э. И.** Изгиб трехслойной пластины в температурном поле моментной нагрузкой / Э. И. Старовойтов, А. В. Яровая, А. Абдусаттаров // Механика. Исследования и инновации. – Гомель : БелГУТ, 2023. – Вып. 16. – С. 189–195. – EDN FWEFAI.
- 18 **Starovoitov, E. I.** Study of dynamic characteristics of three-phase soils and three-layer beams / E. I. Starovoitov, E. Y. Tratsevskaya, E. L. Kuznetsova // Journal of the Balkan Tribological Association. – 2021. – Vol. 27, no. 5. – P. 929–946. – EDN XNIYPS.

УДК 620.179

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ПОВРЕЖДЕНИЯ АВИАЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО НЕПРЕРЫВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ СТРУИ ВОДЫ

СУНЬ ИН, Л. Н. РАБИНСКИЙ, А. В. БАБАЙЦЕВ
Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация

Когда самолет проходит через дождливую зону на высокой скорости, покрытие на передней кромке фюзеляжа будет постоянно разъедаться каплями дождя, что приведет к износу, растрескиванию или даже отслаиванию покрытия. В работе в качестве базового материала исследуется полимерный композиционный материал при различных скоростях и количестве ударов использовалось оборудование, чтобы смоделировать эрозию покрытия, вызванную непрерывным воздействием капель воды. Морфология повреждений образцов на различных стадиях повреждения наблюдалась с помощью цифрового микроскопа и сканирующего электронного микроскопа (SEM). Кривая эволюции повреждений была создана для анализа и выявления поведения повреждений и механизма повреждения при дождевой эрозии. Результаты показывают, что степень повреждения имеет тенденцию к увеличению с ростом числа ударов и скорости, вплоть до образования кругового повреждения в виде корки; в инкубационный период повреждения не возникали, а кривизна кривой эволюции повреждения значительно увеличилась после периода расширения и в конечном итоге показала стабильную тенденцию расширения. Механические свойства материала покрытия являются основными факторами, влияющими на его стойкость к дождевой коррозии. Кроме того, была исследована осесимметричная нестационарная контактная задача о падении капель на поверхность твердого деформируемого тела. Площадь контакта определялась на основе метода граничного позиционирования с итерационным алгоритмом. Предложены математическая модель и замкнутая математическая формула, описывающая нестационарное взаимодействие капли с твердым деформируемым препятствием.

Работа выполнена за счет гранта Российского научного фонда (проект № 23-49-00133 со стороны РФ, проект № 12261131505 со стороны Китая).

УРАВНЕНИЯ РАВНОВЕСИЯ В УСИЛИЯХ ДЛЯ ПЯТИСЛОЙНОГО СТЕРЖНЯ

К. В. СУСЛОВ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Многослойные элементы конструкций нашли широкое применение в авиационной, строительной и машиностроительной отраслях. В связи с этим разработка математических моделей их деформирования является актуальной. Методы расчета и постановки краевых задач для трехслойных элементов конструкций исследованы в монографиях [1–6]. Деформирование трехслойных стержней и пластин рассматривалось в работах [7–12]. Деформированию пятислойных элементов конструкций посвящены статьи [13–16].

Постановка задачи. Рассмотрено деформирование упругой пятислойной балки, симметричной по толщине, состоящей из трех несущих слоев (два внешних и центральный) и двух заполнителей. В тонких несущих слоях справедливы гипотезы Кирхгофа, в заполнителях – гипотеза Тимошенко о прямолинейности и несжимаемости нормали, которая поворачивается на дополнительный угол $\psi(x)$. Постановка краевой задачи приведена в декартовой системе координат, связанной со срединной плоскостью центрального несущего слоя. Ось x направлена вдоль осевой линии стержня. Искомыми функциями являются прогиб стержня w и относительный сдвиг ψ в заполнителях, которые зависят от координаты x . На торцах балки ($x = 0; l$) предполагается наличие жесткой диафрагмы, препятствующей относительному сдвигу слоев.

В соответствии с принятыми гипотезами продольное перемещение в слоях следующее:

$$\begin{aligned}\varepsilon_x^{(4)} &= -zw_{,xx} + c\psi_{,x}; & \varepsilon_{xz}^{(4)} &= 0; \\ \varepsilon_x^{(5)} &= -zw_{,xx} + (z - h)\psi_{,x}; & \varepsilon_{xz}^{(5)} &= \frac{\psi}{2}; \\ \varepsilon_x^{(1)} &= -zw_{,xx}; & \varepsilon_{xz}^{(1)} &= 0; \\ \varepsilon_x^{(3)} &= -zw_{,xx} + (z + h)\psi_{,x}; & \varepsilon_{xz}^{(3)} &= \frac{\psi}{2}; \\ \varepsilon_x^{(2)} &= -zw_{,xx} - c\psi_{,x}; & \varepsilon_{xz}^{(2)} &= 0.\end{aligned}$$

где z – координата рассматриваемого волокна (расстояние до срединной поверхности внутреннего несущего слоя); $c\psi$ – величина смещения верхнего несущего слоя за счет деформации заполнителя, для нижнего несущего слоя смещение $-c\psi$ достигается за счет заполнителя, коэффициент вверху соответствует номерам слоев, которые расположены в подобном порядке.

Деформации в слоях выражаются через продольные перемещения в соответствии с соотношениями Коши. Напряжения вычисляются через деформации с помощью закона Гука. Внутренние усилия в слоях стержня введены с помощью компонентов тензора напряжения $\sigma_x^{(k)}, \sigma_{xz}^{(k)}$:

$$N^{(k)} = b_0 \int_{h_k} \sigma_x^{(k)} dz, \quad M^{(k)} = b_0 \int_{h_k} \sigma_x^{(k)} z dz, \quad Q^{(k)} = b_0 \int_{h_k} \sigma_{xz}^{(k)} dz.$$

В стержне приняты следующие обобщенные внутренние усилия

$$\begin{aligned}M &= \sum_{k=1}^5 M^{(k)}; & H &= (M_x^{(3)} + M_x^{(5)}) + c(N_x^{(4)} - N_x^{(2)}) + h(N_x^{(3)} - N_x^{(5)}); \\ Q &= Q^{(3)} + Q^{(5)}.\end{aligned}$$

Уравнения равновесия пятислойного стержня получены с помощью принципа возможных перемещений Лагранжа. При определении работы внешних сил считалось, что к срединной поверхности заполнителя приложена произвольно распределенная нагрузка $q(x)$, а к торцам стержня – сосредоточенные силы и моменты. В результате имеем следующие уравнения равновесия в усилиях для пятислойного стержня:

$$H_{,x} - Q = 0,$$

$$M_{,xx} + b_0 q = 0.$$

где H_x, M_x, Q – обобщенные внутренние усилия, запятая в нижнем индексе обозначает операцию дифференцирования по следующей за ней координате; b_0 – ширина стержня.

Заключение. Полученные уравнения равновесия в усилиях позволяют поставить краевую задачу для определения параметров напряженно-деформированного состояния пятислойных стержней, симметричных по толщине.

Работа выполнена при финансовой поддержке ГПНИ «Конвергенция-25».

Список литературы

- 1 Горшков, А. Г. Механика слоистых вязкоупругопластических элементов конструкций / А. Г. Горшков, Э. И. Старовойтов, А. В. Яровая. – М. : Физматлит, 2005. – 576 с. – EDN RXGSLJ
- 2 Журавков, М. А. Математические модели механики твердого тела / М. А. Журавков, Э. И. Старовойтов. – Минск : БГУ, 2021. – 535 с.
- 3 Zhuravkov, M. A. Mechanics of Solid Deformable Body / M. A. Zhuravkov, Lyu Yongtao, E. I. Starovoitov. – Singapore : Springer, 2022. – 317 p.
- 4 Старовойтов, Э. И. Соппротивление материалов / Э. И. Старовойтов. – Гомель : БелГУТ, 2004. – 376 с.
- 5 Старовойтов, Э. И. Механика материалов / Э. И. Старовойтов. – Гомель : БелГУТ, 2011. – 380 с.
- 6 Абдусаттаров, А. Деформирование и повреждаемость упругопластических элементов конструкций при циклических нагружениях / А. Абдусаттаров, Э. И. Старовойтов, Н. Б. Рузиева. – Ташкент : IDEAL PRESS, 2023. – 381 с.
- 7 Деформирование трехслойных пластин при термосиловых нагрузках / Э. И. Старовойтов [и др.]. – Гомель : БелГУТ, 2024. – 395 с.
- 8 Захарчук, Ю. В. Напряженно-деформированное состояние круговой трехслойной пластины со сжимаемым заполнителем / Ю. В. Захарчук // Механика. Исследования и инновации. – 2019. – Т. 12, № 12. – С. 66–75.
- 9 Козел, А. Г. Влияние сдвиговой жёсткости основания на напряжённое состояние сэндвич пластины / А. Г. Козел // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2018. – Т. 332, № 6. – С. 25–34.
- 10 Starovoitov, É. I. Vibrations of round three-layer plates under the action of distributed local loads / É. I. Starovoitov, D. V. Leonenko, A. V. Yarovaya // Strength of materials. – Гомель : БелГУТ. – Вып. 16. – 2002. – Vol. 34, no 5. – P. 474–481.
- 11 Deformation of a Step Composite Beam in a Temperature Field / É. I. Starovoitov [et al.] // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. – 2015. – Vol. 88, no 4. – P. 1023–1029.
- 12 Старовойтов, Э. И. Деформирование трехслойного стержня в температурном поле / Э. И. Старовойтов, Д. В. Леоненко // Механика машин, механизмов и материалов. – 2013. – Т. 22, № 1. – С. 31–35.
- 13 Суслов, К. В. Изгиб пятислойной балки симметричной по толщине / К. В. Суслов // III Республиканский форум молодых ученых учреждений высшего образования : сб. материалов форума, Брест, 21–24 мая 2024 г. – Брест : БрГТУ, 2024. – С. 61–63.
- 14 Лачугина, Е. А. Поперечные колебания пятислойной упругой круговой пластины с жесткими заполнителями / Е. А. Лачугина // Механика. Исследования и инновации. – Гомель : БелГУТ, 2022. – Вып. 15. – С. 212–219.
- 15 Лачугина, Е. А. Частоты собственных колебаний пятислойной круговой пластины / Е. А. Лачугина // Теоретическая и прикладная механика : междунар. науч.-техн. сб. – Минск : БНТУ, 2023. – Вып. 38. – С. 227–233.
- 16 Лачугина, Е. А. Свободные колебания пятислойной круговой пластины с легкими заполнителями / Е. А. Лачугина // Механика. Исследования и инновации. – Гомель : БелГУТ, 2023. – Вып. 16. – С. 111–116. – EDN RCKKPM.

УДК 629.3

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ, СВЯЗАННЫХ СО СКОЛЬЖЕНИЕМ ТВЕРДОГО ТЕЛА ПО НЕПОДВИЖНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

О. А. СУХАНОВА

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Безопасность движения начинается задолго до эксплуатации транспортных средств. Еще на стадии разработки отдельных систем и узлов механизмов ведется огромная работа по планированию, совершенствованию, отлаживанию, контролю их бесперебойной работы. Известно, что 20–50 % от всех конструктивных и эксплуатационных неисправностей транспортных средств, приводящих к дорожно-транспортным происшествиям, занимает некорректная работа тормозной системы [1].

Вследствие трения при торможении происходит преобразование механической энергии в тепловую, которая сопровождается нагревом соприкасающихся деталей. Пятна касания дискретны, причем имеет место постоянное изменение температурных полей фактических участков контакта за очень малые промежутки времени, что затрудняет измерение температуры таких участков. Часто

перегрев приводит к деформации и выходу из строя отдельных элементов конструкции. В этой связи численное моделирование тепловых процессов в зоне фрикционного контакта представляет особый интерес в прогнозировании теплового поведения отдельных деталей системы, нахождения слабых мест конструкции, оценки изнашивания [2, 3]. Ранее нами рассматривалась задача о взаимодействии элементов тормозной системы без учета изменения температуры [4]. Программа дает возможность создавать именованные группы для работы с выборками геометрических объектов, элементов, узлов [5] и выводить для них результаты.

Целью представленного исследования является разработка алгоритма решения термпрочностной контактной задачи для оценки распределения температуры по времени с использованием программного комплекса ANSYS Mechanical на платформе Workbench. Данная многоцелевая программа позволяет вести расчет связанных термпрочностных задач при помощи элементов связанных полей.

Геометрическая модель (рисунок 1) представлена металлическими платформой (параллелепипед с размерами 200×20×10 мм) и полуцилиндром (радиус 10 мм, длина 20 мм), между которыми установлен несимметричный контакт. Нижняя плоскость платформы жестко закреплена. Полуцилиндр, верхняя плоскость которого испытывает давление 10 МПа, перемещается по платформе со скоростью 0,01 м/с, коэффициент трения 0,3; температура, при которой тела не испытывают тепловую деформацию, 22 °С. Использовался нестационарный прочностной анализ Transient Structural.

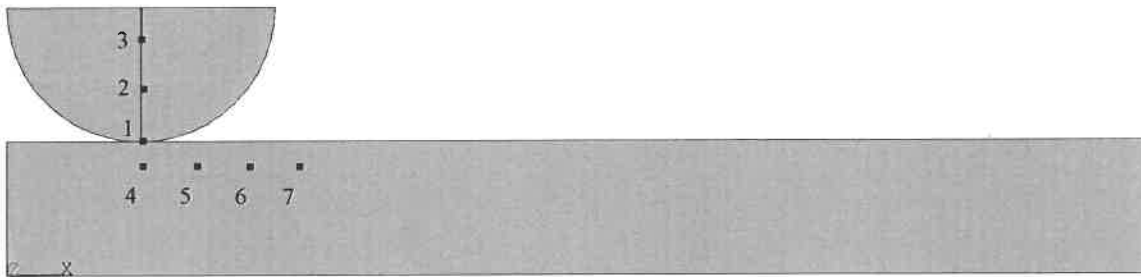


Рисунок 1 – Геометрическая модель

Известно, что для линейных задач численное решение методом конечных элементов как правило не вызывает трудностей, в отличие от нелинейных инженерных расчетов, где для достижения сходимости решения есть необходимость постоянной доработки модели, корректировки настроек решателя, параметров конечно-элементной сетки. Были приняты следующие настройки контактной пары: алгоритм Augmented Lagrange, коэффициент нормальной жесткости 0,1. Конечноэлементная сетка сгенерирована линейными элементами. Для настройки анализа переходных процессов использован шаг по времени 0,001 с.

В результате решения задачи было получено распределение напряжений и температуры на контактных поверхностях в зависимости от времени движения полуцилиндра по платформе.

Был проанализирован характер распределения температуры и эквивалентных по Мизесу напряжений для различных узлов по дорожке контакта вдоль оси x платформы (выбирался каждый второй узел) и узлов полуцилиндра, расположенных по нормали к плоскости контакта в течение 10 секунд. Для выбранных узлов 1–7 (см. рисунок 1) выводились графики (рисунки 2, 3).

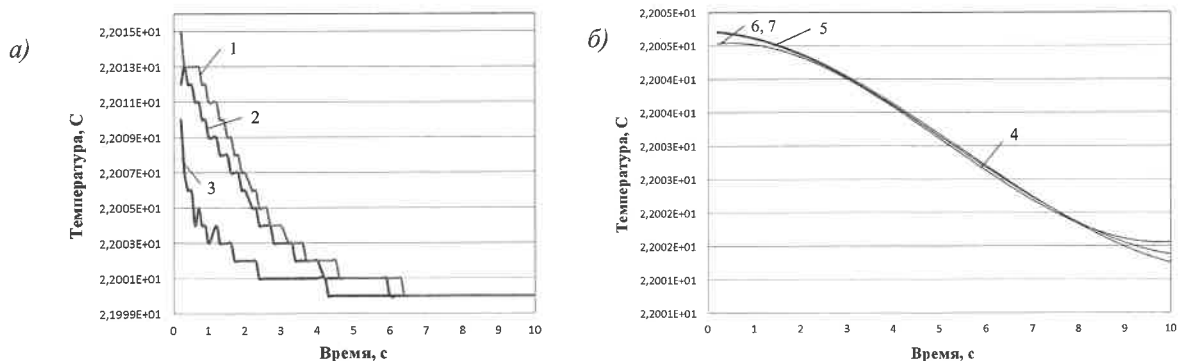


Рисунок 2 – График зависимости температуры от времени перемещения полуцилиндра по платформе: а – в узлах 4–7 платформы; б – в узлах 1–4 полуцилиндра

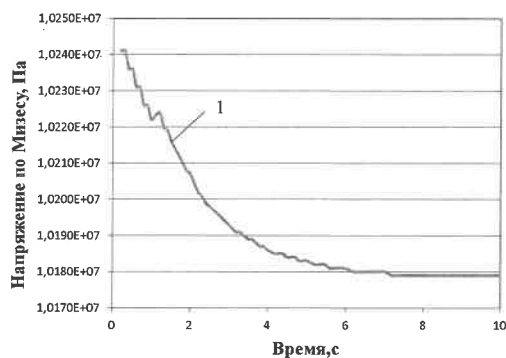


Рисунок 3 – График зависимости эквивалентных по Мизесу напряжений от времени перемещения полуцилиндра по платформе для узла 1

Графики показывают, что на первых секундах движения имеет место неустановившийся режим, напряжения в узлах сопрягаемых тел сходятся в некотором постоянном значении, температура уменьшается по мере отдаления от зоны контакта за счет рассеивания тепла. Изменение значений температуры и напряжений является незначительным вследствие малой скорости движения полуцилиндра.

Разработанная методика дает возможность исследования термоупругого поведения твердых тел, находящихся в динамическом фрикционном контакте при более высоких скоростях скольжения в случае различных контактных нагрузок.

Список литературы

- 1 Пеньшин, Н. В. Методология обеспечения безопасности дорожного движения на автомобильном транспорте : учеб. пособие / Н. В. Пеньшин. – Тамбов : ТГТУ, 2013. – 456 с.
- 2 Numerical analysis of temperature distribution in sliding contacts of pin on disc model / АК. Singh [et al.] // *Vibroengineering Procedia*. – 2019. – Vol. 29. – P. 274–278.
- 3 Belhocine, A. A thermomechanical model for the analysis of disc brake using the finite element method in frictional contact / A. Belhocine, OI Abdullah // *Journal of Thermal Stresses*. – 2020. – Vol. 43, is. 3. – P. 305–320.
- 4 Шимановский, А. О. Изменение напряженно-деформированного состояния элементов дискового тормоза при торможении / А. О. Шимановский, О. А. Суханова // *Современные технологии. Системный анализ. Моделирование*. – 2020. – Т. 66, № 4. – С. 8–18.
- 5 Бруяка, В. А. Инженерный анализ в ANSYS Workbench : учеб. пособие / В. А. Бруяка, В. Г. Фокин, Я. В. Кураева. – Самара : СамГТУ, 2013. – 149 с.

УДК 551.332.53:624.131.54

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕМПФИРУЮЩИХ СВОЙСТВ ТРЕХФАЗНЫХ ГРУНТОВ

Е. Ю. ТРАЦЕВСКАЯ

Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины, Республика Беларусь

Зависимость демпфирующих свойств от состава, физических свойств и состояния грунтов изучена недостаточно. В научной литературе упоминается, что уменьшение влажности и увеличение пористости грунта приводит к резкому увеличению коэффициента затухания [1–3]. К настоящему времени можно выделить два основных направления в изучении поведения дисперсных грунтов при динамических нагрузках: изучение водонасыщенных и трехфазных образований. Следует отметить, что трехфазные грунты при влажности, близкой к максимальной молекулярной влагоемкости, ориентировочно соответствующей нижнему пределу пластичности, меняют механические свойства – грунт переходит из полутвердого в пластичное состояние [4–6].

Для исследования динамических свойств грунтов на вибростенде ВЭДС-400А лабораторно моделировалось поведение образцов: супеси моренной легкой; супеси моренной тяжелой; песка пылеватого аллювиального. Испытания проводились без внешней пригрузки.

Надежность работы инженерных сооружений как передающих, так и принимающих вибродинамические нагрузки, существенно зависит от демпфирующих свойств грунтовых оснований. Демпфирование – это гашение основанием колебаний, вызванных динамическим воздействием от фундамента. В массивах грунтов демпфирование реализуется в основном за счет диссипации (рассеивания) энергии при переходе ее кинетической части в энергию неупорядоченных процессов, в конечном итоге – в тепло.

Для учета сил затухания наиболее часто используется логарифмический декремент, который является количественной характеристикой затухания колебаний в линейной системе. Во многих случаях в качестве основной характеристики диссипативных свойств грунтов используется модуль затухания. В нормативных документах эти свойства учтены условно через коэффициент относительного демпфирования. Например, для установившихся (гармонических) колебаний:

$$\xi_z = \frac{2,214}{\sqrt{P_{cp}}},$$

где P_{cp} – среднее давление на основание под подошвой фундамента от расчетных статических нагрузок, МПа.

В механике жесткость определяется способностью конструктивных элементов деформироваться при внешнем воздействии без существенного изменения геометрических размеров [11–13]. Жесткость грунта связана с его сжимаемостью, а следовательно, с плотностью сложения и влажностью. По существу, демпфирующие свойства и жесткость грунтов обуславливаются одними и теми же параметрами и трендом их изменений, т. е. зависят, в основном, от характера структурных связей и их переходов при напряженном состоянии грунтового массива. Для тонкодисперсных несцементированных грунтов, находящихся в частично дегидратированном состоянии или испытавших заметное литогенетическое уплотнение, характерны переходные контакты. Взаимному поджиму частиц при дегидратации во многом способствуют капиллярные силы, создающие значительное дополнительное давление на контакте, которые могут переходить как в коагуляционные, так и в фазовые. При деформировании они проявляют упругое сжатие, а при увлажнении снижают свою прочность и пластифицируются. По мере уплотнения грунта при динамических воздействиях показатели его диссипативных свойств растут, грунт становится более жестким.

Зависимость коэффициента затухания от частоты собственных колебаний образцов грунта носит прямо пропорциональный линейный характер, а коэффициента жесткости – прямо пропорциональный степенной, т. е. демпфирующие характеристики в большей степени связаны со свойствами грунтов, чем показатели жесткости.

Выводы. По результатам лабораторных исследований определены показатели динамических свойств дисперсных трехфазных малосвязных грунтов и песков пылеватых. Показано, что жесткость и свойства демпфирования являются величинами переменными, зависящими от характера структурных связей и их переходов. По мере уплотнения грунта показатели его диссипативных свойств и жесткости растут. При достижении стабилизации деформаций в условиях резонанса с повышением содержания глинистых частиц коэффициенты затухания увеличиваются. Вне резонансной зоны при увеличении частоты вынужденных колебаний диссипативные свойства повышаются.

Полученные характеристики демпфирования малосвязных грунтов использованы при изучении деформирования композитных элементов конструкций, связанных с упругим основанием [14–17].

Список литературы

- 1 Осипов, В. И. Природа прочности и деформационных свойств глинистых пород / В. И. Осипов. – М. : МГУ, 1979. – 231 с.
- 2 Трацевская, Е. Ю. Динамическая неустойчивость квазитиксотропных моренных грунтов / Е. Ю. Трацевская // Литосфера. – 2017. – № 1 (46). – С. 107–111.
- 3 Трацевская, Е. Ю. Демпфирующие свойства слабосвязных трехфазных грунтов / Е. Ю. Трацевская // Литосфера. – 2017. – № 2 (51). – С. 115–121.
- 1 Трацевская, Е. Ю. К вопросу о деформационных свойствах трехфазных слабосвязных грунтов в условиях динамического нагружения / Е. Ю. Трацевская // Актуальные вопросы инженерной геологии, гидрогеологии и рационального недропользования : IX Университетские геологические чтения. – Минск : Изд. центр БГУ. – 2015. – С. 146–149.
- 2 Трацевская, Е. Ю. Экспериментальное исследование параметров автотранспортного вибродинамического воздействия на массивы грунтов / Е. Ю. Трацевская // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2020. – № 1 (40). – С. 58–61. – EDN OBSUWN.
- 3 Трацевская, Е. Ю. Геологическая опасность развития подтопления грунтов и оценка экономических рисков при ее реализации / Е. Ю. Трацевская // Природные ресурсы. – 2009. – № 1. – С. 102–109.
- 4 Трацевская, Е. Ю. Особенности формирования техногенного подтопления дисперсных грунтов / Е. Ю. Трацевская // Природные ресурсы. – 2008. – № 2. – С. 106–112.
- 5 Инженерно-геологическое районирование территории Гомеля / А. Н. Галкин [и др.] // Литосфера. – 2004. – № 2 (21). – С. 108–116. – EDN TXHBOF.
- 6 Роль современных геологических процессов в сложившихся инженерно-геологических условиях территории Гомеля / А. Н. Галкин [и др.] // Литосфера. – 2003. – № 2 (19). – С. 67–73. – ЭДН TXCUKZ.
- 7 Трацевская, Е. Ю. Закономерности формирования геологических опасностей Беларуси / Е. Ю. Трацевская. – Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2007. – 173 с. – EDN UGWWEA.
- 8 Горшков, А. Г. Механика слоистых вязкоупругопластических элементов конструкций / А. Г. Горшков, Э. И. Старовойтов, А. В. Яровая. – М. : Физматлит, 2005. – 576 с. – EDN RXGSLJ.
- 9 Журавков, М. А. Математические модели механики твердого тела / М. А. Журавков, Э. И. Старовойтов. – Минск : БГУ, 2021. – 535 с.

10 Zhuravkov, M. A. Mechanics of Solid Deformable Body / M. A. Zhuravkov, Lyu Yongtao, E. I. Starovoitov. – Singapore : Springer, 2022. – 317 p.

11 Абдусаттаров, А. Деформирование и повреждаемость упругопластических элементов конструкций при циклических нагрузениях / А. Абдусаттаров, Э. И. Старовойтов, Н. Б. Рузиева. – Ташкент : IDEAL PRESS, 2023. – 381 с.

12 Старовойтов, Э. И. Исследование спектра частот трехслойной цилиндрической оболочки с упругим наполнителем / Э. И. Старовойтов, Д. В. Леоненко // Механика композиционных материалов и конструкций. – 2015. – Т. 21, № 2. – С. 162–169.

13 Деформирование ступенчатой композитной балки в температурном поле / Э. И. Старовойтов [и др.] // Инженерно-физический журнал. – 2015. – Т. 88, № 4. – С. 987–993. – EDN UARYZD.

УДК 536.24

МЕТОДОЛОГИЯ РАЗРАБОТКИ ТЕПЛОВОЙ ЗАЩИТЫ ТЕПЛОАПРЯЖЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

О. В. ТУШАВИНА

Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация

Проблема тепловой защиты конструкции высокоскоростных летательных аппаратов (ВЛА) от аэродинамического нагрева стала одной из важнейших научных проблем в связи с созданием изделий авиационной и ракетно-космической техники, совершающей полет в атмосфере со скоростями, значительно превышающими скорость звука ($M \geq 6$).

Аэродинамический нагрев обусловлен газовой динамикой обтекания тела сверхзвуковым потоком.

Физическая природа аэродинамического нагрева обусловлена тем, что в связи с громадной скоростью полета аппарата молекулы атмосферы обладают относительно аппарата большой кинетической энергией. Достигнув у поверхности аппарата ударной волны, а затем сжатого и вязкого пограничного слоя, молекулы начинают интенсивно тормозиться. При торможении высокоскоростных частиц их кинетическая энергия переходит в тепловую. Этот процесс определяет интенсивность аэродинамического нагрева конструкции аппарата.

Повышаются термодинамические параметры (температура и давление) газа набегающего потока до экстремальных значений. В результате в указанных зонах реализуются химические реакции диссоциации молекул и даже ионизации атомов, т. е. возникает комплекс физико-химических процессов, обусловленных термогазодинамикой и тепломассообменом. В этой связи возникает проблема разработки специальной тепловой защиты конструкции ВЛА, что в свою очередь требует разработки эффективных экспериментально-теоретических и прикладных решений в различных областях науки и техники, например, в разработке материалов теплозащитного назначения для снижения воздействия аэродинамического нагрева на аппараты.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (FSFF-2023-0007).

УДК 539.3

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ПРОЦЕССОВ В ТЕРМОУПРУГИХ ТЕЛАХ МЕТОДАМИ ГЛУБОКОГО МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

ФАН ТУНГ ШОН

Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация

Г. В. ФЕДОТЕНКОВ

Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация

НИИ механики МГУ им. М. В. Ломоносова, г. Москва, Российская Федерация

Физически информированное машинное обучение – это новый, многообещающий подход к решению различных задач математической физики, зачастую таких, которые не поддаются решению другими методами или требуют значительных затрат как человеческого, так и машинного времени. Машин-

ное обучение сегодня – это уже достаточно развитая и быстро развивающаяся отрасль прикладной математики. Методы и алгоритмы машинного обучения позволяют успешно решать многочисленные насущные проблемы в самых различных отраслях промышленности, технологий производства, экономики и финансов, электронной коммерции, медицине, строительстве, транспорте и др. Следует отметить, что до буквально нескольких последних лет глубокое машинное обучение применялось почти исключительно в прикладных задачах, основанных на сопоставлении входных и выходных данных. Методы глубокого машинного обучения обходили вниманием задачи моделирования физико-механических, химических, биологических и прочих процессов, математические модели которых представляют собой системы уравнений математической физики, дополненные граничными, начальными условиями и другими математическими соотношениями. Эти задачи имеют чрезвычайную важность, поскольку выступают в качестве фундамента, на который опираются различные прикладные отрасли.

Целью данной работы является раскрытие возможностей применения методов глубокого машинного обучения к решению нестационарных связанных задач механики термоупругих тел. В работе рассмотрены процессы нестационарных термоупругих колебаний в слое постоянной толщины [1]. Приведены замкнутые математические постановки соответствующих задач.

В основе методов глубокого машинного обучения применительно к решению задач математической физики лежит аппроксимация искомых функций с помощью нейронных сетей с физическим подкреплением (физически информированных нейронных сетей). Соответственно, искомым функциям, которыми являются перемещения и изменение температуры в слое, ставятся в соответствие нейросетевые аппроксимации на основе глубоких полносвязных нейронных сетей [2]. Путем изменения значений весов и сдвигов в нейронах можно изменять значения аппроксимации на выходе из нейронной сети. Именно поиск таких значений весов и сдвигов, при которых нейронная сеть будет аппроксимировать исходную функцию с заданной точностью в заданной области определения решения, и является целью глубокого машинного обучения. Отметим, что в случае дифференцируемых функций активации вся нейронная сеть представляет собой дифференцируемую функцию как по входным переменным, так и по внутренним параметрам (весам и сдвигам). Если же функция активации является аналитической, то нейронную сеть можно рассматривать как аналитическую функцию. Двумерной пространственно-временной области, на которой разыскивается решение, ставится в соответствие множество дискретно расположенных точек коллокации. Точки коллокации распределяются случайно, подчиняясь равномерному закону распределения. При решении физико-математических задач методами глубокого машинного обучения, исходной задаче ставится в соответствие эквивалентная задача математической оптимизации, а именно задача о поиске минимума целевой функции (функции потерь). Целевая функция представляет собой сумму норм невязок всех уравнений и соотношений, составляющих математическую постановку задачи. Она является однозначной функцией многих переменных. Этими переменными являются веса и сдвиги нейронной сети. Они называются обучаемыми переменными. Отметим, что количество обучаемых переменных зависит не только от числа нейронов в сети, но и от числа связей между нейронами. Поэтому число обучаемых переменных в глубоких нейронных сетях обычно значительно превышает число нейронов. Невязки вычисляются на множестве точек коллокации. Целью метода обучения нейронной сети является нахождение глобального минимума функции потерь на многомерном пространстве весов и сдвигов. Поскольку функция является дифференцируемой, для определения ее глобального минимума можно воспользоваться каким-либо вариантом метода градиентного спуска. В данной работе используются известный и хорошо зарекомендовавший себя метод адаптивной оценки моментов и построенный на его основе алгоритм «Adam» [3].

В результате получены решения различных задач о нестационарных термоупругих колебаниях изотропного слоя постоянной толщины. Проведено сравнение полученных результатов с численными решениями, построенными с помощью метода конечных разностей. Показано, что физически информированные нейронные сети способны с достаточной степенью точности аппроксимировать решения нестационарных задач теории термоупругости.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-29-00389.

Список литературы

- 1 Земсков, А. В. Одномерные нестационарные задачи термоупругости : учеб. пособие / А. В. Земсков, Д. В. Тарлаковский, Г. В. Федотенков. – М. : Изд-во МАИ, 2023. – 96 с.
- 2 Хайкин, С. Нейронные сети: полный курс / С. Хайкин. – 2-е изд. – М. : Вильямс, 2006. – 1104 с.
- 3 Kingma, D. P. A Method for Stochastic Optimization [Electronic resource] / D. P. Kingma, J. L. Ba. – Mode of access : <https://arxiv.org/abs/1412.6980>. – Date of access : 20.08.2024. – DOI : 10.48550/arXiv.1412.6980.

КОНЦЕПЦИЯ ПРИМЕНЕНИЯ «УМНЫХ» МАТЕРИАЛОВ В АВТОМОБИЛЕСТРОЕНИИ С ЦЕЛЬЮ УЛУЧШЕНИЯ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ И РЕСУРСНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК БОЛИДОВ ФОРМУЛЫ-1

Т. Т. ФОЗИЛОВ

*Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация
Филиал АО «ОДК» «НИИД», г. Москва, Российская Федерация*

З. Л. МАРЮШИНА

Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация

Умными материалами называются химические соединения, различные по составу и агрегатному состоянию, но их объединяет проявление характеристик, значительно меняющихся под внешним воздействием: давление, температура, влажность, рН среды, магнитные поля и др. Основное применение они находят в военной, энергетической и медицинской отраслях. В частности, при создании одежды, например, кофт с датчиками измерения сердечного ритма, а также изделий из оптоволокна, позволяющего фиксировать разрыв ткани, или с нагревающими элементами для исследований Крайнего Севера [1].

Особо отмечается применение смарт-сплава никелида титана (NiTi) благодаря его эффекту температурной памяти формы ввиду однократных или многократных мартенситных превращений за счет сдвигового механизма в атомной решетке соединения. Этот сплав является интерметаллидом в чистом виде, а поскольку в среднем на 45 % состоит из титана, он инертен в среде человеческого организма. На данный момент ученые-медики всего мира имплантируют его в качестве замены разрушенным костным соединениям, например, костям грудной клетки или своду черепа. Его уникальная особенность позволяет при температуре ниже определенной точки претерпевать мартенситное превращение с образованием низкосимметричных фаз и возвращаться к изначальному состоянию при нагреве выше определенной точки. Также отмечается его высокая демпфирующая способность по отношению к вибрационным и акустическим колебаниям [2, 3].

В современных гонках всё больше внимания уделяется аэродинамическим характеристикам на высоких скоростях (>300 км/ч), где мощность двигателей уже не может быть увеличена за счет увеличения объема силовой установки и ограничена для большей экологичности. Однако баланс характеристик прижимающих сил и преодоления сопротивления потока позволяет «снимать» с каждого круга от 0,05 до 1 секунды, что и делает болиды быстрее. Применение подобного материала позволит этот баланс сместить в сторону большей аэродинамики и использовать ресурс силовых агрегатов в полной мере.

Ввиду вышеописанного применение данных материалов крайне целесообразно в качестве замены материалам элементов болида, которые претерпевают наибольшие нагрузки от рассеяния воздушного потока и наибольшее давление воздуха на больших скоростях для увеличения обтекаемости. Разумеется, не на всех трассах эффективно применение таких материалов, для этого нужны достаточно холодные условия (температура среды не выше 25–30 °С). Для получения наибольшего эффекта подходят такие трассы, как Монте-Карло, Спа-Франкоршамп, Лас Вегас или практически любая трасса во время дождя.

Список литературы

1 Ильин, А. А. Сплавы с эффектом запоминания формы (обзор) / А. А. Ильин // Итоги науки и техники. Металловедение и термическая обработка. – М. : ВИНТИ, 1991. – Т. 25. – С. 3–59.

2 Исследование механизмов формоизменения при деформации и нагреве титановых сплавов с эффектом запоминания формы / А. А. Ильин [и др.] // Металловедение и термическая обработка металлов. – 1998. – № 4. – С. 12–16.

О ДЕСУЛЬФУРАЦИИ И ДЕФОСФОРАЦИИ СВАРНОГО ШВА КОРРОЗИОННОСТОЙКИХ СТАЛЕЙ ПОСРЕДСТВОМ ВВЕДЕНИЯ РЗЭ ПРИ ОРБИТАЛЬНОЙ АРГОННО-ДУГОВОЙ СВАРКЕ

Т. Т. ФОЗИЛОВ

*Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация
Филиал АО «ОДК» «НИИД», г. Москва, Российская Федерация*

З. Л. МАРЮШИНА

Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация

Применение орбитальной аргонно-дуговой сварки способствует усовершенствованию процесса производства трубопроводов малого диаметра в авиационном двигателестроении ввиду того, что

минимизирует человеческий фактор за счет полной механизации процесса. Однако существует проблема усталостного разрушения сварного соединения [1, 2].

Причинами разрушения являются неоднородность химического состава, недостаточная шероховатость поверхности свариваемых кромок, осевое смещение в сварочной головке, каплеударная эрозия, межкристаллитная коррозия и др. При выведении решения перечисленные факторы учитывались как отдельно взятые, так и в совокупности.

Легирование церием или иттрием приводит к образованию интерметаллидных включений, а именно CeFe_5 и CeFe_2 , которые очень благотворно влияют на структуру и свойства в целом. Помимо этого, образуются и другие тугоплавкие соединения в виде оксидов и даже соединения с серой, которое разлагается, за счет чего и происходит десульфурация.

Но стоит отметить, что количество серы и кислорода нужно снижать до концентраций 0,015 % и меньше для наибольшего эффекта еще до введения РЗМ [3].

Существует огромное множество техник введения легирующих компонентов в материал, однако при сварке речь идет о присадочном материале. Для усиления сварного соединения необходим присадочный материал с большой долей содержания церия или иттрия, так как именно они оказывают наибольшее влияние в данном процессе. В итоге сварное соединение получается практически равнопрочным материалу основы, еще до термической обработки, которая необходима для введения изделия в эксплуатацию. Ввиду вышеизложенного, одно из рациональных решений массы вопросов по причинам разрушения трубопроводов, которые работают в агрессивных средах и экстремальных условиях – легирование сварного соединения, которое, очевидно, в данном случае является слабым звеном.

Список литературы

1 Effect of Thin Polymer Coatings on the Mechanical Properties of Steel Plates / A.V. Babaytsev [et al.] // Russian Metallurgy (Metally). – 2017. – Vol. 2017, no 13. – P. 1170–1175.

2 Применение пантографической конструкции, полученной методом SLM-печати, и исследование влияния постобработки с нанесением демпфирующих покрытий / А. А. Зайцев [и др.] // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2023. – № 4. – С. 83–89.

3 Davies, I. G. Metals Technology / I. G. Davies, M. Randle, R. Widdouson. – 1974. – S. 241/48.

УДК 539.3

РАСЧЕТ ДЕФОРМАЦИОННО-ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЕРЕКРЕСТНО-АРМИРОВАННОГО АУКСЕТИЧНОГО КОМПОЗИТА

Д. А. ЧЕРНОВС

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

В настоящее время в различных отраслях строительства и машиностроения широко используются волокноармированные композиты на полимерных матрицах. Изменяя направление армирования и комбинируя элементы с различной ориентацией волокон, можно в широких диапазонах варьировать значения механических характеристик данных анизотропных материалов. В частности, при определенных условиях коэффициента поперечной деформации (коэффициенты Пуассона) перекрестно-армированного слоистого эластомера принимают отрицательные значения [1]. Определению эквивалентных упругих характеристик армированных ауксетичных (с отрицательным коэффициентом Пуассона) материалов посвящен ряд научных публикаций [1, 2]. Описанная в данных работах расчетная методика основана на элементарной теории армирования [2]. При этом приемлемая точность расчетных оценок обеспечивается только для относительно малых (менее 20 %) значений объемной доли волокон. Кроме того, в известных публикациях не уделяется должного внимания прогнозу характеристик прочности исследуемых материалов.

В связи с вышесказанным целью настоящего исследования является совершенствование математической модели перекрестно-армированного ауксетичного композита, направленное на уточнение прогноза упругих характеристик, а также на получение расчетных оценок параметров прочности композита.

В перекрестно-армированном композите (рисунок 1) волокна переплетены так, что угол между двумя направлениями армирования составляет 2α [1]. Сам α может изменяться от 0 до 90°. Объем-

ные доли волокон для обоих направлений армирования одинаковы. Полученный таким образом композит является ортотропным и имеет три взаимно перпендикулярные плоскости симметрии, которые совпадают с координатными плоскостями в системе XYZ (рисунок 1).

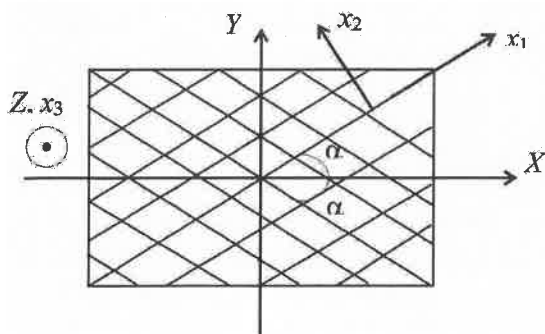


Рисунок 1 – Структура перекрестно-армированного ортотропного ауксетичного композита

При расчете эквивалентных упругих характеристик перекрестно-армированного композита первоначально задаются компоненты матрицы упругих податливостей одноосно-армированного композита в системе координат $x_1x_2x_3$ (см. рисунок 1). Для этого используется трехфазная модель волоконно-армированного композита, подробно описанная в монографии [3]. Затем по известным соотношениям теории упругости [4] производится перерасчет компонент матрицы податливостей для системы координат, повернутой относительно системы $x_1x_2x_3$ на угол α вокруг оси x_3 . Определяется матрица модулей упругости как обратная к матрице упругих податливостей. Структура поперечно-армированного композита позволяет определять матрицу модулей упругости данного композита путем простого усреднения соответствующих матриц для угла α и $-\alpha$. Затем определяется матрица упругих податливостей для поперечно-армированного композита. Зная компоненты этой матрицы, можно определить все характеристики упругости композита. В рамках настоящего исследования изучались, главным образом, модуль упругости E_X , соответствующий оси X , и коэффициент Пуассона ν_{XZ} , определяющий деформацию вдоль оси Z при нагружении вдоль оси X .

При оценке прочности композита первоначально задается определенный режим нагружения. Не снижая общности дальнейших выкладок, будем рассматривать одноосное напряженное состояние при котором отлична от нуля только одна компонента тензора макроскопических напряжений – σ_{XX} . Затем, используя ранее вычисленные значения эквивалентных характеристик композита, определяются значения макроскопических деформаций в системе XYZ . Производится перерасчет компонент тензора деформаций для вспомогательной системы координат $x_1x_2x_3$ (см. рисунок 1). Данные деформации являются макроскопическими для трехфазной модели одноосно-армированного композита. Эта модель позволяет не только определить упругие характеристики композита, но и описать напряженно-деформированное состояние армирующего элемента и приграничного объема матрицы. Для этого константы в общих решениях задачи теории упругости в перемещениях [3] следует умножить на соответствующие макроскопические деформации, определенные описанным выше способом. Зная распределение компонент упругого смещения, по известным формулам теории упругости [4] устанавливается распределение компонент тензора напряжений для элементов трехфазной модели (волокна и матрицы). После этого определяется распределение интенсивности тензора напряжений. Для каждого элемента трехфазной модели (волокно и приграничный объем матрицы) определяется максимальное значение интенсивности σ_u . В рамках настоящего исследования пределом текучести композита σ_{Tk} при рассматриваемом режиме нагружения будем считать значение осевого напряжения σ_{XX} , при котором максимальное значение интенсивности тензора напряжений в матрице достигает предела текучести материала матрицы σ_{Tm} .

Таким образом, в результате исследований разработана новая методика расчетного определения деформационно-прочностных характеристик перекрестно-армированных композитов, проявляющих свойство ауксетичности. Данная методика основана на использовании трехфазной модели однонаправленно армированного композита. В качестве расчетного примера рассматривался перекрестно-армированный композит, в котором резиновая смесь армирована синтетическим кордом [5]. Показано, что ранее использованная для анализа подобных композитов упрощенная методика приводит к заниженным расчетным оценкам модуля упругости E_X и завышенным (по модулю) оценкам коэффициента Пуассона ν_{XZ} исследуемого материала. Получены зависимости предела текучести композита при симметричном относительно перекрестных направлений армирования одноосном напряженном состоянии от угла между направлениями армирования и нагружения. Установлено, что в диапазоне значений угла армировки, соответствующем проявлению свойства ауксетичности ($5 < \alpha < 40^\circ$), предел текучести композита превышает соответствующее значение для материала матрицы. При значениях данного угла более 40° предел текучести композита меньше предела текучести матрицы и практически не изменяется при дальнейшем увеличении угла армировки.

Список литературы

- 1 Textile Structural Composites / ed. by T.-W. Chou and F. Ko. – Amsterdam – Oxford – New York – Tokio : Elsevier, 1989. – 420 p.
- 2 Малмейстер, А. К. Сопротивление жестких полимерных материалов / А. К. Малмейстер, В. П. Тамуж, Г. А. Тетерс. – Рига : Зинатне, 1972. – 500 с.
- 3 Кристенсен, Р. Введение в механику композитов / Р. Кристенсен. – М. : Мир, 1982 – 334 с.
- 4 Старовойтов, Э. И. Основы теории упругости, пластичности и вязкоупругости / Э. И. Старовойтов. – Гомель : БелГУТ, 2001. – 344 с.
- 5 Хотько, А. В. Возможности оптимального проектирования автомобильной шины по критерию пространственной равнопрочности / А. В. Хотько, С. В. Шилько, С. Н. Бухаров // Механика машин, механизмов и материалов. – 2020. – № 4. – С. 11–18.

УДК 539.3;539.4.

РАЗРАБОТКА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СВЕРХСЖИМАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ В ВИДЕ НАПРАВЛЕННО-АРМИРОВАННЫХ СТЕКЛО- И УГЛЕПЛАСТИКОВ

*С. В. ШИЛЬКО, Т. В. ДРОБЫШ, А. П. САЗАНКОВ,
Институт механики металлополимерных систем им. В. А. Белого
НАН Беларуси, г. Гомель*

*С. И. РОМАНОВИЧ
ОАО «Пеленг», г. Минск, Республика Беларусь*

Обсуждаются возможности создания инновационных сверхсжимаемых материалов конструкционного назначения, обладающих аномально низким коэффициентом Пуассона, путем направленного армирования полимерной/эластомерной матрицы стекло- и углеродными тканями. Изготовлены композиты с различной схемой укладки волокон и проведены статические испытания указанных материалов на растяжение и изгиб. Определены значения модуля упругости, коэффициента Пуассона, предела прочности при растяжении и относительного удлинения при разрыве, а также предел прочности и модуль упругости при изгибе. Анализируются особенности деформационного поведения и области использования исследуемых композитов.

В настоящее время внимание материаловедов привлекают методы повышения эксплуатационных характеристик изделий путем реализации нетривиальных (аномальных) деформационных свойств. К таким аномалиям можно отнести специфическую моду деформирования сверхсжимаемых материалов с близким к нулю и даже отрицательным коэффициентам Пуассона ν (ауксетиков), способных расширяться/сужаться в направлении, перпендикулярном направлению растяжения/сжатия соответственно.

Существование материалов с аномально низкими значениями коэффициента Пуассона допускается соотношениями теории упругости. Для изотропных тел верхний предел $\nu = 0,5$ соответствует несжимаемым материалам типа резины и полиуретана, деформирующимся с сохранением объема при изменении формы, а нижний предел коэффициента Пуассона $\nu = -1$ проявляется в сохранении геометрических пропорций образца при изменении его объема.

Ряд природных, в том числе биологических, материалов демонстрирует сверхсжимаемость (пробка) и ауксетичное (разновидности кварца, древесина в определенных направлениях) поведение. Создание искусственных ауксетиков отражает современную тенденцию проектирования структуры инновационных метаматериалов с заранее заданными свойствами. Обилие публикаций последних лет, описывающих результаты исследований и технические приложения ауксетиков в виде пористых и дисперсно-наполненных материалов, отражено в ряде обобщающих статей, включая первый русскоязычный обзор [1–5].

Деформационные особенности рассматриваемых аномально упругих материалов могут быть использованы в различных технических инновациях. Так, свойственное им повышенное поглощение энергии обеспечивает отличную демпфирующую способность и звукопоглощение; значительное

сопротивление сдавливанию и высокая сдвиговая жесткость важны для создания прецизионных сопряжений; высокая вязкость разрушения способствует повышению трещиностойкости; синклатическая кривизна при изгибе позволяет изготавливать конструкции различной формы за относительно небольшое количество технологических операций; переменная проницаемость дает возможность гибко регулировать характеристики фильтров и т. д.

Относительно редкими являются публикации, в которых описываются технические приложения высокопрочных и высокомодульных направленно-армированных ауксетиков, эффективность использования которых во многом определяется выбором схемы армирования. Отсутствует информация о возможности самоупрочнения и самозалечивания структурных повреждений (трещин) сверхсжимаемых материалов.

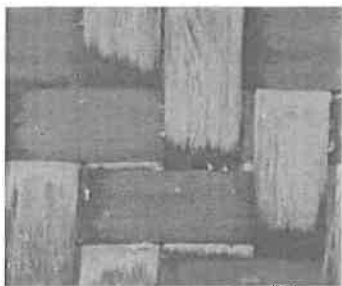


Рисунок 1 – Фрагмент ортогонально армированного углеродного композита

Цель работы – изучение возможности получения сверхсжимаемых композитов путем направленного армирования полимерной / эластомерной матрицы и характеристика их деформационно-прочностных свойств в условиях одноосного растяжения и изгиба.

Материалы и методы. Для механических испытаний были изготовлены образцы стекло- и углепластиков с различной схемой укладки волокон в виде полосок (для испытания на трехточечный изгиб) и двухсторонних лопаток с накладками для надежной фиксации образцов в захватах испытательной машины и предотвращения разрушения материала за пределами рабочей зоны. В качестве примера на рисунке 1 показана структура композита на основе эпоксидной смолы, армированной углеродной тканью с ортогональной укладкой волокон.

Деформационно-прочностные характеристики изучаемых композитов при растяжении и изгибе определялись на испытательной машине «Инстрон 5567» (рисунок 2) при комнатной температуре (20 °С). Для измерения поперечных и продольных деформаций образцов применялись тензодатчики и экстензометр контактного типа, устанавливаемый последовательно в продольном и поперечном направлениях.

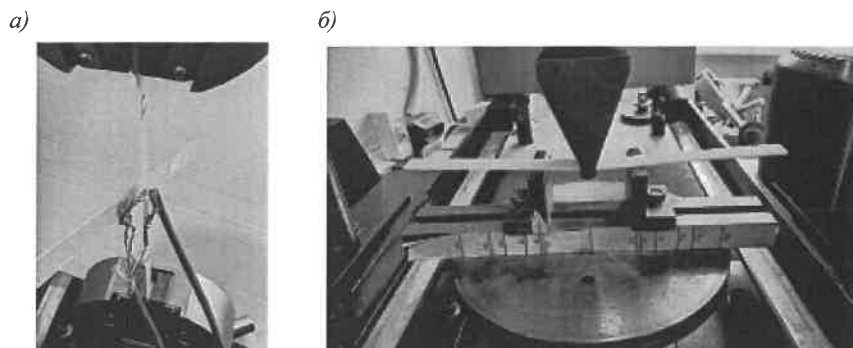


Рисунок 2 – Испытание образцов композитов на растяжение (а) и трехточечный изгиб (б)

Скорость нагружения при испытании на растяжение составляла 0,1 мм/мин на начальной стадии деформирования при определении упругих характеристик (модуля упругости и коэффициента Пуассона) и 1 мм/мин при определении предела прочности. Скорость нагружения при испытании на изгиб задавалась равной 20 мм/мин с базой испытания (расстоянием между опорами), равной 60 мм.

Результаты и их обсуждение. В ходе проведенных испытаний были измерены модуль упругости, коэффициент Пуассона, предел прочности при растяжении и относительное удлинение при разрыве, а также предел прочности и модуль упругости при изгибе изученных материалов. Средние значения указанных механических характеристик приведены в таблице 1, из которой видно, что полученные деформационно-прочностные характеристики исследуемых материалов достаточно высоки, что позволяет использовать их в качестве конструкционных. Модуль упругости стекло- и углепластиков при растяжении превышает модуль упругости при изгибе, в частности, для углепластика – в 1,8 раза. Обращает на себя внимание весьма низкое (близкое к нулю) значение коэффициента Пуассона углепластика, что объясняется ортогональной схемой армирования (см. рисунок 1). При косоугольном армировании коэффициент Пуассона может принимать отрицательные значения, что подтверждает возможность получения высокопрочных ауксетичных материалов.

Таблица 1 – Механические характеристики направленно-армированных композитов при растяжении и изгибе

Образец	$\sigma_p / \sigma_{\text{н}}$, МПа	$E_e / E_{\text{н}}$, ГПа	δ , %	ν
Стеклопластик 1	380/372	25,0/16,2	2,38	0,19
Стеклопластик 2	142/96	5,47/4,1	7,57	0,25
Углепластик	611/482	58,3/32,9	1,84	0,06

Заключение. Проведенные механические испытания ряда высокопрочных композитов, полученных с использованием различных схем армирования полимерного связующего стекло- и углеродными тканями, выявили ряд особенностей их деформирования и разрушения при растяжении и изгибе, а именно весьма низкие значения коэффициента Пуассона при косоугольной укладке волокон наполнителя.

Исследование поддержано БРФФИ (проект № T24T-067 «Биоподобные композиты конструкционного и триботехнического назначения на основе полимеров и эластомеров, реализующие самоупрочнение и самозалечивание структурных повреждений».

Список литературы

- 1 Материалы с отрицательным коэффициентом Пуассона (обзор) / Д. А. Конек [и др.] // Механика композиц. матер. и констр. – 2004. – Т. 10, № 1. – С. 35–69.
- 2 Rad, A. B. Static Analysis of Non-Uniform 2D Functionally Graded Auxetic-Porous Circular Plates Interacting with the Gradient Elastic Foundations Involving Friction Force / A. B. Rad // Aerospace Science and Technology. – 2018. – Vol. 76. – P. 315–339.
- 3 Auxetics and Other Systems with "Negative" Characteristics / K. W. Wojciechowski [et al.] // Physica Status Solidi (B). – 2020. – Vol. 257, is. 10.
- 4 Cellular Auxetic Structures for Mechanical Metamaterials: A Review / P. U. Kelkar [et al.] // Sensors. – 2020. – No. 20. – 3132.
- 5 Madke, R. R. Anti-Impact Behavior of Auxetic Sandwich Structure with Braided Face Sheets and 3D Re-entrant Cores / R. R. Madke, R. Chowdhury // Composite Structures. – 2020. – Vol. 236:111838.

УДК 681.2+004

АЛГОРИТМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ АНОМАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ИЗ МАССИВА ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ДАННЫХ

О. В. ЮХНОВСКАЯ, М. А. ГУНДИНА, К. В. ПАНТЕЛЕЕВ
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Алгоритмы автоматического определения объектов широко используются в цифровых устройствах и включают в себя несколько этапов. Для начала производится локализация области интереса. Затем она изолируется от остальной части изображения или, наоборот, в случае необходимости рассматривается в качестве области интереса. Дальнейшая сегментация позволяет определить необходимые элементы изображения.

Современные устройства формирования изображений позволяют решать комплекс технических и научных задач, требующих синтеза и анализа методов обработки с использованием пороговой бинаризации, классификации изображений, кластеризации, применением машинного обучения [1, 2]. Развитие микропроцессорной техники позволяет повысить сложность применяемых алгоритмов для решения прикладных задач. В литературе широко обсуждаются также вопросы сегментации, распознавания образов, описания и представления деталей, морфологического анализа снимков, полученных промышленным оборудованием.

Предварительная обработка такого изображения направлена на улучшение и восстановление изображения. Этот процесс устраняет шум, выделяет края и улучшает общее качество изображения. При предварительной обработке изображения полутоновое изображение проходит через множество процедур масштабирования, расширения, фильтрации и улучшения контуров и др. [3, 4].

При сегментации изображения актуальной задачей является определение области аномальных значений.

Известно, что аномальные значения способны существенно исказить функционирование математических моделей анализа данных. Это может привести к снижению надежности и некорректной работе информационно-измерительной системы, однако аномальные значения могут быть использованы для выявления областей интереса на изображении [5].

Единицы статистической совокупности, у которых значения анализируемого признака существенно отклоняются от основного массива, называются аномальными явлениями, «грубыми ошибками» или выбросами. Возможны и аномальные результаты, обусловленные сбоями при измерениях и регистрации данных, резкими отклонениями условий наблюдений, нештатной работой оборудования, ошибками операторов. Наличие аномальных явлений может привести к недостоверным результатам при оценивании и контроле соответствия характеристик системы предъявляемым требованиям. Поэтому аномальные результаты измерений необходимо выявлять.

В качестве объекта для отработки алгоритмов автоматического обнаружения и выявления аномальных значений (области интереса) из массива данных были использованы измерительные данные, полученные при зондовом картировании распределения поверхностного электростатического потенциала (заряда) композиционного материала на основе полиэфирэфиркетона (ПЭЭК) диаметром 50 мм. Шаг сканирования поверхности составил 1 мм. Образец характеризовался наличием области с заведомо известным «аномальным» значением потенциала (рисунок 1). В качестве средств измерений использовали сканирующую зондовую зарядочувствительную установку СКАН-2019. Измерительная установка СКАН-2219 является аналогом сканирующего зонда Кельвина (Scanning Kelvin Probe, метод SKP), однако отличается от последнего использованием оригинального микропроцессорного зонда [6], работающего по схеме «синусоидальное возбуждение – отклик» [7]. Следует отметить, что микропроцессор осуществляет как управление измерительным процессом, так и предварительную обработку данных с последующей передачей массива на персональный компьютер для визуализации и статистического анализа результатов с помощью пользовательского интерфейса [8], а в случае необходимости – с помощью стороннего программного обеспечения (OriginPro, SciDaVis и др.).

Согласно алгоритмам определения аномальных значений на первом этапе выявляются значения, которые выходят за границы интервала возможного варьирования характеристики признака. Исходя из физического смысла исследуемой величины как аномальные могут рассматриваться те значения, которые не соответствуют общему характеру изменения величины при последовательных наблюдениях, а также значения, приращения которых превышают предельно возможную скорость изменения величины.

Процесс определения аномальных значений и дальнейшего автоматической локализации области интереса, ограниченного окружностью, в основном делится на следующие этапы.

1 Предварительная обработка изображения. На этом этапе осуществляется улучшение изображения с помощью изменения формы гистограммы изображения. Такие преобразования гистограммы обычно применяются для ее выравнивания.

2 Бинаризация изображения. Для перевода изображения из полутонового в бинарное можно использовать пороговый детектор. Важным является выбор величины порога (при большой величине порога может произойти разрыв контура, а при малой появляются неинформативные пиксели).

3 Морфологическая обработка. Выделение границ основывается на алгоритмах, выделяющих точки цифрового изображения, в которых резко изменяется яркость или есть другие виды неоднородностей. Основной целью обнаружения резких изменений яркости изображения является фиксация важных перепадов и изменений.

4 Выявление области интереса.

Определение координат области осуществляется с помощью разработанного алгоритма (см. рисунок 1, в).



Рисунок 1 – Автоматическое обнаружение аномальных значений:
а – исходное изображение; *б* – изображение, полученное пороговой бинаризацией и операцией закрытия;
в – автоматически выделенная область интереса

Таким образом, разработанные алгоритмы автоматического определения объектов могут быть интегрированы непосредственно в измерительные системы или в пользовательский интерфейс, обеспечивая автоматическое обнаружение и выявление области интереса без использования стороннего программного обеспечения для статистической обработки данных.

Список литературы

- 1 **Blanchet, G.** Digital signal and image processing using Matlab / G. Blanchet, M. Charbit. – London : ScienceEurope, 2001. – 764 p.
- 2 **Селянкин, В. В.** Анализ и обработка изображений в задачах компьютерного зрения : учеб. пособие / В. В. Селянкин, С. В. Скороход. – Таганрог : Изд-во ЮФУ, 2015. – 82 с.
- 3 **Patel, S. G.** Vehicle License Plate Recognition Using Morphology and Neural Network / S. G. Patel // International Journal on Cybernetics & Informatics. – 2013. – No. 2 (1). – P. 1–7.
- 4 **Reshma, P.** Noise Removal and Blob Detection Approach for Number Plate Identification / P. Reshma // International Journal of Computer Applications. – 2012. – Vol. 47. – P. 13–16.
- 5 Вероятность и математическая статистика : энциклопедия / под ред. Ю. В. Прохорова. – М. : Большая Российская энциклопедия, 2003. – 911 с.
- 6 Универсальный цифровой зондовый электромметр для контроля полупроводниковых пластин / А. Л. Жарин [и др.] // Приборы и методы измерений. – 2023. – Т. 14, № 3. – С. 161–172.
- 7 Интеллектуальный сенсор для измерительных систем, работающих по схеме синусоидальное возбуждение – отклик / В. А. Микитевич [и др.] // Приборы и методы измерений. – 2023. – Т. 14, № 1. – С. 18–26.
- 8 Цифровой измеритель контактной разности потенциалов / К. В. Пантелеев [и др.] // Приборы и методы измерений. – 2016. – Т. 7, № 2. – С. 136–144.

9 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

УДК 338.266.4

ИЗМЕНЕНИЕ КОНЦЕПЦИИ ФОРМИРОВАНИЯ НАЦИОНАЛЬНОЙ СТРАТЕГИИ РАЗВИТИЯ ЭКОНОМИКИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

О. Г. БЫЧЕНКО, О. В. БЫЧЕНКО

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Национальная стратегия развития государства направлена на достижение в долгосрочном периоде целей, способствующих укреплению независимости, сохранению территориальной целостности, обеспечению устойчивого экономического развития, достижению высокого уровня и качества жизни граждан [1].

Национальные интересы формируют стратегические задачи, которые могут быть решены при условии выработки разумных тактических решений, опирающихся на использование преимуществ, выявленных в ходе изучения и анализа развития экономики для обеспечения её устойчивого развития.

Республика Беларусь обладает удачным геополитическим расположением, которое позволяет ей осуществлять торговые связи как со странами Европы, так и Азии. Однако в настоящее время им нельзя воспользоваться в связи с нестабильным международным положением, экономическими санкциями и другими внешними угрозами. Поэтому необходимо искать альтернативные пути обеспечения стабильного развития Республики Беларусь. Макроэкономическое пространство претерпевает значительные изменения, требуя роста промышленного воспроизводства. В условиях ограниченности ресурсов повышается нацеленность на создание условий, способствующих увеличению импортозамещения, поиску резервов интеллектуального, финансового, технологического, технического и иного рода.

Экономические показатели, характеризующие уровень развития экономики, подвергаются изменению под воздействием различных факторов, например, геополитические события (войны, санкции, катастрофы), макроэкономические условия (появление новых данных или новых условий), недостоверная информация (слухи, не подтверждённые факты). Это изменение называется волатильностью. Причины волатильности могут быть как внешними, так и внутренними. И те, и другие отрицательно влияют на развитие государства.

Высокая волатильность (изменчивость) экономических показателей во многом зависит от наличия и возможности использования различных видов ресурсов.

Устойчивое экономическое развитие, как основное направление развития экономики Республики Беларусь, требует создания эффективных экономических моделей. Одним из толчков к разработке таких моделей послужил доклад членов Римского клуба в 1972 г. под названием «Пределы роста», который определил направления разработки экономических моделей, способствующих достижению всеобщего экономического благосостояния, ликвидации нищеты, повышению качества образования и здравоохранения, развитию возобновляемой энергетики, рационального производства и потребления, борьбе с изменением климата, сохранению экосистем, соблюдению прав человека и др. [1]. При этом предполагалось использовать традиционные инструменты и институты. Но в 2019 году был опубликован отчет, в котором отмечалось, что стратегия «зеленого роста» реализуется неэффективно и не может рассматриваться как основная экономическая стратегия [2].

В основу этой стратегии был положен принцип линейного развития экономики, т. е. наращивание используемых ресурсов, который привёл бы к их исчерпанию. Поэтому, необходимо было искать возможности пополнения или восстановления ресурсов. Поиск привёл к появлению концепции регенеративной экономики, которая должна развиваться на основе процессов самовосстановления

всех компонентов развития. Ведущая роль при этом отводится финансам. Капитал должен обеспечивать не только снижение экологического и социального ущерба, но и исправлять допущенные ошибки, оздоравливая систему. Идея «импакт-инвестирования» органично вписывается в данную модель, предполагая, что предпринимательская деятельность должна обеспечивать положительный результат для общества, а не для одной компании (организации).

На сегодняшний день сформулировано 8 принципов регенеративной экономики, которые позволят создать экономику, работающую в единстве с остальным миром, создавая условия, благоприятные для жизни:

- установление правильных взаимоотношений (экономика, как способ ведения хозяйства человеком, вплетена в его культуру и является частью биосферы);
- целостный взгляд на богатство (истинное богатство определяется как совокупность множественных форм капитала);
- инновационность, адаптивность, быстрая реакция (использование врождённых способностей человека к инновационной деятельности и созданию нового);
- расширение прав и возможностей участников;
- уважение места и общества (взаимосвязанная деятельность сильных сообществ в регионах и на местах);
- усиление краевого эффекта (творческое сотрудничество обеспечивает возможность создания добавленной стоимости через отношения, обмена и отказоустойчивость);
- устойчивый циркулярный поток (постоянное стремление свести к минимуму потребление энергии, материалов и ресурсов на всех этапах производственного цикла, повторное использование, восстановление и переработка материалов);
- поиск баланса (гармонизация вместо оптимизации всех частей системы) [3].

Эти принципы согласуются с основополагающими принципами природы.

Критерии, на которые опирается регенеративная экономика: восстановление, обновление и исцеление жизненно важных систем; повышение способности этих систем к самовосстановлению; ориентация на обеспечение устойчивого развития.

Регенеративная экономика объединила понятия циркуляционной, зеленой экономики и экономики совместного потребления, взаимосвязанной и взаимодействующей экосистемы. Она является базой для создания модели новой реальной экономики, которая строится на принципах инновационного развития и использовании современных механизмов организации и управления производством.

Рациональное использование природных ресурсов для Республики Беларусь всегда было актуально, вследствие этого Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды и Министерство экономики Республики Беларусь провели большую работу по обработке информации о тенденциях развития современной экономики и накопленного потенциала белорусской экономики. Результатом её стало постановление Совета Министров Республики Беларусь от 29 мая 2024 г. № 393 «О Национальной стратегии развития экономики замкнутого цикла (циркулярной экономики) Республики Беларусь на период до 2035 года», которое вступило в силу 07.06.2024 года [1].

Однако переход к экономике замкнутого типа (циркулярной экономике) процесс достаточно сложный. Главное – это то, что переработка отходов требует больших затрат и сырья, которое получилось в результате такой переработки, намного дороже, чем то, которое получено при использовании традиционной технологии. Это же касается и «зеленых» технологий. К тому же, переработка отходов сильно влияет на экологию и не лучшим образом. Многие виды отходов при современном уровне технического прогресса вообще невозможно переработать. Отсюда можно сделать следующий вывод: рыночным путем заставить предприятия использовать «зеленые» технологии производства и вторичное сырьё невозможно (пример Европа – с её «зелёной» экономикой). В этом случае государственный бюджет или другие фонды должны компенсировать потери предприятий при использовании вторичного сырья и «зеленых» технологий.

Попытки создать такие фонды уже были: «Киотский протокол» и его реанимация под названием «Парижский протокол». Однако запланированный результат не был достигнут.

При решении вопросов об источниках финансирования проектов и использовании принципов регенеративной экономики будет возможно повышение эффективности использования материальных ресурсов и продление жизненного цикла продукта.

Список литературы

1 Авдокушин, Е. Ф. Поиск новой модели развития: регенеративная экономика / Е. Ф. Авдокушин, Е. Г. Кузнецова // Вестник РГГУ. Сер. Экономика. Управление. Право. – 2022. – № 4. – С. 20–46.

2 Доклад Европейского экологического бюро (ЕЕБ). Decoupling debunked. 15.11.2019 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : www.degrowth.org. – Дата доступа : 05.11.2022.

3 Доклад Римского клуба 2018 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://habr.com/ru/companies/philtech/articles/416797/>. – Дата доступа : 20.06.2024.

УДК 339.56

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛОГИСТИКИ В ТАМОЖЕННОМ ДЕЛЕ

И. В. ГАЛКИНА

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

В настоящее время возрастающий интерес к логистике обусловлен стремлением к сокращению временных и денежных затрат, связанных с товародвижением. Тщательно продуманная логистическая концепция является одним из ключевых моментов достижения высоких результатов деятельности.

К таможенной логистике в настоящее время привлечено внимание влиятельных международных организаций – ООН и ВТО. Упрощение процедур торговли и транспортного обслуживания обретает все большее значение для конкурентоспособности стран и их потенциала в области экономического развития. Большая исследовательская, аналитическая, консультационная работа, а также техническая помощь развивающимся странам по упрощению торговых процедур ведется Европейской экономической комиссией ООН и Конференцией ООН по торговле и развитию (ЮНКТАД).

Упрощение процедур торговли и транспортного обслуживания находится в неразрывной взаимосвязи с общим экономическим уровнем развития страны. Большинство мер по упрощению процедур торговли непосредственно влияют на эффективность как внешней, так и внутренней торговли, оказывают воздействие на общее состояние человеческого капитала страны, ее нормативно-правовую базу, инфраструктуру и использование информационных технологий.

В проведенных Организацией экономического сотрудничества и развития (ОЭСР) исследованиях, посвященных выгодам упрощения процедур торговли, указывалось, что выигрыш от упрощения процедур торговли колеблется от 0,04 до 2,3 % ВВП, а торговые издержки сокращаются на 0,2–10 % [1]. Международный опыт свидетельствует, что интегрированное логистическое обслуживание обеспечивает наибольшую эффективность как на микро-, так и на макроуровне, при котором логистические компании представляют комплексные логистические услуги по продвижению и обслуживанию товарно-материальных потоков.

Сравнительно новой тенденцией в развитии логистики в Евросоюзе является формирование общеевропейской системы товародвижения, предусматривающей наличие нескольких опорных европейских центров логистики и взаимодействующих с ними региональных логистических транспортно-распределительных центров. Такое решение призвано ускорить продвижение материальных потоков, обеспечить непрерывность процесса товародвижения. Как показывает европейский опыт, создание национальной логистической системы практически невозможно без поддержки государства, без партнерства с организациями-грузоперевозчиками и другими участниками, обеспечивающими логистические процессы.

В сложившихся на сегодняшний момент условиях цифровизация логистических процессов выступает общемировым трендом. Она предоставляет возможность трансформировать международные цепочки поставок и обеспечить следующие преимущества:

- автоматизацию международных цепочек поставок;
- эффективное взаимодействие участников цепочек поставок, контролирующих органов, в том числе таможенных, что создает возможность для подключения разрозненных систем, обеспечивающих связь по всей цепочке, формируя единое информационное пространство. Это позволяет со-

бирать и анализировать значительные объемы информации, а затем разрабатывать стратегию планирования различных сценариев управления цепочками поставок.

Мировым экспертным сообществом цифровизация цепочек поставок рассматривается как преобразование аналоговых и бумажных логистических процессов в цифровые путем создания и использования специализированных мастер-данных, которые объединяют информацию по всей международной цепочке поставок, а также информацию из некоторых внешних источников транспортных и логистических технологических систем.

Анализ современных тенденций цифровизации цепочек поставок проводился на основе последних исследований группы Gartner, отчета консалтинговых компаний «большой четверки», McKinsey и IBM. По результатам проведенного анализа можно выделить следующие основные тенденции цифровизации операционных моделей международных цепочек поставок:

– к 2024 году цепочки поставок и их платформы будут трансформированы либо переработаны на основе принципа модульности с применением инновационных цифровых бизнес-моделей;

– к 2026 году крупные организации и операторы цепочек поставок будут конкурировать как региональные или корпоративные цифровые системы, а не как отдельные фирмы или предприятия. Более половины организаций, управляющих цепочками поставок, будут использовать системы искусственного интеллекта и машинного обучения для расширения возможностей принятия решений.

Практическим примером реализации всех рассмотренных тенденций является концепция цифровизации международных транспортных коридоров (ЦТК), активно развиваемая странами Евразийского экономического союза. Эта концепция основана на создании экосистемы цифровых платформ, которая объединяет информационные ресурсы участников международного транспортного коридора в целях создания конвейера данных для мультимодальных грузоперевозок и предоставления различных услуг для бизнеса и государства, что позволяет более эффективно осуществлять транзит, контроль и мониторинг трансконтинентальных грузопотоков через территории вовлеченных государств. Для реализации такой концепции экосистема ЦТК формируется из национальных сегментов, построенных на базе интеграционных платформ и цифровых прототипов сервисов, которые призваны стать основными элементами цифровой инфраструктуры [3].

Таможенные администрации всего мира изучают вопрос внедрения различного рода передовых технологий совместно с центрами по инновациям, стартапами, производственными лабораториями и высшими учебными заведениями, разрабатывающими решения для других секторов, которые могут представлять интерес и иметь отношение к цифровой трансформации таможни.

Так, в Нидерландах создана группа Brainport Eindhoven на базе подразделений компании Philips. В целях анализа таможенных деклараций используются различные математические и статистические методы с применением технологий машинного обучения и искусственного интеллекта. В Китае проводятся работы по использованию нейронных сетей, с помощью которых сопоставляется текст и изображение для упрощения таможенной классификации товаров по информации, содержащейся в глобальной сети «Интернет». Также апробируется использование искусственного интеллекта в системах видеонаблюдения и системах сканирования багажа. Таможенная администрация США применяет систему виртуального агента AVATAR, оценивающего реакцию человека на вопросы. В Бразилии таможенная система отбора использует технологию машинного обучения SISAM, представляющую собой систему искусственного интеллекта, вырабатывающую рекомендации по проведению таможенного контроля на основе анализа исторических данных импортных таможенных деклараций. В результате уменьшается вероятность уклонения от уплаты таможенных платежей и нарушений требования санитарного и иных видов государственного контроля. Китайская компания Nuctech разрабатывает платформу таможенного логистического надзора, использующую информацию электронных устройств безопасности и интеллектуальной системы сравнения результатов сканирования и сопроводительных документов.

Таким образом, международный опыт свидетельствует, что интегрированное логистическое обслуживание обеспечивает наибольшую эффективность на микро- и макроуровне, при котором логистические компании представляют комплексные логистические услуги по продвижению и обслуживанию товарно-материальных потоков. Бесконтактные процедуры значительно ускоряют внедрение цифровых технологий при совершении таможенных операций и являются наиболее перспективными, а цифровизация логистических процессов выступает общемировым трендом.

Список литературы

- 1 Колесников, А. А. Таможенная логистика [Электронный ресурс] / А. А. Колесников – Режим доступа : <http://kursak.net>. – Дата доступа : 20.04.2023.
- 2 Федоров, С. Развитие мировых технологий в таможенном деле / С. Федоров // Таможенный вестник. – 2021. – № 12. – С. 34–37.
- 3 Щелкунова, Н. Цифровизация международных цепочек поставок / Н. Щелкунова // Таможенный вестник. – 2022. – № 8. – С. 63–65.

УДК 338.14:656.2

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

В. Г. ГИЗАТУЛЛИНА

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Эффективно работающие хозяйствующие субъекты, в том числе и Белорусская железная дорога, как важнейшие звенья экономической системы, определяют устойчивость развития государства, что сказывается на возрастании значимости обеспечения их собственной экономической безопасности.

Сегодня практика доказывает, что эффективное управление экономической безопасностью в постоянно изменяющихся условиях внутренней и внешней среды, необходимость создания потенциала для роста и развития железнодорожной отрасли во многом зависит:

- от достаточности государственной поддержки;
- наличия финансовых средств и обеспечения высокого уровня инвестиционной активности;
- организации системного мониторинга, анализа и оценки морального и физического износа долгосрочных активов, обеспеченности высококвалифицированными кадрами, способными использовать цифровые технологии информации, потенциальных угроз и др.

Главной составляющей сформированного механизма управления должна стать системная оценка экономической безопасности, базирующаяся на информации о факторах, которые влияют на деятельность и степени их влияния, возможных рисках и угрозах. Полученная информация является исходной базой для разработки стратегии развития, управленческих решений по минимизации угроз и рисков.

Для железнодорожной отрасли обеспечение экономической безопасности стало главным для функционирования железной дороги в целом и ее подразделений, так как:

- нарушены сложившиеся экономические связи;
- произошли изменения в структуре грузопотоков;
- сокращены доходные поступления.

Проводимые исследования показывают, что и в теории, и практике проблемы экономической безопасности имеют первостепенное значение. При этом экономическую безопасность можно рассматривать с двух позиций: состояния и процесса. Как состояние – это действующая совокупность экономических, общественных и технологических факторов, которая позволяет осуществлять воспроизводственный оборот, а как процесс – это образование и укрепление условий, которые обеспечивают безопасную деятельность государственной экономики в процессе ее формирования.

Экономическая безопасность, наряду с экологической, информационной, транспортной и другими, является структурной составляющей национальной безопасности государства. Все составляющие имеют тесную взаимосвязь и взаимовлияние друг на друга. Обеспечение национальной безопасности в целом складывается из укрепления безопасности отдельных ее составляющих, прежде всего экономической.

Изучение подходов к определению экономической безопасности в отечественной и зарубежной научной литературе показало, что во всех определениях экономической безопасности используются такие характерные составляющие:

- необходимость развития;
- обеспечение устойчивости.

При формировании системы управления экономической безопасностью железнодорожной отрасли должны приниматься во внимание названные выше проблемы. При этом следует учитывать, что для Белорусской железной дороги в экономической и финансовой политике характерен принцип централизации. Поэтому при определении задач по формированию системы экономической безопасности по уровням управления железной дороги будет разный подход:

– на уровне Управления железной дороги должно быть обеспечено решение всего комплекса проблем, которое позволит гарантировать развитие и обеспечит устойчивость железнодорожной отрасли;

– на уровне отделения железной дороги, прежде всего, необходима организация системного мониторинга, анализа и оценки информации о потенциальных угрозах;

– на уровне структурного подразделения должно обеспечиваться качественное выполнение основных технологических операций и снижение эксплуатационных расходов, связанных с их выполнением.

Список литературы

1 Гизатуллина, В. Г. Управление затратами на железнодорожном транспорте : [монография] / В. Г. Гизатуллина, О. В. Липатова. – Гомель : БелГУТ, 2008. – 352 с.

2 Гизатуллина, В. Г. Бухгалтерский управленческий учет на железнодорожном транспорте : учеб. / В. Г. Гизатуллина, С. Л. Шатров. – Гомель : БелГУТ, 2022. – 361 с.

УДК 338.14

РОЛЬ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ В ОБЕСПЕЧЕНИИ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

В. А. ДОЛИНОВА

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Транспортная система играет решающую роль в обеспечении экономической безопасности путем содействия движению товаров, людей и информации. Эта роль многогранна и влияет на различные аспекты экономики: от индивидуального процветания до национальной безопасности.

Согласно решению Всебелорусского народного собрания от 25 апреля 2024 г. № 5 «Об утверждении Концепции национальной безопасности Республики Беларусь», экономическая безопасность – это состояние защищенности отраслей и сфер экономики от воздействия угроз, препятствующих устойчивому социально-экономическому развитию Республики Беларусь [1].

Директива Президента Республики Беларусь от 14 июня 2007 г. № 3 «О приоритетных направлениях укрепления экономической безопасности государства» нацелена на экономическую безопасность промышленных организаций, что не учитывает специфику деятельности субъектов транспортной системы [2]. Применительно к организациям железнодорожного транспорта в нормативной базе безопасность упоминается в Законе Республики Беларусь от 6 января 1999 г. № 237-3 «О железнодорожном транспорте»: безопасность движения и эксплуатации железнодорожного транспорта – состояние защищенности процесса движения транспортных средств железнодорожного транспорта, состояние транспортных средств железнодорожного транспорта и инфраструктуры железнодорожного транспорта общего пользования, а также железнодорожных путей необщего пользования, при которых отсутствует недопустимый риск возникновения транспортных происшествий и их последствий, влекущих за собой причинение вреда жизни или здоровью граждан, окружающей среде, имуществу юридических и физических лиц [3].

Таким образом, на законодательной основе необходимо сформулировать и закрепить основополагающие принципы и нормы правового регулирования функционирования транспортной системы с учетом обеспечения ее экономической безопасности.

Роль транспорта и его безопасность имеет первостепенное значение в функционировании экономики любого государства. В транспортный комплекс входят все виды грузового и пассажирского транспорта такие как автомобильный, железнодорожный, воздушный, внутренний водный, трубопроводный. По данным Белстата за 2023 г. в Республике Беларусь было перевезено 1570,2 млн человек,

что на 3,4 % больше, чем в 2022 г. Кроме того, пассажирооборот составил 23 110,2 млн пас·км, что превышает показатель за 2022 г. на 7,8 %, а грузооборот – 72 919,8 млн т·км, однако данный показатель отмечен тенденцией снижения на 17,7 % [4]. Так, можно заметить, что развитие транспорта в Республике Беларусь является экономически выгодной отраслью, которая с каждым годом увеличивается, оказывая положительное влияние на экономику страны.

В современных экономических условиях очень важна работа железнодорожного транспорта, так как он является одной из ведущих составных частей транспортной инфраструктуры и значимым фактором обеспечения экономической безопасности страны, а также стабилизатором социально-экономического положения, что подтверждается сложившейся структурой транспортного рынка по официальным данным Белстата за 2021 г. (таблица 1).

Таблица 1 – Распределение между видами транспорта долей рынка в 2021 г.

В процентах

Вид транспорта	Перевезено грузов	Грузооборот	Перевезено пассажиров	Пассажирооборот
Автомобильный	40,22	24,91	93,71	46,63
Железнодорожный	33,41	37,45	6,09	26,34
Трубопроводный	25,73	37,53		
Внутренний водный	0,63	0,03	0,01	0,01
Воздушный	0,01	0,08	0,19	27,02
Итого	100	100	100	100

Примечание – Данные Национального статистического комитета Республики Беларусь.

Данные, приведенные выше, свидетельствуют о том, что доля железных дорог в транспортной системе по грузообороту составляет 37,45 %, а по пассажирообороту – 26,34 %. Так как цены на рынке перевозок стали свободными, железнодорожные тарифы превратились в важнейший макроэкономический регулятор в руках государства. Осуществляя пассажирские перевозки, железнодорожный транспорт фактически выполняет роль одного из стабилизаторов не только экономического, но и социального положения страны.

Важными критериями оценки работы транспортной системы являются грузооборот и пассажирооборот. Так, подводя итоги за 2021 г., можно отметить, что грузооборот по всем видам транспорта снизился на 3,6 % по сравнению с прошлым, составив при этом 118 776 млн т·км. Однако грузооборот железнодорожного транспорта увеличился на 4,85 %, а рост автомобильного транспорта составил 2,83 %. Грузооборот трубопроводного транспорта за отчетный период снизился на 14 %, а показатели внутреннего водного транспорта увеличились на 10 %. Грузооборот воздушного транспорта также вырос на 22,37 %.

Показатель общего пассажирооборота по всем видам транспорта за 2021 г. увеличился на 12,45 %, составив 20 851 млн пас·км. Самый значительный рост пассажирооборота был на воздушном транспорте и составил 61,2 %.

Со стороны обеспечения национальной экономической безопасности необходима оценка значимости железнодорожного транспорта в стабильном функционировании стратегических отраслей материального производства.

Железнодорожным транспортом в 2021 г., по данным Белстата, перевезено 128 587 тыс. т грузов [4]. В разрезе видов грузов значительно выросла погрузка нефти и нефтепродуктов на 18,6 %, химических и минеральных удобрений на 21,5 %, зерна и продуктов перемола на 95,5 %, а также грузов в контейнерах на 33,1 %. На основе этих данных можно сделать вывод, что железнодорожный транспорт реализует большой объем перевозок в стратегически значимых секторах экономики, к ним можно отнести нефтедобывающую, угольную, переработку черных металлов и др. Данные отрасли гарантируют стабильное функционирование экономического комплекса и напрямую оказывают влияние на национальную экономическую безопасность. Так, некоторые отрасли используют железнодорожный транспорт в качестве главного перевозчика продукции.

Важность транспортной системы как компонента экономической безопасности вызвана его значимостью в системе обеспечения экономической безопасности Республики Беларусь, потому что является неотъемлемой частью в развитии бюджетов разных уровней, в создании национального дохода страны, а также в удовлетворении общественных потребностей.

С этой целью мониторинг негативных тенденций в транспортной отрасли является важной задачей, так как развитие страны способствует появлению новых угроз в данной области. Для обеспечения транспортной безопасности в транспортной отрасли должна проводиться оценка факторов, влияющих на данную систему, и выявление угроз экономической безопасности. На основании данных, полученных в результате исследования, должны разрабатываться программы по стратегическому развитию и меры по устранению существующих угроз в транспортной отрасли. На основе всего вышеизложенного, можно сделать вывод о том, что реальный сектор экономики не сможет существовать без транспортной отрасли, так как она выполняет основополагающие функции.

Список литературы

1 Об утверждении Концепции национальной безопасности Республики Беларусь [Электронный ресурс] : решение Всебелорусского народного собрания от 25 апр. 2024 г. № 5 // Национальный правовой Интернет-портал Респ. Беларусь. – Режим доступа : <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=P924v0005>. – Дата доступа : 08.09.2024.

2 О приоритетных направлениях укрепления экономической безопасности государства [Электронный ресурс] : Директива Президента Респ. Беларусь от 14 июня 2007 г. № 3 // Национальный правовой Интернет-портал Респ. Беларусь. – Режим доступа : <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=P00700003>. – Дата доступа : 08.09.2024.

3 О железнодорожном транспорте [Электронный ресурс] : Закон Респ. Беларусь от 06 янв. 1999 № 237-3 // Национальный правовой Интернет-портал Респ. Беларусь. – Режим доступа : <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=h19900237>. – Дата доступа : 08.09.2024.

4 Транспорт в Республике Беларусь. 2022 [Электронный ресурс] // Национальный статистический комитет Респ. Беларусь. – Режим доступа : <https://www.belstat.gov.by/>. – Дата доступа : 08.09.2024.

УДК 338.47:656.2.4

О ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО МЕХАНИЗМА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА РАЗЛИЧНОЙ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ

Ю. В. ДУБИНА

Министерство транспорта и коммуникаций Республики Беларусь, г. Минск

В. Л. ЖИГАЛОВ

Белорусская железная дорога, г. Минск

Существовавший *организационно-экономический механизм для вагонов железной дороги* в бывшем Советском Союзе был разработан на достаточно высоком качественном уровне. Он учитывал экстерриториальность железнодорожного транспорта; его технологию работы; особенности взаиморасчётов с клиентами за перевозки грузов; эффективность тарифов железнодорожного транспорта в части минимизации сборов и упрощения пользования тарифами; взаимодействие отправителей с перевозчиками при планировании объёмов погрузки; регулирование на микро- и макроуровне порожних вагонов из-под выгрузки под погрузку с использованием диспетчерского аппарата железнодорожного транспорта; имущественную ответственность за невыполнение согласованных объёмов перевозок, повреждение вагонов железнодорожного транспорта и другое, что было регламентировано Уставом железнодорожного транспорта и Правилами перевозок грузов [3].

Были разработаны также показатели оценки эффективности работы железнодорожного транспорта в целом и отдельных железных дорог: объёмы погрузки в вагонах; оборот вагона; грузооборот в тонно-километрах; коэффициент порожнего пробега вагонов и др.

Собственные вагоны промышленных предприятий и организаций использовались для перевозки специфических грузов (серной кислоты, капролактама и др.). Для рационального использования вагонов и получения при этом эффекта собственные вагоны в большинстве случаев принадлежали производителям продукции (грузоотправителям). При перевозках грузов в собственных вагонах грузоотправитель в накладной указывал, куда отправлять вагон после выгрузки и очистки [1].

Следует указать, что существующий организационно-экономический механизм работы с вагонами железной дороги основывался на интенсивной эксплуатации данного подвижного состава,

предусматривающей минимизацию оборота вагонов, введение штрафа за сверхнормативный простой вагонов при погрузке или выгрузке на путях необщего пользования средствами грузоотправителей или грузополучателей. В соответствии с данными условиями разрабатывались и тарифы.

Таким образом, существовавший ранее организационно-экономический механизм базировался на системном подходе, который учитывал в своей основе не только цикл перевозки груза, включая погрузку и выгрузку, подачу-уборку на места общего и необщего пользования, но и регулирование порожних вагонов из-под выгрузки под погрузку. Причём использовался комплексный подход в организационно-экономическом механизме, учитывающий экстерриториальность, корпоративность управления на железнодорожном транспорте. Кроме того, данный механизм учитывал технологические, нормативно-правовые и экономические особенности железнодорожного транспорта, что нашло отражение в функционировании грузовых, транспортных, информационных, финансовых и транспортно-экспедиционных потоках [2].

После распада Советского Союза и реформирования железнодорожного транспорта в России, Казахстане и других странах предлагалось создание конкуренции на рынке железнодорожных перевозок с помощью появления частных перевозчиков, каждый из которых должен иметь собственные вагоны и тяговые средства. Для реализации данного мероприятия железнодорожные тарифы в рамках ЕАЭС были разделены на три составляющие: локомотивная, вагонная и инфраструктурная. Такие тарифы были разработаны и для железнодорожного транспорта Республики Беларусь. В случае реализации такого предложения, когда предусматривается, что инфраструктура принадлежит государству, а локомотивы и вагоны являются частными (собственными), частному перевозчику должна предоставляться владельцем инфраструктуры «нитка графика», чтобы он мог осуществить перевозку.

В действительности на железных дорогах России, Казахстана вагонный парк был обновлен в основном за счёт частных инвестиций [4]. При этом дальнейшая реформа железнодорожного транспорта в этих государствах была практически приостановлена. На Белорусской железной дороге остался её собственный парк вагонов, а также подвижной состав других форм собственности. Принимался ряд решений о передаче вагонов промышленным предприятиям или их объединениям, закупке ими собственного подвижного состава. Следует указать, что за счёт экстерриториальности железнодорожного транспорта эксплуатация вагонов Белорусской железной дороги затруднена, так как все железные дороги должны находиться в одинаковых условиях и функционировать в соответствии с Уставами и Правилами перевозок, построенными на общих принципах. В частности, при нахождении вагонов Белорусской железной дороги на путях других железнодорожных администраций владельцу вагонов должны возмещаться издержки, связанные с амортизацией и видами ремонта вагонов, зависящих от времени их нахождения на путях других железных дорог, так как эти издержки должны быть включены в тариф. Аналогично при нахождении вагонов других железных дорог на путях Белорусской железной дороги последняя должна возмещать им издержки в виде платы за пользование их вагонами. Однако данную технологию сложно реализовать, так как, например, у Российских железных дорог нет собственных вагонов и, соответственно, затруднительно возместить издержки Белорусской железной дороги в виде платы за пользование её вагонами.

Следовательно, на железнодорожном транспорте Республики Беларусь возникает ряд задач, связанных с разработкой и функционированием организационно-экономического механизма эффективного функционирования собственного (приватного) подвижного состава. Данные задачи связаны с созданием соответствующих организационных структур (экспедиторских, грузовых компаний и др.), обеспечивающих возможность эффективной эксплуатации собственного подвижного состава; системы критериев оценки эффективности работы собственного подвижного состава; корректировки нормативно-правовых документов и др. Такой механизм должен основываться на рынке вагонов железной дороги, собственных предприятий и операторских компаний, а также арендованных вагонов у владельцев различных предприятий и организаций.

Немаловажную роль играет также либерализация рынка путем формирования свободных рыночных цен на использование вагонов не только грузоотправителя, грузополучателя, но и перевозчика. Первым шагом на пути к либерализации стало регламентированное государственным регулятором расширение полномочий Белорусской железной дороги, наделяющее ее правом повышать уровень вагонной составляющей тарифа при перевозке груза в вагоне перевозчика локомотивом перевозчика до установленных пределов путем применения повышающих коэффициентов.

Список литературы

- 1 **Еловой, И. А.** Методы и модели повышения эффективности взаимодействия железнодорожного транспорта общего и необщего пользования : [монография] / И. А. Еловой, Е. Н. Потылкин. – Гомель : БелГУТ, 2023. – 210 с.
- 2 **Еловой, И. А.** Современные тенденции рынка железнодорожных грузовых перевозок : [монография] / И. А. Еловой, В. В. Ясинский, М. М. Колос. – Гомель : БелГУТ, 2010. – 210 с.
- 3 **Еловой, И. А.** Оптимизация работы при погрузке готовой продукции из производства в перевозочные средства / И. А. Еловой, Е. Н. Потылкин // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2017. – № 2. – С. 80–85.
- 4 **Лемешко, В. Г.** Инновационные технологии на железнодорожном транспорте (теория, практика, перспективы) / В. Г. Лемешко, И. Н. Шапкин. – М. : ВИНТИ РАН, 2012. – 446 с.

УДК 656.2.045.7

ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕВОЗОК ГРУЗОВ В ВАГОНАХ РАЗЛИЧНЫХ ФОРМ СОБСТВЕННОСТИ

И. А. ЕЛОВОЙ, С. А. ПЕТРАЧКОВ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Ю. В. ДУБИНА

Министерство транспорта и коммуникаций Республики Беларусь, г. Минск

Сравнительный анализ особенностей перевозок грузов в вагонах различных форм собственности осуществляется по двум вариантам [2].

Первый вариант связан с вагонами железной дороги, использование которых осуществляется на основе инфраструктуры, а также системы организации и управления вагоно- и поездопотоками на железнодорожном транспорте. Выделенная вагонная составляющая в тарифе Белорусской железной дороги действует в пределах договора перевозки. В бывшем Советском Союзе в тариф были включены также издержки, связанные с нахождением вагонов на грузовых дворах. Кроме того, не взыскивалась плата за подачу-уборку вагонов на места общего пользования при погрузке-выгрузке вагонов средствами железной дороги. В результате повышалась ценовая конкурентоспособность схемы доставки A_1 –Ж– A_2 в сравнении со схемой ПП₁–Ж–ПП₂.

В случае выполнения грузовых операций средствами грузоотправителей или грузополучателей на грузовых фронтах путей необщего пользования взыскивается плата за пользование вагонами железной дороги с момента подачи к месту выполнения грузовых операций и до момента уведомления клиентом работников станций примыкания о готовности к уборке вагонов локомотивом перевозчика. Продолжительность нахождения вагонов железной дороги на станции примыкания в ожидании и процессе подачи на пути необщего пользования не учитывается в исчислении платы за пользование вагонами железной дороги. Данная особенность была обусловлена тем, что локомотивная, составительская бригады относились к работникам железной дороги (перевозчику), которые отвечали за сохранность перевозимого груза и вагонов, т. е. договор перевозки как бы считался невыполненным до момента постановки вагонов к грузовым фронтам погрузки-выгрузки грузов средствами грузоотправителя или грузополучателя. Данное положение действует и в настоящее время. Соответственно плата за пользование или её издержки включаются в тариф при перевозке груза в вагоне железной дороги.

В условиях подачи вагонов на путь необщего пользования локомотивом ветвевладельца (промышленного предприятия) теоретически плата за пользование вагонами железной дороги должна исчисляться с момента передачи вагонов железной дороге (перевозчиком) на выставочных путях станции примыкания и до момента возврата обратно. В соответствии с Правилами перевозок грузов Белорусской железной дороги для создания равных экономических условий при подаче вагонов локомотивом перевозчика и ветвевладельца (промышленного предприятия или иного владельца) для последнего предоставляется технологически неоплачиваемое время, т. е. плата за пользование вагонами за данную продолжительность времени не взыскивается с клиентов. Следует указать, что в Договоре на подачу-уборку вагонов может не предусматриваться технологически неоплачиваемая продолжительность времени.

Кроме того, при нахождении вагонов Белорусской железной дороги на территории других государств взыскивается с их администраций железных дорог плата за пользование инвентарными вагонами собственника в лице железной дороги одного государства.

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы.

В условиях Советского Союза практически весь парк вагонов принадлежал Министерству путей сообщения и эксплуатировался в условиях «жесткой» нормативно-правовой документации, что характеризуется следующими нормами времени нахождения у грузоотправителей и грузополучателей:

– при подаче-уборке вагонов локомотивом железной дороги нормы учитывались с момента подачи вагонов к местам погрузки-выгрузки и до времени, указанного в уведомлении о готовности вагонов к уборке. В такой ситуации издержки, связанные с простоем в ожидании уборки их с мест погрузки-выгрузки, были включены в тариф. При превышении нормативного времени простоя вагонов железной дороги под погрузкой-выгрузкой начислялся штраф;

– при подаче-уборке вагонов собственным локомотивом ветвладельца вагоны железной дороги зачислялись на ответственный простой с момента их сдачи ветвладельцу на выставочных путях станции примыкания и до момента приёма на станционных путях. Однако продолжительность нахождения вагонов железной дороги у ветвладельца регламентировалась сроком оборота вагонов, который рассчитывался в соответствии с Единым технологическим процессом и указывался в Договоре на эксплуатацию железнодорожного подъездного пути. В данных условиях издержки, связанные со сроком оборота вагонов на путях необщего пользования, были включены в тариф. В настоящее время срок оборота вагонов на подъездных путях не рассчитывается, но взимается плата за пользование вагонами с момента их сдачи и до момента приёма от грузоотправителя или грузополучателя. Однако при этом из продолжительности нахождения вагонов на путях необщего пользования исключается технологически неоплачиваемое время, которое должно включаться в железнодорожный тариф. Кроме того, при нахождении вагонов железной дороги на путях необщего пользования свыше суток взыскивается неустойка, которая теоретически должна быть равна неустойке, обусловленной неподачей порожних вагонов грузоотправителю в соответствии с заявкой на перевозку грузов.

Применение штрафа за сверхнормативный простой или неустойки в настоящее время стимулирует грузоотправителей и грузополучателей к выполнению регламентированных норм и сроков нахождения вагонов железной дороги у клиентов, так как штраф (неустойка) изымается из прибыли хозяйствующего субъекта, а соответствующие должностные лица компенсируют установленную часть неустойки из своей зарплаты.

Второй вариант связан с процессом эксплуатации вагонов грузоотправителей (грузополучателей). Здесь между владельцами подвижного состава (компаниями-операторами и др.) и клиентами заключаются договоры на пользование вагонами собственника, где также указывается неоплачиваемая продолжительность нахождения владельца вагона на путях необщего пользования. Ранее данная продолжительность составляла 24 часа, а в настоящее время она равна 48 и более часам. В случае невыполнения договорного времени грузополучатель несёт ответственность в виде неустойки, порядок её расчёта определяется договором на пользование вагонами. По существу аналогичная ответственность установлена Уставом железнодорожного транспорта общего пользования для вагонов железной дороги при нахождении их на путях необщего пользования.

Плата за пользование вагонами компании-оператора может рассчитываться в целом за гружёный и порожние рейсы или отдельно за гружёный и порожний. Ставка платы за пользование вагонами (руб./вагон-сутки) компании-оператора и других собственников устанавливается рынком (на бирже). Однако порядок расчёта платы за пользование рассматриваемым вагоном жёстко не регламентирован, что обусловлено следующими причинами:

1) в основу доходности вагона (руб./вагон-сутки) любой собственности должен закладываться оборот вагона, а также тарифные ставки, расстояние перевозки. Для вагонов железной дороги была создана система функционирования, учитывающая технические, технологические, финансово-экономические, нормативно-правовые факторы, а также особенность железнодорожного транспорта, т. е. экстерриториальность и корпоративность управления. В условиях наличия вагонов грузоотправителя (грузополучателя) аналогичная эффективная система не создана;

2) наличие вагонов различной принадлежности привело к снижению уровня централизации, что обусловило ухудшение организации и управления в условиях появления множества собственников вагонов и контейнеров и, как следствие, к росту случайной составляющей в перевозочном процессе, необходимости создания частных экспедиторских (операторских) организаций. Соответственно это привело не только к ухудшению организации и управления перевозочным процессом на железнодо-

рожном транспорте, но и увеличению транспортно-логистических издержек и росту за счёт этого цены доставляемой продукции в месте её потребления [1, 2].

Появление вышеуказанных обстоятельств порождает необходимость комплексного подхода с рассмотрением потребностей в транспортном обеспечении экономик отдельных государств и их объединений исходя из требований хозяйствующих субъектов в сложных логистических производственно-транспортных и транспортно-сбытовых системах, обеспечивающих производство и реализацию большого ассортимента конечной готовой продукции в соответствии со спросом в конкретных секторах товарного рынка. Достижение данных целей и решение соответствующих задач возможно реализовать на основе разработки интеллектуальных технологий и цифровизации производственно-транспортных и транспортно-сбытовых процессов в пределах вышеуказанных сложных логистических систем и соответствующих логистических цепей движения ресурсов;

Также для решения вышеуказанных задач следует разработать корпоративную иерархическую систему на основании, например, компаний операторов и других, учитывающую экстерриториальность железнодорожного транспорта и обеспечивающую не только организацию грузо- и вагонопотоков, но и формирование конкурентоспособных и выбор эффективных схем доставки грузов с участием одного или нескольких видов транспорта. Предлагаемая корпоративная система будет базироваться на основе грузовых, транспортных, информационных, финансовых и сервисных потоков, обеспечивая при этом качественное транспортно-экспедиционное обслуживание грузоотправителей и грузополучателей.

Список литературы

- 1 Лемешко, В. Г. Инновационные технологии на железнодорожном транспорте (теория, практика, перспективы) / В. Г. Лемешко, И. Н. Шапкин. – М. : ВИНТИ РАН, 2012. – 446 с.
- 2 Экономика железнодорожного транспорта: проблемы и решения : сб. науч. тр. / под ред. Л. А. Мазо и Г. В. Писаревского. – М. : Интекст, 2005. – 351 с.

УДК 338.2

РОЛЬ ГОСУДАРСТВА В СТИМУЛИРОВАНИИ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ

Е. Н. ЕФРЕМОВА, Ю. С. ИВАНЕНКО, Ф. А. КАЛИТЬКО
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Современная экономика все больше опирается на инновации, которые являются двигателем прогресса и повышения конкурентоспособности. Однако процесс внедрения новых технологий, продуктов и услуг требует значительных инвестиций, рисков и времени. Именно поэтому государство играет ключевую роль в стимулировании инновационного развития.

Государство – это центральная организация политической власти на определенной территории, обладающая суверенитетом, аппаратом управления обществом и монополией (исключительным правом) на принуждение. Государственное стимулирование инноваций представляет собой совокупность мер, направленных на создание необходимых предпосылок для активизации инновационной деятельности в стране. Оно включает финансовую, правовую, организационную и иные формы поддержки, реализуемые на различных уровнях государственной власти.

Государство разрабатывает стратегические документы, которые определяют приоритетные направления в области науки и технологий. Это включает создание долгосрочных программ, направленных на развитие определенных отраслей и технологий. Государственные инвестиции в научные исследования и разработки (НИОКР) могут быть осуществлены через гранты для университетов и исследовательских институтов; создание фондов, поддерживающих стартапы и малые инновационные предприятия, программы софинансирования частных инвестиций.

Государство может стимулировать частные компании к инвестициям в инновации через налоговые льготы, субсидии и другие финансовые инструменты. Это снижает риски для бизнеса и делает инвестиции более привлекательными. Государственные программы по подготовке специалистов в области науки, технологий, инженерии и математики (STEM) способствуют формированию квалифицированной рабочей силы, необходимой для реализации инновационных проектов. Государство может создавать и поддерживать инновационные кластеры, технопарки и бизнес-инкубаторы, кото-

рые обеспечивают стартапам доступ к ресурсам, знаниям и финансированию. Государство активно участвует в международных научных проектах и инициативах, что способствует обмену знаниями, технологиями и опытом.

Создание эффективной системы защиты интеллектуальной собственности способствует развитию инновационной среды, защищая интересы изобретателей и инвесторов.

Именно от государственных решений зависит, будет ли страна лидером в инновациях или же останется на обочине прогресса.

Реализация государством следующих направлений позволяет создать благоприятные условия для активизации инновационных процессов в экономике:

1 Финансовая поддержка: государство может стимулировать инновации через прямые инвестиции в исследования и разработки, гранты для молодых ученых и стартапов, налоговые льготы для инновационных компаний.

2 Создание благоприятной среды: обеспечение стабильной правовой системы, защита интеллектуальной собственности, развитие инфраструктуры, доступ к высокоскоростному интернету – все это является основой для инновационной активности.

3 Образование и наука: инвестирование в образование и науку, создание исследовательских центров, поддержка международного сотрудничества в сфере науки – это ключ к формированию высококвалифицированной рабочей силы и развитию новых технологий.

4 Стимулирование спроса: государство может стимулировать спрос на инновационные продукты и услуги через государственные закупки, поддержку экологически чистых технологий, продвижение инноваций на международном рынке.

5 Развитие кластеров: создание инновационных кластеров, объединяющих университеты, научные центры, компании и государственные органы, позволит сконцентрировать ресурсы и знания для решения конкретных задач. Кластер – это группа взаимосвязанных компаний, организаций и институтов, которые работают в одной или нескольких смежных отраслях и расположены в определенном географическом районе [1].

Зарубежные страны накопили значительный опыт эффективного государственного стимулирования инноваций. Так, в США, Германии, Японии и ряде других развитых стран широко применяются налоговые льготы, прямое финансирование НИОКР, государственные программы поддержки инновационных предприятий и другие меры.

Примеры успешной государственной политики:

1 США: создание DARPA (Агентство передовых оборонных исследовательских проектов), поддержка Silicon Valley, программы стимулирования научных исследований.

2 Китай: национальная стратегия «Made in China 2025», фокус на развитие высокотехнологичных отраслей, поддержка инновационных компаний.

3 Израиль: создание «Страны стартапов», поддержка технологического предпринимательства, сильная научная база.

Анализ зарубежной практики позволяет выделить ключевые факторы успешного государственного стимулирования инновационного развития:

- долгосрочный стратегический подход;
- эффективная координация между государством, бизнесом и наукой;
- адаптация мер поддержки к особенностям национальной экономики.

Правильная государственная политика в сфере инноваций играет ключевую роль в формировании процветающего и конкурентоспособного общества. Она представляет собой комплексный подход, направленный на создание благоприятной среды для развития и внедрения новых технологий, способствуя не только экономическому росту и повышению качества жизни населения, но и к следующим позитивным последствиям:

1 Ускорение экономического роста: новые технологии и продукты повышают производительность, создают новые рабочие места и стимулируют экспорт.

2 Повышение конкурентоспособности: инновации помогают компаниям выделиться на рынке, предложить более качественные и конкурентные продукты и услуги.

3 Улучшение качества жизни: новые технологии решают важные проблемы в сферах здравоохранения, образования, транспорта и окружающей среды.

Однако для достижения желаемого результата необходимо не только финансировать научные исследования и разработки, но и создавать благоприятные условия для инновационной деятельно-

сти. Это означает развитие инфраструктуры (например, технологических парков и инкубаторов), поддержку образования и науки, защиту интеллектуальной собственности, а также регулирование нормативно-правовой среды для внедрения инноваций.

Несмотря на предпринимаемые в Республике Беларусь меры по стимулированию инновационного развития, существует ряд проблем, требующих дальнейшего совершенствования государственной политики в данной сфере:

- недостаточное финансирование НИОКР;
- слабая вовлеченность бизнеса в инновационные процессы;
- несовершенство правовой базы регулирования инноваций;
- отставание в развитии инновационной инфраструктуры.

Для решения этих проблем необходимо увеличение государственных расходов на НИОКР; совершенствование налогового стимулирования инновационной деятельности; развитие механизмов государственно-частного партнерства в инновациях; формирование целостной национальной инновационной системы [2].

В условиях глобальной конкуренции, государство должно играть активную роль в стимулировании инновационного развития. Правильная политика может привести к экономическому росту, повышению конкурентоспособности и улучшению качества жизни. Важно помнить, что инновации – это не только технологии, но и новые идеи, подходы и решения. Реализация комплекса мер по финансовой, правовой и организационной поддержке инноваций позволит активизировать инновационную деятельность в Республике Беларусь и повысить ее конкурентоспособность на мировых рынках.

Список литературы

1 Роль государственного стимулирования в современной экономической теории [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://cyberleninka.ru/article/n/rol-gosudarstvennogo-stimulirovaniya-innovatsiy-v-sovremennoy-ekonomicheskoy-teorii>. – Дата доступа : 14.09.2024

2 Инновационная функция государства [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://vak.gov.by/sites/default/files/2022-10/Автореферат%20Степаненко%20Д.М..pdf>. – Дата доступа : 12.09.2024.

УДК 656.073:235(476)

ОСНОВНЫЕ СТРАТЕГИЧЕСКИЕ НАПРАВЛЕНИЯ КОНЦЕПЦИИ РАЗВИТИЯ КОНТЕЙНЕРНОГО БИЗНЕСА В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Н. А. КЕКИШ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Контейнеризация перевозок как лидирующая технология в транспортной сфере требует комплексного подхода и выстраивания четкой стратегии по управлению этим процессом. Сложные взаимосвязи между производством, транспортом и сферой сопутствующих услуг обуславливают необходимость создания единой концепции развития контейнерного бизнеса, которая позволила бы объединить различные направления работы в единую структуру с согласованными целями и задачами для наиболее эффективного использования имеющихся финансовых, инфраструктурных, кадровых ресурсов. Сбалансированное развитие контейнерной транспортной системы (КТС) на базе такой концепции является одним из ключевых факторов обеспечения экономической безопасности не только транспортной отрасли, но и экономики страны в целом, прежде всего с учетом необходимости реализации ее экспортного потенциала.

Концепция развития контейнерного бизнеса должна предусматривать конкретные меры и действия для решения четырех групп основных задач:

- технические задачи – обеспечение КТС современными техническими средствами для контейнерных перевозок, включая терминальную обработку и сервисное обслуживание контейнеров;
- технологические задачи – использование наиболее эффективных технологических решений для максимальной реализации логистического потенциала КТС;
- организационно-управляющие задачи – обеспечение согласованной работы всех элементов КТС;
- коммерческие задачи – обеспечение наибольшей эффективности функционирования бизнес-модели КТС для всех ее агентов с учетом возникающих косвенных эффектов для транспортного комплекса и экономики страны в целом.

Первая группа задач, которые должны быть включены в концепцию, предусматривает работу по следующим направлениям:

- развитие контейнерного парка, предполагающее рост количества контейнеров, прежде всего за счет организации производства в стране, соответствующей потребности в контейнерных перевозках, а также обеспечение необходимого разнообразия видов и типоразмеров в структуре контейнерного парка;

- развитие парка подвижного состава для контейнерных перевозок на всех видах транспорта, включая обеспечение технологически и экономически обоснованной доли длиннобазных фитинговых платформ на железнодорожном транспорте, а также развитие парка контейнерного автотранспорта, оборудованного грузовыми механизмами (контейнеровозы с манипуляторами);

- развитие и техническое обеспечение сервиса контейнерного парка (пунктов ремонта, промывки, дополнительного оборудования и кастомизации контейнеров);

- совершенствование технического оснащения терминалов, обеспечение их грузовым и транспортным оборудованием, в том числе развитие отечественного производства терминального оборудования и вспомогательных технических средств для контейнерных перевозок (комплектов многооборотных средств крепления, специализированных средств пакетирования, упаковки, амортизации, температурных и ударных датчиков и т. п.);

- совершенствование технического оснащения информационно-управляющих систем, обслуживающих КТС.

Ко второй группе относятся задачи, связанные с совершенствованием технологии контейнерных перевозок на различных стадиях процесса транспортировки и процесса функционирования КТС в целом:

- развитие технологий перевозки контейнеров, включая ярусную перевозку железнодорожным транспортом, технологию переработки на станциях, технический и коммерческий осмотр, технологию развоза местного груза, график движения контейнерных поездов, технологию формирования и пропуска ускоренных контейнерных поездов, технологию работы со сборными грузами в контейнерах;

- развитие технологий терминальной обработки контейнеров, включая технологии взаимодействия различных видов транспорта на мультимодальных терминалах, а также технологии обработки контейнеров на автоматизированных терминалах;

- развитие технологий информационного сопровождения контейнерных перевозок в условиях цифровизации (работа с базами данных с информацией о контейнерном парке, слежение за дислокацией, сбор и обработка данных с электронных пломб и оборудования типа «умный контейнер», документальное оформление перевозок в электронной форме и т. п.).

Важнейшей составляющей концепции должен стать блок организационно-управляющих задач. Следует понимать, что на сегодняшний день контейнеризация является в некотором роде стихийным процессом, иницируемым, финансируемым и управляемым сразу несколькими группами заинтересованных агентов (представителями различных видов транспорта, инвесторами, владельцами и операторами контейнерного парка, грузовладельцами, владельцами и операторами объектов терминальной инфраструктуры). В связи с этим в развитии КТС наблюдается некоторый дисбаланс, в частности, в сфере развития контейнерного парка и развития терминальной сети, обусловленный несогласованностью действий различных участников процесса. Для гармоничного развития и эффективного функционирования КТС единые стратегические подходы концепции следует распространить на следующие направления:

- согласованное развитие терминальной сети мультимодальных перевозок;

- выработка системы показателей состояния и качества функционирования КТС;

- управление порожним пробегом и обратной загрузкой контейнера и подвижного состава, используемого в контейнерных перевозках;

- система доступа к рынку аренды контейнеров;

- разработка централизованной информационной системы контейнерных перевозок с обеспечением доступа участников бизнес-процессов на требуемых стадиях;

- цифровое документальное сопровождение контейнерных перевозок;

- совершенствование нормативно-правового регулирования контейнерных перевозок с учетом модернизации контейнерного парка, изменения технологий перевозки, цифровизации бизнес-процессов перевозки и терминальной обработки;

- создание системы управления внетранспортным использованием контейнеров, обеспечивающей вход и выход контейнеров из КТС, а также кастомизацию их под другие нужды. Это новое

направление концепции, которому до настоящего времени не уделялось внимания. Однако вне-транспортное использование контейнеров оказывает непосредственное влияние на динамику контейнерного парка и может являться действенным инструментом как регулирования его размеров, так и повышения экономической эффективности его использования;

– управление взаимоотношениями с грузовладельцами с целью повышения уровня контейнеро-пригодности продукции и повышения уровня контейнеризации, прежде всего в сегменте немаршрутизированных перевозок;

– управление взаимоотношениями с государственными уполномоченными органами и перевозчиками других стран в системе планирования и согласования перевозок, обеспечение согласованной технологии контроля, доступа к базам данных и обмена информацией, автоматизация оформления и передачи разрешительных и сопроводительных документов.

Эффективное функционирование КТС невозможно без создания устойчивой бизнес-модели контейнерных перевозок. Блок коммерческих задач концепции развития контейнерного бизнеса базируется прежде всего на согласованной тарифной политике всех участвующих агентов, их маркетинговой стратегии в данном сегменте транспортного рынка и совершенствовании комплекса транспортно-экспедиционных услуг, предоставляемых клиентам при осуществлении контейнерных перевозок.

Реализация всех задач концепции невозможна без соответствующего кадрового обеспечения. Поэтому необходимой составной частью стратегии развития КТС должны стать программы подготовки высококвалифицированных специалистов в области проектирования и эксплуатации технических средств контейнерных перевозок и терминального оборудования, контейнерной логистики, тарифного регулирования, управления движением и оборотом подвижного состава, создания и эксплуатации информационно-управляющих систем и программного обеспечения.

УДК 338.47:330.45:656.07

АНАЛИЗ ЗНАЧЕНИЯ ИНТЕГРАЦИИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ В ОПЕРАЦИОННУЮ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ И СТРАТЕГИЧЕСКОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ ОПЕРАТОРА ГРУЗОВОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

О. В. КОРИШЕВА

Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва

Изменение условий формирования экономических отношений, сложившееся в результате действий организаций и руководства недружественных к России стран, повлияло на поиск новых стратегий развития, а также методов управления рисками для повышения уровня экономической безопасности.

Изменение условий хозяйствования, структуры клиентской базы, потребностей в вагонном парке, возможностей использования инфраструктуры общего пользования – всё это факторы, формирующие риски для хозяйствующих субъектов в сфере грузовых железнодорожных перевозок, которые одними из первых ощутили влияние изменения логистических цепочек и необходимость быстрой переориентации на внутренний рынок.

АО «Федеральная грузовая компания» (АО «ФГК») – дочерняя компания госхолдинга «Российские железные дороги». Система управления рисками и внутреннего контроля (СУРиВК) – часть общей системы корпоративного управления АО «ФГК». Управление рисками осуществляется на всех уровнях, и функции управления распределены на всех участников функциональных и проектных направлений [2]. Различные функции в рамках своих компетенций выполняют Совет директоров, генеральный директор и правление АО «ФГК», первый заместитель генерального директора, заместители генерального директора и главный бухгалтер АО «ФГК», Комитет по аудиту и рискам Совета директоров, в задачи которого, в частности, входят контроль за надежностью и эффективностью СУРиВК, а также анализ и оценка исполнения политики в области СУРиВК. АО «ФГК» стало победителем национального конкурса «Эффективный внутренний контроль и аудит» в номинации «Лучшее подразделение по управлению рисками и внутреннему контролю» [2]. Также следует выделить сформированную комплексную комплаенс-систему, представляющую собой систему мер внутреннего контроля, направленных на предупреждение и предотвращение нарушений законода-

тельства, соблюдение рекомендаций регуляторных органов и иных комплаенс-требований в различных сферах деятельности, что является методом предотвращения или минимизации риска.

Риск-менеджмент очень изменчив, поэтому эффективность его функционирования зависит от скорости реакции на изменения конъюнктуры рынка, ситуации в стране, а также финансового состояния хозяйствующего субъекта. Знание базовых приемов управления риском, умение трезво оценивать экономическую ситуацию и способность обнаружить спектр альтернатив служат основой для принятия эффективных управленческих решений для снижения степени существующих угроз [1].

АО «ФГК» активно использует методы управления рисками из групп «уклонение» и «диссипация (рассеивание)». Одним из самых эффективных методов диссипации является диверсификация, используемая совершенно в различных сферах и видах деятельности одинаково эффективно. Во-первых, АО «ФГК» диверсифицировало виды деятельности, не ограничиваясь на оперировании вагонным парком. Виды деятельности АО «ФГК» включают в себя оперирование подвижным составом (предоставление вагонов под перевозку); предоставление подвижного состава и специальных контейнеров в аренду; комплексное транспортное обслуживание на ж.-д. путях необщего пользования; транспортно-экспедиторские услуги. Развитие различных направлений деятельности позволит АО «ФГК» снизить финансовые, коммерческие, технические и ресурсные риски.

Во-вторых, АО «ФГК» имеет диверсифицированный производственный капитал в виде вагонного парка в количестве 132,3 тыс. ед. подвижного состава, включающего полувагоны, платформы, крытые вагоны, цистерны, а также специализированные контейнеры в количестве 2,7 тыс. ед. и маневровые локомотивы в количестве 4 ед. Диверсификация вагонного парка продолжает приносить положительный эффект. В частности, за 2023 год АО «ФГК» осталось в лидерах сегмента оперирования железнодорожным подвижным составом – грузооборот в вагонах АО «ФГК» за 2023 год достиг 170,1 млрд т·км, доля в грузообороте – 6,3 %. АО «ФГК» проводит мероприятия по повышению эффективности технической эксплуатации парка, в частности, за счет достижения средней толщины обода колесной пары 58,5 мм, что является максимальным значением за последние 10 лет и превышает средние значения показателя по парку подвижного состава Российской Федерации (на 1 мм) [2].

Сложная ситуация на рынке полувагонов в 2023 году, сложившаяся по причине проведения крупных ремонтных и строительных работ в железнодорожной инфраструктуре, а также из-за завершения некоторых инфраструктурных проектов в центральной части страны, привела к падению показателей операционной деятельности по итогам 2023 года. Погрузка снизилась на 3 % (–3 млн т) до 115 млн т, грузооборот сократился на 8 % (–16477 млн т·км) до 178426 млн т·км, производительность вагона сократилась на 11 % (–532 т·км/ваг./сут) до 4534 т·км/ваг./сут по сравнению с показателями 2022 года. Как отмечается в годовом отчете АО «ФГК», «в силу сложившихся обстоятельств основными задачами Компании являлись развитие внутрироссийских перевозок и обеспечение необходимым подвижным составом перевозок для государственных нужд в целях развития экономики Российской Федерации. В результате основу структуры грузовой базы по итогам работы в 2023 году составили минерально-строительные грузы (46 %)» [2]. В данных сложных условиях функционирования АО «ФГК» смогло найти решения для оперативного реагирования на изменяющиеся условия. Так, «наращивание внутрироссийских перевозок в грузовой базе АО «ФГК» в совокупности с сетевыми ограничениями не позволили сохранить среднюю дальность груженого рейса на уровне 2022 года (2022 год – 1701 км, 2023 год – 1592 км), что повлияло на уменьшение грузооборота на 16,5 млрд т·км (–8 %) и производительности вагона на 532 т·км/ваг./сут (–11 %)» [2]. Кроме того, АО «ФГК» приобрело более 6 тыс. новых вагонов, в том числе: 4 тыс. универсальных платформ с фитинговыми упорами, 2 тыс. крытых вагонов, 100 ед. нефтебензиновых цистерн, 50 ед. контрейлерных платформ «колодецевого» типа модели 13-6701 «Печора», для организации скоростных контейнерных перевозок было приобретено 43 ед. скоростных 80-футовых фитинговых платформ модели 13-6704 «Заря», а также 2,7 тыс. специализированных контейнеров [2]. По словам генерального директора АО «ФГК» А. М. Дреничева, «в отчетном периоде Компания сосредоточилась на формировании сервиса контрейлерных перевозок с задействованием всего парка контрейлерных платформ в регионах с труднодоступной автомобильной инфраструктурой, а также на развитии сегмента перевозок в специализированных контейнерах различной модификации» [2].

Программа комплексного транспортного обслуживания (КТО), реализуемая в АО «ФГК», в рамках которой часть функций промышленных предприятий передается на аутсорсинг, обеспечи-

ла положительный эффект в виде привлечения дополнительных грузов на железную дорогу за счет удобства в получении услуг для грузоотправителей. За 2023 год АО «ФГК» увеличило количество производственных площадок для КТО до 18. По данным годового отчета АО «ФГК» «в 2023 году в рамках договоров комплексного транспортного обслуживания погружено 190,2 тыс. вагонов, в том числе 123,4 тыс. полувагонов, находящихся в управлении АО «ФГК» (прирост погрузки в вагоны Компании на 750 тыс. т к 2022 году)» [2].

Еще одним важным направлением в деятельности АО «ФГК» является инновационное развитие. В этом направлении АО «ФГК» активно ведется разработка инновационных восьмиосных полувагонов в габаритах 1-Т – «Урал» и Тпр – «БАМ». Внедрение в эксплуатацию данных полувагонов позволит нивелировать риски и не допустить их (например, риски профицита парка полувагонов на сети или введение конвенционных ограничений), что будет способствовать повышению провозной способности на «лимитирующих направлениях российских железных дорог и не потребует существенных вложений в модернизацию инфраструктуры общего пользования» [2].

Таким образом, деятельность АО «ФГК» по управлению рисками на всех функциональных направлениях деятельности позволяет повышать финансовую эффективность, оперативно реагировать на изменяющиеся условия, обеспечивать не только текущее, но и перспективное развитие общества, а также укреплять экономическую безопасность.

Список литературы

1 Коришева, О. В. Анализ методов управления рисками хозяйствующего субъекта в сфере транспорта / О. В. Коришева, Е. В. Капошенкова, Г. И. Калофанов // Вклад транспорта в национальную экономическую безопасность : сб. тр. Междунар. науч.-практ. конф.; под ред. Р. А. Кожевникова, Ю. И. Соколова, З. П. Межох. – М., 2023. – С. 151–155.

2 Годовой отчет АО «ФГК» за 2023 год // Федеральная грузовая компания [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://railfgk.ru/upload/iblock/631/99tha310h7n3dd2w0mq3b04h29zp13t2.pdf>. – Дата доступа : 13.09.2024.

УДК 347.21

РЕЗЕРВ ПО СОМНИТЕЛЬНЫМ ДОЛГАМ КАК ШАГ УПРАВЛЕНИЯ ДЕБИТОРСКОЙ ЗАДОЛЖЕННОСТЬЮ В СИСТЕМЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

А. В. КРАВЧЕНКО

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

В современных экономических условиях дебиторская задолженность присуща всем предприятиям, независимо от вида деятельности, исключением не являются и транспортные организации. Рост суммы дебиторской задолженности отрицательно сказывается на результатах деятельности предприятия, так как, как правило, приводит к низкой возвратности или невозвратности средств предприятия, и как следствие, необходимости привлечения заемного капитала и управления им. Управление задолженностью предприятия требует квалифицированного управления, основанного:

- на формировании внутренней политики предоставления кредита для различных групп покупателей;
- анализе покупателей по срокам формирования задолженности, сумме обязательства;
- разработке контрольных мероприятий, направленных на своевременность взыскания задолженности и проведения работ по обеспечению ее возвратности.

Сложившаяся по объективным причинам централизованная система формирования и использования выручки от перевозок, а также регулируемая система последующих экономических отношений подразделений позволяют сделать вывод о том, что все вопросы, связанные с движением финансовых потоков, должны решаться только на уровне Управления железной дороги.

Поэтому вопрос о том, на каком уровне управления, при существующей организационной структуре железной дороги, возможно возникновение и управление дебиторской задолженностью по платежам за перевозки, предполагает следующие варианты ответа:

- на уровне отделения железной дороги, непосредственно по информации отделенческого расчетного центра, который проверяет правильность формирования постанционной суммы выручки и

последующее перечисление провозных платежей клиентами. На уровне отделения железной дороги есть возможность непосредственной работы с клиентурой по ликвидации долга за перевозки;

– на уровне предприятий дорожного подчинения, осуществляющих финансовую деятельность самостоятельно;

– на уровне Управления железной дороги, где формируется основная договорная работа с клиентами и где централизуется вся выручка от перевозок [1].

Дебиторская задолженность организаций железнодорожного транспорта формируется как на уровне управления, отделений, так и предприятий дорожного подчинения, что предполагает многоуровневую систему контроля, вызванного:

- негативной динамикой погашения задолженности;
- отсутствием поступления оплаты в течение сравнительно продолжительного периода времени;
- снижением платежеспособности организаций.

Это обуславливает необходимость организации эффективной системы контроля за состоянием расчетов, что является базой для дальнейшей кропотливой работы по взысканию задолженности по каждому дебитору.

Однако в отдельных случаях даже хорошо отлаженная система не может обеспечить взыскание суммы долга, что указывает на актуальность учета риска невозвратности средств и его страхования.

В международной и отечественной практике обозначенная проблема решается формированием резервов по сомнительным долгам.

Для целей бухгалтерского учета сомнительным долгом признается дебиторская задолженность, возникшая в результате реализации продукции, товаров, выполнения работ, оказания услуг, которая не погашена в срок, установленный договором или законодательством (если срок не установлен – в течение 12 месяцев с даты возникновения дебиторской задолженности), и не обеспечена соответствующими гарантиями [2].

Величина резервов по сомнительным долгам согласно требованиям постановления Министерства финансов Республики Беларусь «Инструкция по бухгалтерскому учету доходов и расходов» № 102 от 30.09.2011 определяется одним из следующих способов:

– по каждому дебитору на основе анализа платежеспособности дебитора, возможности погашения им задолженности полностью или частично и других факторов;

– по группам дебиторской задолженности на основе ее распределения по срокам непогашения. По данным инвентаризации дебиторская задолженность на конец отчетного периода распределяется по группам в зависимости от срока ее непогашения. Для каждой группы устанавливается коэффициент сомнительной задолженности группы. Распределение дебиторской задолженности по группам и установление соответствующих коэффициентов осуществляется исходя из информации, имеющейся за предыдущий период, который не должен превышать пяти лет;

– по всей сумме дебиторской задолженности на основе выручки от реализации продукции, товаров, выполнения работ, оказания услуг за отчетный период и коэффициента сомнительной задолженности.

Резервы, сформированные в бухгалтерском учете в соответствии с требованиями Инструкции № 102, не уменьшают налогооблагаемую прибыль, поскольку это не предусмотрено Налоговым кодексом [2].

Однако, учитывая сложную систему финансового взаимодействия, возникает вопрос об уровне, на котором должен быть создан резерв. Не менее важным является и вопрос о сумме дебиторской задолженности, принятой к расчету резерва по сомнительным долгам. Анализируя соотношение дебиторской задолженности предприятий железнодорожного транспорта, выяснили, что значительную ее часть составляют внутривладельческие обязательства, которые должны исключаться из расчета при формировании резерва по сомнительным долгам. Учитывая высказанное предположение, формирование резерва следует осуществлять на уровне управления или отделения дороги с применением третьего способа, а именно по всей сумме дебиторской задолженности на основе выручки от реализации продукции, товаров, выполнения работ, оказания услуг за отчетный период и коэффициента сомнительной задолженности.

В заключение следует отметить, что управление дебиторской задолженностью в контексте формирования резервов по сомнительной задолженности на уровне управления железной дороги и отделений железной дороги является оптимальным способом повысить уровень достоверности бухгал-

терской отчетности, поскольку позволяет отразить сомнительную дебиторскую задолженность в соответствии с реальной вероятностью ее получения, так как даже те предприятия, которые не формируют резерв, обязаны оценить объем задолженности, нереальной к получению.

Список литературы

1 Шатров, С. Л. Методические подходы к формированию и использованию резервов по сомнительным долгам в системе железнодорожного транспорта / С. Л. Шатров // Рынок транспортных услуг (проблемы повышения эффективности) : междунар. сб. науч. тр. ; под ред. В. Г. Гизатуллиной. – Гомель : БелГУТ, 2014. – Вып. № 7. – С. 68–76.

2 Инструкция по бухгалтерскому учету доходов и расходов : постановление Министерства финансов Респ. Беларусь от 30 сент. 2011 г. № 102 // *ilex.by* [Электронный ресурс]. – Минск, 2022.

УДК 658.1

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ФИНАНСОВОГО УПРАВЛЕНИЯ В УСЛОВИХ КРИЗИСА

Е. В. КУРЬЯН

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

В условиях динамичных изменений во внешней финансовой среде и внутренних аспектах финансовой деятельности возрастает вероятность периодического возникновения кризисных ситуаций в организации. Кризисы могут проявляться в различных формах. Одним из наиболее значительных является финансовый кризис, который представляет собой серьезную угрозу для функционирования и развития организации.

Чтобы максимально предупредить финансовый кризис, нужно своевременно его идентифицировать. Для этого необходимо знать основные симптомы кризиса. Организация находится в состоянии финансового кризиса, если:

- а) возрастает себестоимость продукции, а спрос на нее падает. При этом ухудшается и продуктивность труда;
- б) уменьшается количество клиентов, заказов, контрактов по продаже продукции;
- в) производство уже не стабильно и работает не в полную мощь. На складах появляется больше запасов, которые дорого содержать;
- г) объем выручки уменьшается;
- д) ухудшается платежеспособность предприятия. Появляется все больше долгов (кризис ликвидности);
- е) уменьшается объем денег в обороте. Уменьшается количество наличного капитала в обороте.
- ж) цены на акции организации падают.

В этих условиях каждый хозяйствующий субъект формирует антикризисную финансовую стратегию своего развития.

В зарубежной литературе используются такие термины, как «управление кризисами», «кризис-менеджмент», которые во многом сопоставимы с предлагаемым толкованием понятия «антикризисное управление». Антикризисное финансовое управление – это процесс предупреждения или преодоления финансовой несостоятельности субъекта хозяйствования в условиях потенциального или развивающегося кризиса.

Следует подчеркнуть, что зачастую термин «антикризисное управление» интерпретируется двумя способами: как управление в условиях кризиса или как действия, ориентированные на возвращение хозяйствующего субъекта к стабильному состоянию после кризиса. Считаем, что подобное толкование сущности антикризисного управления не учитывает его предупреждающей ориентации, т. е. профилактического аспекта.

Одним из ключевых аспектов антикризисного управления является регулярное наблюдение за внутренними и внешними факторами, которые могут указывать на приближающуюся угрозу кризиса. Стратегия антикризисного управления должна начинаться с определения ее назначения. На всех дальнейших этапах развития хозяйствующего субъекта руководитель обязан уделять особое внимание оперативному обнаружению признаков, которые могут свидетельствовать о негативной динамике в положении организации или ухудшении её конкурентоспособности.

Таким образом, главной задачей антикризисного финансового управления является разработка и внедрение мероприятий, направленных на предотвращение и (или) быстрое восстановление платежеспособности, а также финансовой стабильности, что позволяет организации выйти из кризиса. С учетом данной цели, в рамках общей финансовой стратегии формируется политика антикризисного финансового управления по трем ключевым этапам.

На первом этапе восстанавливается способность организации выполнять платежи по финансовым краткосрочным обязательствам. Равновесие денежной наличности и срочных финансовых обязательств возможно достичь разными путями, которые целесообразно сгруппировать по следующим направлениям:

- уменьшение величины краткосрочных финансовых обязательств;
- увеличение прироста денежной наличности за счет ускорения оборачиваемости краткосрочных активов и ликвидации портфеля краткосрочных финансовых вложений;
- частичная реализация долгосрочных активов.

Чтобы выбрать конкретное направление оперативного механизма финансовой стабилизации, используется реальная неплатежеспособность организации, индикатором которой служит коэффициент чистой текущей платежеспособности [1]

$$КЧТП = \frac{КА - КА_{н}}{КФО - КФО_{во}}$$

где КЧТП – коэффициент чистой текущей платежеспособности организации в условиях ее кризисного развития; КА – сумма всех краткосрочных активов организации; КА_н – сумма неликвидных краткосрочных активов организации; КФО – сумма всех краткосрочных финансовых обязательств организации; КФО_{во} – сумма внутренних краткосрочных финансовых обязательств организации, погашение которых может быть отложено до завершения ее финансовой стабилизации.

На данном этапе финансовой стабилизации считается, что цель достигнута, если устранены проблемы с текущей платежеспособностью хозяйствующего субъекта, т. е. поступления денежных средств превысили сумму неотложных финансовых краткосрочных обязательств. Это указывает на то, что риск банкротства хозяйствующего субъекта в данное время устранен, хотя, как правило, эта угроза все же остается в отложенной форме.

На втором этапе происходит восстановление финансовой стабильности организации. Разрабатывается тактический механизм финансовой стабилизации, который будет представлен в виде комплекса мероприятий, ориентированных на достижение состояния финансового равновесия, достигнутого в результате, когда возможный объем накопления собственных финансовых ресурсов будет равнозначен необходимому объему их использования. В условиях кризиса главной стратегией для достижения финансового равновесия в организации становится снижение использования собственных финансовых ресурсов. Это сокращение будет затрагивать как текущую, так и инвестиционную деятельность хозяйствующего субъекта, что, в свою очередь, приведет к уменьшению объема этих операций.

Достижение целей на этапе финансовой стабилизации считается выполненным, когда хозяйствующий субъект достигает уровня финансового равновесия, который соответствует намеченным параметрам финансовой структуры капитала и обеспечивает надлежащую финансовую устойчивость.

На третьем этапе осуществляется внедрение ранее разработанной модели устойчивого экономического роста хозяйствующего субъекта.

На данном этапе решаются ключевые стратегические вопросы, касающиеся финансовой стабилизации предприятия, что помогает оптимизировать важные финансовые параметры. Главным показателем этой модели является прогнозируемый темп объема реализации продукции, который можно определить как произведение коэффициентов чистой рентабельности продаж, капитализации чистой прибыли, левериджа активов и оборачиваемости активов [2].

Модифицируя различные элементы финансовой стратегии хозяйствующего субъекта, можно достичь удовлетворительных темпов его экономического прогресса в условиях финансовой стабильности.

Этап финансовой стабилизации считается успешным, если в результате увеличения темпов устойчивого экономического роста организации наблюдается соответствующее повышение ее рыночной стоимости в долгосрочном периоде.

Следовательно, адаптированная финансовая стратегия, учитывающая негативные факторы, должна обеспечивать высокие темпы стабильного роста операционной деятельности хозяйствующего субъекта, одновременно минимизируя риск его банкротства в ближайшем будущем.

Список литературы

- 1 **Бланк, И. А.** Финансовый менеджмент / И. А. Бланк. – Киев : НИКА-Центр : Эльга, 2004. – 656 с.
- 2 **Шевлюков, А. П.** Финансовый менеджмент на предприятии : учеб. пособие / А. П. Шевлюков. – Гомель : ГКИ, 2001. – 562 с.

УДК 656.21.07

ОСОБЕННОСТИ АНАЛИЗА ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ РАБОТЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ СТАНЦИИ

О. В. ЛИПАТОВА

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

В современных условиях железнодорожный транспорт составляет основу транспортной системы Республики Беларусь, связывает в единое целое многочисленные отрасли и районы страны, обеспечивает жизнедеятельность всех отраслей национальной экономики, реализацию социальных программ, экономическую и национальную безопасность государства, активно влияет на развитие межрегиональных и международных связей.

Эксплуатационная работа железнодорожного транспорта в широком смысле этого слова представляет собой всю работу железной дороги, связанную с перевозочной деятельностью: грузовую и техническую работу станций, организацию движения поездов, все виды работ, связанные с организацией пассажирских перевозок, содержание и обслуживание подвижного состава и постоянных устройств железнодорожного транспорта. При этом ключевую роль в реализации основных задач железнодорожного транспорта – обеспечение бесперебойной доставки грузов и пассажиров при любых условиях, безопасности пассажиров и сохранности перевозимых грузов – играет железнодорожная станция. На железнодорожных станциях выполняются начально-конечные операции перевозочного процесса (погрузка и выгрузка грузов, посадка и высадка пассажиров), осуществляются контакты железной дороги и клиентуры, размещаются основные устройства и сооружения, обеспечивающие перевозки грузов и пассажиров. От работы станций зависит выполнение основных качественных и количественных показателей железнодорожного транспорта, качество обслуживания пассажиров, своевременность доставки грузов и пассажиров и другое. Следовательно работа станций предопределяет качество, надежность, безопасность всей транспортной деятельности.

Эксплуатационная работа железнодорожной станции, связанная с выполнением грузовых перевозок, осуществляется постоянно и непрерывно, что предполагает необходимость проведения текущего (оперативного) и периодического анализа.

При оперативном анализе внимание должно быть сосредоточено на главных вопросах работы за истекшие сутки. В зависимости от целевого разреза оперативный анализ использования вагонов должен осуществляться по следующим направлениям: наименованию грузов; роду вагонов; суткам; грузоотправителям и грузополучателям.

Проведение такого анализа позволит выявить недостатки и упущения, препятствующие нормальному ходу работы, и будет способствовать обеспечению плана работы в последующие сутки.

Периодический анализ, проводимый ежемесячно, должен быть направлен на оценку выполнения плана и динамики основных показателей работы станции. При проведении периодического анализа целесообразно придерживаться приведенной далее последовательности.

На первом этапе необходимо оценить выполнение плана и динамику объемных показателей эксплуатационной работы: показатели по начально-конечным операциям перевозочного процесса (погружено грузов, отправлено грузов, выгружено грузов); прием и отправление поездов; состояние рабочего парка. При этом анализ показателей по начально-конечным операциям должен осуществляться:

а) по железнодорожной станции с выделением работ, выполняемых силами клиента, собственными силами;

б) в целом по всем грузам и с выделением важнейших из них;

в) по отдельным грузам с детализацией по типам поданных под погрузку грузовых вагонов.

При анализе состава, структуры и динамики погрузки грузов необходимо учесть условия, в которых формировалась взаимосвязь показателей, характеризующих выполнение начальной операции перевозочного процесса. По этому признаку могут быть выделены три группы грузов:

– в первую группу следует включить грузы, заявки на перевозку которых выполнены полностью, в том числе и грузы, по которым плановая потребность в вагонах или контейнерах была вышена грузоотправителем;

– ко второй группе могут быть отнесены грузы, отправление которых регулируется (ограничивается) с учётом перерабатывающей станции назначения;

– в третью группу объединяются грузы, по которым потребности грузоотправителей в перевозках удовлетворены не полностью по причине дефекта грузовых вагонов.

При анализе показателя «отправлено грузов» даётся характеристика выполнения плана маршрутизации перевозок. Для оценки уровня маршрутизации изучаются выполнение плана и динамика удельного веса грузов, отправленных маршрутами, в общем количестве отправленных грузов. Целесообразно также оценить неравномерность отправления грузов (во времени и по направлениям).

Анализ показателей «отправление грузовых поездов» и «приём грузовых поездов» свидетельствует о ритмичной работе станции в соответствии с графиком движения поездов. Особое внимание необходимо обратить на динамику и выполнение плана по показателю «отправление поездов своего формирования», в том числе с учетом количества тяжеловесных и длинносоставных, неполновесных и неполносоставных поездов.

Анализ состояния вагонного парка связан с оценкой имеющихся в распоряжении станции вагонов и предполагает оценку вагонооборота, рабочего парка, общего наличия вагонов, что позволит выявить резервы увеличения грузовой работы станции.

На втором этапе необходимо рассмотреть изменения качественных показателей работы станции по следующим направлениям:

– анализ использования вагонов во времени, что предполагает оценку таких показателей, как время нахождения местных вагонов под грузовыми операциями, время нахождения транзитных вагонов на технической станции.

Анализ времени нахождения вагона под грузовыми операциями целесообразно выполнять по отдельным погрузочно-разгрузочным фронтам с выделением важнейших грузоотправителей и грузополучателей;

– анализ статической нагрузки в целом и по отдельным родам грузов с учетом зависимости средней статической нагрузки от удельный вес вагонов, загруженных i -м грузом, в общем количестве погруженных вагонов, и статическая нагрузка вагона при погрузке i -го рода груза.

В результате анализа показателя статической нагрузки устанавливаются резервы увеличения объёма погрузки за счёт улучшения качества погрузки отдельных родов груза, для этого показатели степени использования грузоподъёмности вагонов сопоставляют с нормами загрузки вагона каждого типа определённым родом груза;

– анализ среднего веса поезда, который при условии полного использования мощности локомотива зависит от полезной длины приемоотправочных путей и средней нагрузки вагона. В ходе анализа следует рассчитать вес поезда, который может быть размещен на одном пути и оценить влияние на него структуры перевозимых грузов, определяющих величину нагрузки в тоннах, приходящуюся на 1 м длины поезда. По результатам оценки влияния факторов следует выяснить также причины, которые привели к изменению среднего веса поезда, обратив внимание на изменения количества в отчётном периоде длинносоставных и тяжеловесных, неполносоставных и неполновесных поездов.

На третьем этапе производится экономическая оценка показателей эксплуатационной работы станции, обобщаются выявленных в ходе анализа резервы и разрабатываются мероприятия по их реализации.

Результаты анализа эксплуатационной работы станции позволят выявить основные тенденции в погрузке грузов, определить структуру погрузки по станции, дать оценку качеству выполняемой работы и будут способствовать развитию системы планирования потребного парка грузовых вагонов.

Список литературы

- 1 Анализ хозяйственной деятельности на железнодорожном транспорте : учеб. / В. Г. Гизатуллина [и др.] ; под общ. ред. В. Г. Гизатуллиной, Д. А. Панкова. – Гомель : БелГУТ, 2020. – 415 с.
- 2 **Иваненко, А. Ф.** Анализ хозяйственной деятельности на железнодорожном транспорте : учеб. пособие / А. Ф. Иваненко. – М. : ФГБОУ «Учеб.-метод. центр по образованию на ж.-д. трансп.», 2014. – 596 с.

УДК 331

ОРГАНИЗАЦИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С ПРОФИЛЬНЫМИ ОРГАНИЗАЦИЯМИ КАК НАПРАВЛЕНИЕ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

Н. Н. МАЛАНИЧЕВА

Нижегородский институт путей сообщения – филиал Приволжского государственного университета путей сообщения, г. Н. Новгород, Российская Федерация

Высшее образование в настоящее время развивается в условиях жесткой конкурентной борьбы за абитуриентов. На рынке образовательных услуг функционируют как государственные, так и негосударственные вузы. Каждая из этих групп вузов имеет свои конкурентные преимущества.

Взаимодействие с профильными организациями, потенциальными работодателями является основным направлением повышения качества образовательного процесса.

Как отмечает О. В. Близнава, основная цель профессионального высшего образования определяется как подготовка специалистов соответствующего уровня и профиля, которые будут востребованы и конкурентоспособны на рынке труда, у которых будут сформированы все необходимые знания и умения, соответствующие специальности [1].

Взаимодействие с профильными организациями строится на основании заключенных соглашений и дорожных карт. Динамика заключения соглашений с профильными организациями представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Динамика взаимодействия с профильными организациями

Наименование показателей	Год		
	2022–2023	2023–2024	2024–2025 (проект)
Количество организаций, с которыми заключены договоры о взаимодействии (за исключением баз практики)	1	2	1
Направления взаимодействия (за исключением прохождения практики):			
– привлечение в качестве экспертов для демонстрационного экзамена	Да	Да	Да
– организация экскурсий для студентов	Да	Да	Да
– организация научных семинаров	Да	Да	Да
– участие в научно-практических конференциях	Да	Да	Да

Одним из направлений взаимодействия является привлечение студентов, обучающихся на 4–5 курсах для участия в корпоративных мероприятиях, организуемых ОАО «РЖД».

25 января в новом молодежном пространстве ГЖД состоялась уникальная стратегическая сессия, в которой приняли участие руководители и молодые работники магистрала, а также представители регионального студенческого сообщества.

Стратегическая сессия приурочена ко Дню российского студенчества, также она стала первым мероприятием в цикле реализации инновационно-событийных проектов ГЖД совместно с региональными правительствами. В рамках проведения деловой игры участникам была предложена имитационная модель узкопрофильной отечественной производственной компании, которая имеет свои положительные и отрицательные стороны. Команды с учетом представленных условий разрабатывали нестандартные и инновационные решения дальнейшего развития предприятия.

По итогам проведения стратегической сессии многие инициативы участников были отмечены руководством Горьковской железной дороги и взяты для дальнейшей реализации в компании.

Еще одна стратегическая сессия была организована на базе Горьковского территориального центра фирменного транспортного обслуживания. Студентам рассказали о платформе «РЖД. Мар-

кет», показали ее в действии и заслушали доклад о значении и специфике цифровизации в сегменте грузовых перевозок ОАО «РЖД».

На эффективность взаимодействия с профильными организациями указывают данные таблицы 2.

Таблица 2 – Динамика участия студентов в корпоративных мероприятиях, организованных профильными организациями (составлено автором)

Показатель	Учебный год		
	2021–2022	2022–2023	2023–2024
Участие в стратегических сессиях	1	2	2
Участие в Дне инноваций	1	1	1
Участие в деловых играх			2
Участие в бизнес-инкубаторе, чел.	20	24	26
Участие в конкурсе «Новое звено», проекты			
В том числе:		4	5
– прошли региональный этап отбора и допущены до защиты		4	5
– вышли в полуфинал		–	1
Организация и проведение экскурсий	4	5	12

Проведенные исследования показали, что студенты, вовлеченные в научно-исследовательскую работу, имеют более высокий уровень сформированности профессиональных компетенций, у них лучше развиты коммуникационные способности, глубже понимание производственных процессов. Это приводит к сокращению периода первичной адаптации при трудоустройстве. Кроме того, студенты, занимающиеся научной работой, приобретают опыт публичного выступления. Все это способствует повышению их конкурентоспособности как профессионалов.

Организацию научной работы в учебном учреждении необходимо постоянно совершенствовать, внедрять новые методы и элементы, а также расширять участие в научно-исследовательской работе научно-технической библиотеки филиала.

Список литературы

1 Блинова, О. В. Организация самостоятельной и научной работы студентов как способ новых образовательных технологий в вузе / О. В. Блинова // Нива Поволжья. – 2008. – № 2 (7). – С. 88–91.

УДК 338.32.053.3

ПРОБЛЕМЫ АКТУАЛИЗАЦИИ СОДЕРЖАНИЯ ОСНОВНЫХ СРЕДСТВ НА ЭТАПЕ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭКОНОМИКИ

Е. А. МАТУСЕВИЧ, С. Л. ШАТРОВ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Основные средства согласно теоретическим постулатам экономической теории относятся к средствам производства в качестве средств труда, которые являются фундаментальными экономическими категориями, суть и содержание которых не изменялись на протяжении ряда столетий. Карл Маркс в своей работе «Наёмный труд и капитал» называл средства труда «механическими» и считал, что они отражают уровень развития общественного производства.

На современном этапе некоторые учёные также определяют средства труда как вещи, с помощью которых человек воздействует на вещество природы, обрабатывает предметы труда [1], при этом подчёркивается их овеществлённая форма [2].

Однако с развитием экономики и общества глубинная сущность обозначенных выше категорий претерпевает трансформацию. С середины XX века вместе с появлением первых электронных вычислительных машин и интегральных микросхем и до наших дней можно наблюдать феномен информационного общества [3]. Цифровизация в экономике – это внедрение цифровых и информационно-коммуникационных технологий в экономические процессы. Она позволяет снизить стоимость услуг, повысить эффективность затрат, увеличить доступность товаров, упростить вывод продукции на глобальные рынки и повысить скорость доработки продуктов под новые требования и потребности пользователей.

Главная движущая сила информационной экономики не производство и потребление материальных благ, а производство и потребление информации как в овеществленной форме (продукты высоких технологий), так и в невещественной, становясь в результате не только основополагающим фактором развития экономики, но и всего общества в целом [3]. По исследованиям современных ученых Лазарчук Е. В, Дукарт С. А [4], для корректного анализа современных экономических процессов к факторам производства, выделенных К. Марксом (земля, капитал, труд), целесообразно добавить информацию и интеллектуально-творческие способности (изобретательство).

Исходя из вышеизложенных положений следует, что на современном этапе глобализации процессов цифровизации экономики капитал как фактор производства следует разделить на интеллектуальный, информационный и материальный. Информация в данном случае может быть представлена как в овеществленной, так и невещественной форме, а интеллектуальные способности как инструмент для производства новых знаний. Овеществленная форма информации выражена в виде результата интеллектуального труда изобретателя (инновация), а невещественная – как результат труда ученого в виде знаний.

Если рассматривать отрасли высокотехнологичного производства, в частности программного обеспечения, то можно заметить, что роль материального компонента основных средств, используемого для производства конечного информационного продукта, не столько значима, как в материальном производстве. Производственная сила анализируемой отрасли состоит:

- из высококвалифицированных трудовых ресурсов, обладающих высокими интеллектуальными способностями;

- средств производства, среди которых первостепенную роль играют нематериальные объекты: программные продукты, лицензии, патенты и авторские права.

Они обеспечивают конкурентное преимущество товаров и услуг. Основные средства в виде оборудования имеют второстепенное значение.

Важно отметить, что информация одновременно является средством производства и продуктом производства в форме новых знаний и инноваций, которые каждый раз включаются в новый цикл производства. В каждом цикле производства материальных благ накапливается статистика по отказам оборудования, по удобству потребления, по недостаткам и слабым местам, анализ которых приводит к появлению инновации и улучшению готовой продукции. То есть информация имеет тенденцию накапливаться в течение производственного цикла и перерастать из количества в качество (рационализаторские предложения, изобретения, открытия).

Количество информации увеличивается на объём знаний, полученный в предыдущем цикле. Происходит закрепление текущей инновации и дальнейшее выработка новых знаний, которые приводят к появлению более новых инноваций. Таким образом, увеличивается доля интеллектуального труда в общем производственном процессе.

На современном этапе значительно изменяется ценностная составляющая основных средств. Информация и знания, инновации стали иметь более высокую удельную значимость относительно материальных средств производства и начали создавать более высокую добавочную стоимость. Именно цифровые компоненты повышают эффективность работы основных средств. В связи с этим появляется необходимость корректировки трактования сущности и состава основных средств.

Однако по действующему законодательству основные средства определяются как материальные активы [5]. Что касается объектов интеллектуальной собственности, которые не имеют физического выражения, их выделяют в отдельную категорию или группу имущества предприятия – нематериальные активы. Заметим, что в традиционном понимании они не являются средствами труда или предметами труда. Тем не менее, в отраслях нематериального производства, в частности в отраслях занятых производством информационного продукта базовым средством труда выступают объекты, которые не имеют вещественной формы, к таковым относятся программные продукты, информационные технологии, информационные ресурсы и т. п.

Любое простое или сложное программное обеспечение работает только с помощью определённого оборудования (компьютер, сервер, смартфон), поэтому оно является информационной составляющей основных фондов и его следует учитывать в составе основных средств. И только совместно они выполняют функцию средства труда и создают добавочную стоимость.

Отсутствие чёткого единообразного определения и разграничения основных средств и нематериальных активов, отражающего современные реалии, в условиях цифровизации экономики не позволяет получить руководству организации и инвестору достоверную информацию о действитель-

ной стоимости основного средства, участвующего в создании добавочной стоимости продукта производства, и доле информационной и инновационной составляющей, что затрудняет анализ эффективности использования производственных мощностей и принятие решения об инвестициях. Также затрудняет планирование затрат по техническому обслуживанию и, прежде всего, по обеспечению информационной безопасности средств труда.

Исходя из вышеизложенного предлагаем категорию основных средств интерпретировать как активы предприятия, имеющие материально-вещественную форму, а также активы, содержащие информационный (цифровой) компонент, которые обеспечивают процесс производства, участвуют в создании продукции (работ, услуг) и управления длительный период продолжительностью более 12 месяцев, возмещают свою стоимость по мере физического и морального износа в виде амортизационных отчислений, способствующих получению экономической выгоды.

Подводя итоги, следует отметить, что для обеспечения устойчивости и успешности функционирования организаций в долгосрочной перспективе, для активизации инновационной деятельности и развития инновационного потенциала интерпретация, классификация и признание в учёте основных категорий, составляющих основу экономической системы организации, должны отвечать требованиям современной реальности, которые диктует информационное общество и цифровизация экономики.

Список литературы

- 1 Полякова, Е. М. Экономическая теория : учеб. пособие для обучающихся всех форм обучения, всех направлений подготовки ПГСХА / Е. М. Полякова. – 2-е изд., перераб. и доп. – Уссурийск : ФГБОУ ВО ПГСХА, 2019. – 310 с.
- 2 Большой экономический словарь / авт.-сост. А. Б. Борисов. – 3-е изд. – М. : Книжный мир, 2003. – 895 с.
- 3 Головенчик, Г. Г. Цифровая экономика : учеб.-метод. комплекс / Г. Г. Головенчик. – Минск : БГУ, 2020. – 143 с.
- 4 Лазарчук, Е. В. Изменение факторов производства в рамках экономики знаний / Е. В. Лазарчук, С. А. Дукарт, Е. А. Аникина // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 11 (Ч. 3). – С. 584–587.
- 5 Международный стандарт финансовой отчетности (IAS) 16 «Основные средства» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://fin-accounting.ru/ifrs/ias16>. – Дата доступа : 23.08.2024.

УДК 658.8

БАЗИСНЫЕ АСПЕКТЫ АНАЛИЗА ФАКТОРОВ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ВОКЗАЛОВ

Т. С. МЕЛЬНИК, О. В. ХРИСТОФОР

Logistics Center «Allfresh Wholesale Limited», г. Корк, Ирландия

Создание мощного экономического потенциала, его рациональное использование и дальнейшее развитие – важнейшее условие стабильного и эффективного функционирования предприятий любой отрасли. Такими предприятиями являются, в частности, железнодорожные вокзалы – предприятия, относящиеся к пассажирскому сектору железнодорожного транспорта Украины. В связи с этим возникает потребность в анализе факторов, влияющих на экономический потенциал железнодорожных вокзалов страны.

При определенных условиях и предпринимаемых действиях экономический потенциал предприятия может быть увеличен, что позволит улучшить ряд показателей его деятельности. Однако это требует прежде всего выявления факторов, оказывающих влияние на формирование и использование экономического потенциала предприятия, их ранжирование по степени и вектору воздействия, изучение закономерностей такого воздействия.

В настоящее время подобный анализ на отечественных вокзалах не проводится, отсутствует его порядок и методика, не разработаны алгоритмы и процедуры. При этом экономические и финансовые бизнес-процессы активно разрабатываются, ряд из них прошел тестовую апробацию и работает достаточно успешно. Существующая методология проведения анализа факторов, влияющих на потенциал предприятий, позволяет адаптировать методы и методики анализа к особенностям железнодорожной отрасли и таких предприятий, как железнодорожные вокзалы, в частности.

Процессы формирования, использования и развития экономического потенциала предприятия происходят под влиянием многих факторов. В целях исследования этих воздействий все факторы объединены в группы по определенным общим характеристикам и признакам.

Группировка факторов и выявление взаимосвязи между ними способствуют системному и более глубокому изучению их влияния на уровень экономического потенциала предприятия, увеличивает возможности менеджмента учета этого влияния при формировании, использовании и развитии потенциала.

Группировка и ранжирование по разным признакам факторов влияния на экономический потенциал, характеризующий возможности предприятия в получении финансового результата от хозяйствования, важны для анализа условий, векторов и силы влияния множества этих факторов, а также формирования системы показателей, по которым оценивается текущее состояние и уровень экономического потенциала предприятия.

Рассмотрение существующих классификаций факторов влияния на экономический потенциал предприятий показало их, на первый взгляд, большое количество. Однако более глубокое изучение предлагаемых разными авторами классификационных признаков и видов факторов позволило установить несогласованность между формулировками классификационных признаков и определить их достаточно приемлемое обоснованное количество. Наряду с этим нам удалось увидеть и сформулировать несколько подходов к классификации факторов (таблица 1), а также отметить, что существующие классификации отличаются между собой прежде всего отраслевой спецификой, которая накладывает отпечаток на все другие различия между ними.

Выводы и предложения. Недостаточный уровень использования или нерациональное использование экономического потенциала железнодорожных вокзалов, как и любых других субъектов хозяйствования, приводит к деформации производственных процессов, снижению эффективности деятельности, перерасходу ресурсов и другим негативным последствиям. Поэтому анализ факторов, прогноз и оценка их влияния на уровень потенциала являются важнейшим условием эффективного управления экономическим потенциалом предприятий железнодорожной отрасли.

Таблица 1 – Подходы к классификации факторов влияния на экономический потенциал предприятия

Авторы (представители) подхода	Подход к классификации	Сущность подхода
Бойковская Г. Н.	Учет особенностей влияния факторов на потенциал предприятия	Группировка факторов в зависимости от особенностей их влияния на формирование и использование потенциала по 4 признакам: источник создания, отношение к предприятию, происхождение фактора, объект воздействия [1]
Жидков А. И., Ажаман И. А.	Отраслевой подход	Группировка факторов по признакам, учитывающим специфические черты и особенности деятельности предприятия соответствующей отрасли, на политико-правовые, инновационно-инвестиционные, финансово-экономические, кадровые [2]
Лесик Л. И.	Двойная группировка	Одновременная группировка факторов, влияющих на текущий уровень экономического потенциала, по основным элементам хозяйственной деятельности предприятия и по характеристикам элементов хозяйственной деятельности предприятия [3]
Лесик Л. И.	Трехуровневая модель группировки	Разделение факторов, определяющих уровень экономического потенциала, на 3 группы: первичные, вторичные и обобщающие [3]
Матвеев П. Н.	Учет важности влияния на формирование и использование потенциала предприятия	Классификация факторов по 4 основным признакам, позволяющим выделить те факторы, которые имеют наиболее значимое влияние на наиболее актуальные составляющие потенциала, а именно: источники создания, отношение к предприятию, природа фактора, объект воздействия [4]
Юрков Р. Р.	Комплексный подход	Рассмотрение комплексов факторов создания потенциала. Например, для финансового потенциала: рентабельность хозяйственной деятельности, ее рискованность, инвестиционная привлекательность проектов, доступность внешних источников финансирования [5]
<i>Примечание – Составлено авторами.</i>		

Анализ факторов влияния на экономический потенциал железнодорожных вокзалов должен выполняться согласно таких принципов: иерархичность, многовариантность классификации, количественное оценивание, расчет обобщающего показателя, учет динамичности среды.

Список литературы

- 1 Бойківська, Г. М. Закономірності, характеристики та фактори формування виробничого потенціалу підприємства / Г. М. Бойківська // Глобальні та національні проблеми економіки. – 2015. – Вып. 4. – С. 298–304.
- 2 Жидков, О. І. Чинники впливу на формування та розвиток економічного потенціалу підприємств сфери послуг / О. І. Жидков, І. А. Ажаман // Ефективна економіка. – 2021. – № 2. – С. 283–286.

3 Лесик, Л. І. Типологія видів і чинників формування економічного потенціалу підприємства / Л. І. Лесик // Науковий вісник НЛТУ України. – 2013. – Вып. 23.12. – С. 271–278.

4 Матвеев, П. М. Методологічні підходи до відтворення ресурсного потенціалу аграрного підприємства / П. М. Матвеев // Вісник Сумського національного аграрного університету. Сер. Економіка і менеджмент. – 2019. – Вып. 3 (81). – С.91–96.

5 Юрків, Р. Р. Чинники формування та використання фінансового потенціалу інвестиційної діяльності підприємств / Р. Р. Юрків // Економіка та суспільство: Електронний журнал. – 2023. – Вып. 56. – Режим доступу : <https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/2955>. – Дата доступу : 29.08.2024.

УДК 658.51

ВНЕДРЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ БЕРЕЖЛИВОГО ПРОИЗВОДСТВА СИСТЕМЫ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

А. В. МИТРЕНКОВА

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

На сегодняшний день для железнодорожного транспорта остается очень важный вопрос повышения конкурентоспособности железнодорожных перевозок за счет роста внутренней эффективности предприятия, решение которого связано с технологиями бережливого производства.

Для оценки эффективности внедрения бережливого производства на линейном предприятии применяется следующий алгоритм:

- 1 Формирование таблицы показателей на момент до внедрения.
- 2 Формирование таблицы на текущий момент.
- 3 Качественная оценка процесса внедрения бережливого производства на основе сравнения фактических производственных показателей.
- 4 Расчет показателей экономической эффективности внедрения технологии бережливого производства.
- 5 Качественная оценка показателя экономической эффективности.
- 6 Расчет фактического экономического эффекта от внедрения «бережливого производства».
- 7 Сравнительный анализ показателей экономического эффекта внедрения бережливого производства с расчетами до внедрения.
- 8 Доведение и согласование экономического эффекта с экономическим отделом отделения.
- 9 Корректировка бюджета затрат отделения.

Последняя сводная таблица состоит из трех разделов:

- производственные показатели, которые рассматриваются для определения планирования на производственный процесс МТО;
- финансово-экономические показатели, на их основе осуществляется расчет экономического эффекта и определяется влияние планируемых преобразований на экономические параметры отделения;
- показатели использования ресурсных мощностей структурного подразделения.

Система показателей «бережливого производства» подразделяется на три группы:

- 1) показатели производственных подразделений (Управление МТО);
- 2) показатели структурных подразделений ОМТС;
- 3) показатели системы МТО.

Для постоянного анализа и контроля процесса снижения затрат на процессы материально-технического обеспечения необходимо использовать следующие группы показателей:

- 1 Клиенты структурного подразделения:
 - выполнение плана поставок МТР по номенклатуре (тыс. руб.);
 - выполнение сроков поставок МТР (количество в месяц);
 - снижение количества претензий от клиентов (среднее количество в год).
- 2 Внутренние бизнес-процессы:
 - производственный травматизм (количество случаев в год);
 - снижение уровня несоответствующей продукции на складах (% от общего количества МТР на складе).
- 3 Персонал:
 - текучесть кадров;
 - выполнение плана обучения.

4 Финансы:

- увеличение производительности труда;
- снижение производственных запасов на складах.

Для проведения оценки эффективности внедрения технологии «бережливого производства» в структурных подразделениях установлены следующие показатели, указанные в таблице 1.

Таблица 1 – Производственные показатели для структурных подразделений

Показатель	Описание показателя	Источник формирования показателя
Количество претензий от потребителя	Количество претензий, полученных от потребителей в отчетном периоде	Запись в журнале, заявление потребителей, письма с претензиями, устные обращения
Своевременная сдача продукции или услуги	Показатель измеряет степень, с которой готовая продукция (ГП) отгружается точно в срок. Он рассчитывается как процент фактически отгруженной по графику ГП от запланированных к отгрузке заказов потребителя	SWOT-Бел. ж. д
Объем производства	Количество отгруженной и принятой заказчиком ГП в натуральном выражении	ЕАС, SWOT-Бел. ж. д
Объем производства на одного работника	Измеряет производительность потока создания ценности. Рассчитывается как отношение объема производства к среднему количеству штатных работников	ЕАС, SWOT-Бел. ж. д, штатное расписание

Разработка системы показателей требует определения границ бизнес-процессов МТО и ответственности каждого участника процесса снабжения. Процесс МТО начинается с момента поступления заявки на МТР и заканчивается доставкой этих ресурсов в структурные подразделения железной дороги.

На Белорусской железной дороге можно применить систему «минимум-максимум». Цель создания системы «минимум-максимум» – обеспечить бесперебойное снабжение производства МТР путем совершенствования графиков поставок и максимального снижения промежуточных запасов МТР за счет внедрения «тянущей» системы.

Главным условием данной системы является то, что по каждому виду МТР запасы на складе структурного подразделения железной дороги должны находиться в минимальном размере и быть равны одной партии доставки.

По системе «минимум-максимум» на складе должен находиться минимальный страховой запас по каждой позиции, который определяется исходя из производственных потребностей, времени доставки.

На рисунке 1 показан график складского состояния и контроля уровня запасов. Также выделена нормативная зона «минимум-максимум».

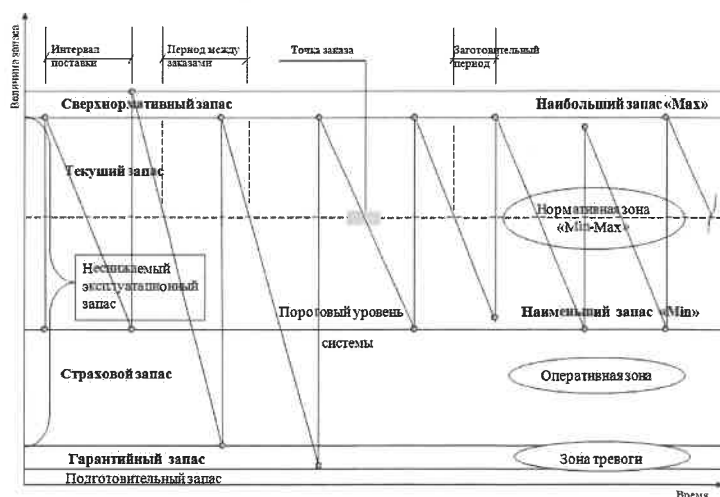


Рисунок 1 – График складского состояния контроля уровня запасов системы «минимум-максимум»

Расчет норм запасов необходимо производить с использованием ABC-метода. Минимальный запас МТР должен обеспечивать непрерывную работу производства на время поставки данной позиции на склад.

Максимальный уровень запасов на складе определяется на основании наибольшей потребности МТР.

Отслеживание наступления минимума и максимума МТР на складе должно производиться его поставщиком ОМТС.

При приближении минимума МТР инженер ОМТС должен выписать заказ на перемещение и организовать отгрузку заданной позиции в размере от одной транзитной партии. Заказ рассчитывается по всем позициям.

Данная технология обеспечивает поставку в подразделение железной дороги ресурсов точно в необходимом количестве, поддерживая запас от минимального страхового запаса до максимального и тем самым снижает риски некачественного ремонта и избыточных затрат на хранение ТМЦ.

Система позволит регулировать уровень запасов на предприятии в определенных пределах и план поставок МТР будет осуществляться в соответствии с бюджетом поставок и запасов.

Список литературы

- 1 Журавель, А. И. Исследование проблемы управления транспортными затратами / А. И. Журавель // Железнодорожный транспорт. – 1998. – № 10. – С. 11.
- 2 Имитационные системы принятия экономических решений / К. А. Багриновский [и др.]. – М. : Наука, 1989. – 162 с.
- 3 Капорцев Б. В. Влияние стратегии развития транспортной инфраструктуры на распределение грузопотоков / Б. В. Капорцев // Экономика железных дорог. – 2013. – № 2. – С.71–77.

УДК 656.037.37

ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПРОЦЕССА ДОСТАВКИ ПОРОЖНИХ ВАГОНОВ РАЗЛИЧНОЙ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ

Л. В. ОСИПЕНКО, М. М. КОЛОС

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Ю. В. ДУБИНА

Министерство транспорта и коммуникаций Республики Беларусь, г. Минск

В основу расчета парка вагонов любой принадлежности, обоснования их доходности и решения других задач используется оборот вагона, который в общем случае включает продолжительность цикла операций от момента окончания погрузки вагона до момента окончания следующей его погрузки [3]:

- время нахождения вагона на станции после его погрузки;
- время пробега вагона в груженом состоянии в поездах от станции погрузки до станции выгрузки;
- время на переработку вагона на попутных сортировочных и участковых станциях;
- время нахождения вагона на станции выгрузки;
- время пробега вагона в порожнем состоянии до станции новой погрузки (если погрузка вагона производится не на той станции, где он выгружен);
- время на погрузку.

В порожнем состоянии вагон грузоотправителя (компания-оператора, собственный вагон промышленного предприятия, арендованного у железной дороги или иного юридического лица) доставляется от грузополучателя до места назначения в соответствии с указанием собственника или экспедитора согласно установленному договором порядку.

Удельная доходность вагона грузоотправителя выражается в рублях за вагоно-час или вагоно-сутки, а доход рассчитывается в итоге за время оборота вагона или другой период времени [1]. При следовании вагона грузоотправителя в порожнем состоянии владельцу вагона также должны возмещаться издержки, связанные с его эксплуатацией, включая амортизацию, расходы по ремонту, дополнительно возникающие издержки в случае отцепки порожнего или груженого вагона в пути

следования, взыскиваемые затраты за занятие путей общего и необщего пользования, за сверхнормативный простой на них, который указывается в договоре между грузоотправителем и владельцем вагона или в правилах перевозки грузов и других документах. При этом владельцу вагонов должна обеспечиваться необходимая прибыль и компенсироваться оплата кредитов, возникающие риски и другие издержки, а также возможность дальнейшего развития собственника вагонов [2]. В Российской Федерации рыночная стоимость предоставления частного подвижного состава в рублях за вагон в сутки определяется на бирже. В результате будем считать её известной величиной, которая теоретически должна указываться в договоре между грузоотправителем груза и владельцем перевозочного средства за пользование вагоном собственника. В условиях привлечения экспедитора в договоре также указывается порядок оказания услуг и соответствующее вознаграждение экспедитору.

Доходность вагона грузоотправителя зависит от продолжительности пользования вагоном, которая совпадает с повагонной отправкой. В договоре за пользование вагоном собственника могут быть различные варианты:

1) грузоотправитель осуществляет плату за пользование частным вагоном за гружёный рейс в соответствии со сроком доставки, а также за продолжительность следования вагона в порожнем состоянии под собственную погрузку или в соответствии с указаниями экспедитора, который обеспечивает отправителей порожним подвижным составом;

2) аналогично грузоотправитель осуществляет плату за пользование частным вагоном за гружёный рейс и за следование вагона в порожнем состоянии от грузополучателя до следующего отправителя груза. Здесь также участвует экспедитор, оказывая дополнительные услуги.

В рассматриваемых вариантах возникают противоположные интересы между владельцем вагонов и грузоотправителями в части порожнего пробега вагонов, так как отправители грузов заинтересованы в минимизации порожнего пробега и ускорении доставки порожнего подвижного состава с целью уменьшения провозных платежей и платы за пользование вагонами, следующими без груза. В случае исчисления экспедиторского вознаграждения в процентах от тарифа экспедитор заинтересован в большем расстоянии пробега порожних вагонов. Соответственно владелец вагонов заинтересован в большей рыночной ставке за пользование вагонами и большей продолжительности доставки груза и порожнего вагона, так как независимо от нахождения вагона в движении или в простое плата за пользование вагоном будет поступать владельцу частного подвижного состава.

В основу расчёта платы за пользование вагонами частного владельца закладывается нормативный срок доставки грузов железнодорожным транспортом, который в настоящее время во внутриреспубликанском сообщении рассчитывается по формуле

$$T_d = 3 + L_T / v_d + \sum t_{\text{доп}}, \quad (1)$$

где L_T – тарифное расстояние перевозки, км; v_d – скорость доставки, фактически представляющая собой норму суточного пробега, км/сутки; $\sum t_{\text{доп}}$ – дополнительное время на выполнение операций, связанных с отправлением и прибытием и др.

Ранее в СМГС использовалась формула

$$T_d = 1 + L_T / v_d + \sum t_{\text{доп}}. \quad (2)$$

Аналитическая зависимость (1) увеличивает нормативный срок доставки на двое суток по сравнению с выражением (2). При таком подходе на путях необщего пользования вагоны частного собственника могут находиться на двое суток больше, что вызывает затруднения, связанные с недостаточным путевым развитием. Однако в договоре обычно указывается нормативный срок от 48 до 72 часов. В итоге собственник вагона выигрывает в плате за отстой своих вагонов, зарабатывает на плате за пользование вагонами, которые могут простаивать и по этой причине непроизводительно использоваться.

При использовании вагонов железной дороги (инвентарного парка) затраты, связанные с порожним пробегом, включены в тариф, а диспетчерский аппарат железнодорожного транспорта общего пользования обеспечивает регулирование порожних вагонов из-под выгрузки под погрузку.

Следовательно, непроизводительное использование парка вагонов частного владельца и возникающие соответствующие дополнительные издержки, связанные с платой за пользование вагонами

(контейнерами) и дополнительными простоями данных вагонов на путях необщего пользования, переключаются на грузоотправителя или грузополучателя. В результате увеличиваются транспортно-логистические издержки и соответственно цена доставляемой продукции в пунктах назначения (потребления). Кроме того, при этом увеличивается неравномерность порожних вагонопотоков по причине наличия большого количества частных владельцев вагонов и экспедиторских организаций (компаний), а также из-за отсутствия центрального координирующего органа (системного блока управления или регулятора парка порожних вагонов).

Список литературы

- 1 Экономика железнодорожного транспорта: проблемы и решения : сб. науч. тр. / под ред. Л. А. Мазо и Г. В. Писаревского. – М. : Интекст, 2005. – 351 с.
- 2 Резер, С. М. Мультимодальные перевозки мелких отправок в сборных контейнерах / С. М. Резер, А. М. Акулов. – М. : ВИНТИ РАН, 2015. – 222 с.
- 3 Лемешко, В. Г. Инновационные технологии на железнодорожном транспорте (теория, практика, перспективы) / В. Г. Лемешко, И. Н. Шапкин. – М. : ВИНТИ РАН, 2012. – 446 с.

УДК 656.064:388.1

СОЗДАНИЕ И ОЦЕНКА ОПТИМАЛЬНОЙ МОДЕЛИ РАБОТЫ КОНТЕЙНЕРНОГО ТЕРМИНАЛА

В. Г. ПИЩИК

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Создание оптимальной модели работы контейнерного терминала является ключевой задачей в контексте современной логистики и международной торговли. С увеличением мировой торговли и объемов перевозок грузов возрастает потребность в оптимизации работы контейнерных терминалов для обеспечения эффективного продвижения грузов. Это требует постоянного совершенствования процессов и использования передовых технологий для обеспечения бесперебойной и эффективной работы терминалов, что способствует качеству обслуживания грузовладельцев.

Под оптимальной работой контейнерного терминала подразумевается эффективное и безопасное функционирование всех процессов, проходящих на контейнерном терминале (прием, обработка, хранение, отправка).

Добиться оптимального режима работы можно при соблюдении следующих параметров:

- высокая производительность: сокращение простоев, минимизация времени выполнения операций, согласованная работа транспортно-перегрузочных механизмов;
- безопасность, понимаемая как отсутствие инцидентов и аварий, в том числе кибербезопасность и экономическая безопасность как устойчивость экономической модели работы системы (конкурентоспособность услуги терминальной обработки);
- надежность, понимаемая как обеспечение бесперебойной работы;
- автоматизация процессов на базе интеллектуальной системы управления путем использования современных технологий и механизмов для минимальной потребности в рабочей силе и повышения производительности;
- рациональное использование терминальной площади, оптимальная расстановка контейнеров на контейнерной площадке (зонное секционирование);
- своевременное обслуживание и запланированное обновление технологий и оборудования.

В современных исследованиях используются различные подходы к созданию оптимальной модели контейнерного терминала. В исследованиях А. Р. Майки, А. М. Турсынбековой система «Умный терминал» рассматривается как модель оптимальной работы контейнерного терминала. Авторы отмечают, что внедрение интеллектуального контейнерного терминала в качестве системы управления терминальной деятельностью нового поколения позволит уменьшить значение человеческого фактора в выполнении технологических процессов и обеспечении правильности информационного сопровождения. Это также способствует повышению скорости и качества принятия управленческих решений, эффективному использованию вагонов и контейнеров, терминального

оборудования и человеческих ресурсов, что в итоге приведет к оптимизации расходов на терминальную деятельность [1].

В своей работе Журба М. В. исследует оптимальное распределение ресурсов между грузовыми фронтами контейнерного терминала с использованием методов оптимизации. Эксперименты были проведены с применением имитационной модели морского контейнерного терминала, разработанной с использованием среды Anylogic. Каждый эксперимент направлен на минимизацию времени грузовых операций на определенном фронте. В результате экспериментов был определен оптимальный набор ресурсов, включая погрузочную технику и человеческие ресурсы, который обеспечивает минимальную продолжительность грузовых операций и максимальную производительность выбранного фронта [2].

В настоящем исследовании создание оптимальной модели работы контейнерного терминала базируется на выполнении следующих условий:

- правильная постановка контейнеров на терминале, которая предусматривает исключение блокирующих контейнеров и сокращение транспортно-перегрузочных операций;
- секционирование терминала на зоны в зависимости от степени надежности прогнозирования технологической цепочки работы терминала;
- разработка вариантов переработки для выполнения минимального по стоимости потребного количества контейнеро-операций.

Для создания модели оптимальной работы контейнерного терминала необходимо перспективно решить задачу оборудования терминала, которая требует больших финансовых вложений. Создание такой модели является приоритетной задачей с точки зрения экономической безопасности предприятия. Экономическая безопасность заключается в создании конкурентоспособной модели переработки, которая обладает адаптивностью относительно меняющихся логистических цепей с разной долей железнодорожного и других видов транспорта. Для существующих терминалов необходимо решить вопрос перспективного развития технического оснащения в условиях потенциального изменения нагрузки. Для планируемых терминалов необходимо решить вопрос комплексного улучшения инфраструктуры полигона на фазе проектирования и строительства, определить перспективный объем переработки и способ размещения контейнеров на терминале.

Ключевым моментом создания такой модели является выбор критериев оптимизации и определение их приоритета по отношению друг к другу. Если учесть аспект конкурентоспособности этой модели и реализации концепции экономической безопасности, необходимо выбрать критерии, которые должны быть соизмеримы и достижимы.

К критериям можно отнести:

- стоимость переработки;
- продолжительность переработки;
- максимально возможный реализуемый объем переработки.

Наиболее правильным решением можно считать создание комплексного критерия, который будет учитывать все эти показатели.

Стоимость переработки является неоднозначным критерием, так как она может быть выражена в отношении разных натуральных измерителей: одной тонны груза с дифференциацией по грузам, одной единицы контейнера, одного двадцатифутового эквивалента и др. Кроме того, стоимость переработки может включать в себя как прямые затраты (расходы на обработку), так и косвенные издержки (потери из-за простоев или неполадок в процессе обработки). Важно учитывать все эти аспекты при анализе стоимости переработки на контейнерном терминале.

Продолжительность переработки может быть выражена двумя показателями: полным временем нахождения контейнера на терминале или в процентном соотношении от общего времени следования контейнера. Показатель времени нахождения контейнера на терминале будет характеризовать качество технологии работы, технического оснащения. По критерию продолжительности переработки операции необходимо детализировать следующим образом: на операции, зависящие от технологии и технического оснащения, операции, связанные с документальным оформлением и другими видами оформления, не зависящие или опосредованно зависящие от технологии (таможенные операции, простой в ожидании выдачи контейнера клиенту), операции по очистке, ремонту контейнеров.

Критерий максимально возможного реализуемого объема переработки влияет на адаптивность к различным нагрузкам и возможность варьировать разные технологические режимы работы. Этот критерий является ключевым для обеспечения гибкости и эффективности работы контейнерного

терминала. Максимально возможный реализуемый объем переработки контейнеров определяет способность терминала быстро реагировать на изменения в объемах грузовых потоков, позволяя эффективно использовать ресурсы и минимизировать простои оборудования. Повышение значения этого критерия обычно достигается через оптимизацию процессов обработки контейнеров, внедрение современных технологий и автоматизацию операций.

Реализация оптимальной модели контейнерного терминала с учетом указанных параметров позволит обеспечить высокую эффективность логистических процессов.

Список литературы

1 Майкы, А. Р. Система «Умный терминал» для улучшения работы контейнерного терминала / А. Р. Майкы, А. М. Турсынбекова // Лучшие теоретические и прикладные исследования : сб. ст. II Междунар. науч.-исслед. конкурса. – Пенза : Наука и Просвещение, 2023. – С. 7–9.

2 Журба, М. В. Построение оптимизационного эксперимента для решения задачи оптимального распределения ресурсов по грузовым фронтам на контейнерном терминале / М. В. Журба // Человек. Социум. Общество. – 2023. – № 11. – С. 194–204.

УДК 004.89

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ КАК ИНСТРУМЕНТ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ В СФЕРЕ ТРАНСПОРТА И ЛОГИСТИКИ

П. Г. ПОНОМАРЕНКО

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

В последние годы большинство субъектов хозяйствования Республики Беларусь, в том числе осуществляющих деятельность в сфере перевозок и логистики, работают в сложных условиях в связи с принятыми рядом недружественных стран санкциями. Ограничительные меры по экспорту и импорту многих видов продукции и ресурсов, по допуску к перевозкам транспортных средств Республики Беларусь на территории ряда стран оказывают негативное влияние на объемы международных грузовых перевозок с участием национальных перевозчиков, а также обусловили изменение схем транспортировки грузов, логистики и порядка ведения расчетов с иностранными контрагентами. Сложившиеся за многие годы логистические схемы доставки грузов подверглись существенной трансформации в связи с переориентацией грузовых потоков с западного вектора на восточный и южный векторы. Все это потребовало значительных усилий и финансовых средств со стороны белорусских субъектов хозяйствования по реформатированию логистики и схем перевозок грузов. В силу наличия данного обстоятельства возникла объективная необходимость быстрого перехода от традиционных методов управления грузовыми перевозками и выстраивания логистики к современным технологиям, основанным на компьютерной обработке значительных объемов коммерческой информации и использования возможностей искусственного интеллекта (ИИ).

Нынешний этап развития Республики Беларусь характеризуется внедрением в производство и в управление достижений современных информационных технологий, развитием цифровой экономики и использованием возможностей искусственного интеллекта. Искусственный интеллект охватывает практически все сферы человеческой деятельности и является важнейшим элементом IV промышленной революции. Прогнозируется увеличение мирового ВВП на 15,7 трлн дол. к 2030 году именно благодаря развитию искусственного интеллекта. К этому времени Китай станет ведущей мировой державой в сфере ИИ с увеличением ВВП на 26 %, на 11–12 % этот показатель вырастет в крупнейших экономиках Европы. По мнению экспертов Оксфордского университета, к 2026 году искусственный интеллект напишет эссе, которое сойдет за написанное человеком, заменит водителей грузовиков к 2027 году и станет выполнять работу хирурга к 2053 году. ИИ превзойдет людей во всех задачах в течение 45 лет и автоматизирует все рабочие места в течение 120 лет [1].

Необходимость ускорения использования возможностей ИИ в сфере транспорта и логистики, а также цифровизации экономики во многом обусловлена активизацией процесса союзной интеграции экономик Российской Федерации и Республики Беларусь. Сформулированные в указах президентов союзных государств национальные программы развития цифровой экономики предусматривают использование искусственного интеллекта как инструмента для технологического прорыва, устойчиво-

го экономического развития и обеспечения экономической безопасности хозяйствующих субъектов и государства в целом.

Использование ИИ дает существенные экономические выгоды и технологические преимущества для предприятий реального сектора экономики, а также поднимает на новый уровень систему управления бизнес-процессами. Применительно к транспортной отрасли ИИ обеспечивает изменение как механизма управления транспортными средствами, так и технологии реализации перевозок и логистики. В данной публикации раскрываются основные направления совершенствования управления транспортными перевозками и логистикой на основе использования преимуществ ИИ. Рассматривается возможность интеграции информационных систем управления перевозками, логистики, таможенных процедур и налогообложения в рамках ЕАЭС,

Внедрение ИИ в транспортной отрасли дает возможность, во-первых, автоматизировать управление процессами перевозки грузов несколькими видами транспорта как в масштабах отдельного государства, так и в ЕАЭС; во-вторых, унифицировать систему электронного обмена данными между субъектами, задействованными в организации перевозок и логистики; в-третьих, появится возможность использования ИИ для выполнения процедур таможенного и налогового декларирования, а также контроля операций по межгосударственному обороту грузов. Интеграция информационных систем и использование ИИ приведут к существенному сокращению затрат и экономии ресурсов на администрирование процедур перевозок, логистики, таможенного оформления и налогового декларирования. Именно ИИ дает возможность интеграции системы управления транспортом и процедур в логистике на уровне отдельной страны и объединения государств (ЕАЭС), но для этого потребуется межгосударственное согласование стандартов обеспечения безопасности транспортно-логистического комплекса всех заинтересованных сторон.

Внедрение ИИ в транспортную отрасль и сферу логистики, а также формирование интегрированной системы информационного обеспечения во взаимосвязке с процедурами таможенного и налогового декларирования создает целый ряд преимуществ для клиентов, а также для транспортных и логистических компаний. Таковыми являются: сокращение времени обслуживания клиентов, унификация электронного документирования операций, автоматизация процессов экспедирования и контроля за продвижением грузов, оптимизация логистических схем, персонализация услуг. Использование ИИ в управлении перевозками грузов и построении логистики, возможностей электронного таможенного и налогового декларирования представляет интерес для клиентов, которые в режиме реального времени могут контролировать продвижение грузов, осуществлять электронный документооборот между заинтересованными сторонами. В свою очередь интегрированная информационная система транспортных и логистических компаний позволяет осуществлять автоматическую обработку заказов на перевозки, анализ данных относительно маршрутов, затрат, сроков доставки, формирование перевозочных и финансовых документов для клиентов.

Прогнозирование спроса на грузовые перевозки на основе анализа данных системы ИИ уже получило применение в транспортной отрасли. Сейчас стоит задача, во-первых, включения в систему прогнозирования перевозок возможности одновременного участия в этом процессе нескольких видов транспорта; во-вторых, расширения географии прогнозирования перевозок до уровня межгосударственных объединений; в-третьих, создания многовариантности логистических схем с учетом экстраординарных событий, возникающих в мировой политике и экономике; в-четвертых, учета пожеланий клиентов по времени исполнения заказа. К тому же имеющаяся в распоряжении ИИ база аналитических данных позволяет точнее планировать цепочку поставок, а также отслеживать и пополнять запасы в режиме реального времени. Применение ИИ в системе прогнозирования и регулирования грузоперевозок снизит вероятность возникновения ошибок, обусловленных человеческим фактором.

ИИ обеспечивает не только оптимизацию перевозок и логистики, он предполагает дальнейшие инновационные решения в управлении транспортным комплексом и организации эксплуатации транспортных средств. С технической стороны ИИ в перспективе может взять на себя функции регулирования и контроля движения городского пассажирского транспорта общего пользования, грузового автотранспорта, метро, обеспечения беспилотной эксплуатации транспортных средств. Данные инновационные решения несомненно будут способствовать сокращению времени, комфортности перевозок, затрат на управление транспортными предприятиями и снижению риска возникновения субъективных ошибок. Его внедрение в транспортной отрасли потребует подготовки специалистов, которые смогли бы обеспечить системную разработку, а также внедрение программ и технических

средств контроля процесса реализации задач, заложенных в ИИ. Главным критерием полезности ИИ остается его безопасность, которая подразумевает устойчивость компьютерной системы управления ИИ к возможным кибератакам, защиту конфиденциальных и личных данных, оперативное устранение сбоев или ошибок, которые могут привести к серьезным последствиям. ИИ должен стать надежным инструментом реализации технологических и управленческих задач транспортных и логистических компаний, а окончательные решения и выводы по его использованию должны принимать опытные специалисты.

Список литературы

1 От сельского хозяйства до дел в быту – в каких сферах в Беларуси успешно применяется искусственный интеллект // Республика, 2024, 3 февраля. Режим доступа : <https://www.sb.by/articles/tekhnologii-v-pomoshch.html> [1]

УДК 658.7:69

УПРАВЛЕНИЕ ЦЕПЯМИ ПОСТАВОК ПРЕДПРИЯТИЙ СТРОИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Т. Г. ПОТЁМКИНА

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

В цепи поставок предприятий строительного комплекса Республики Беларусь домостроительные комбинаты являются крупнейшими генеральными подрядчиками по строительству жилья. Важной задачей их логистики является создание интегрированной системы регулирования и контроля материальных и информационных потоков. Функции логистики при построении структуры цепи поставок домостроительных комбинатов:

- управление закупками;
- управление транспортировкой;
- управление запасами;
- управление складской логистикой;
- управление складом.

Каналы цепи поставок домостроительных комбинатов – смешанные, т. е. с определенной группой потребителей устанавливаются прямые связи (когда хозяйственные связи между фирмами-контрагентами непосредственны), а с остальными – косвенные (когда между ними находится один или несколько посредников).

Закупку материальных ресурсов необходимо осуществлять в соответствии с положениями о проведении закупок, действующими в организациях, с целью эффективного использования финансовых средств, снижения стоимости строительства 1 м² жилья и повышения конкурентоспособности организации как на рынке Республики Беларусь, так и за рубежом.

Обеспечение производства всей номенклатурой материалов на строительство и производство изделий зависит от своевременности проведения закупок, наличия финансовых средств для обеспечения обязательств по договорам поставки. Текущий запас для обеспечения монтажа и строительства создается по каждому строящемуся объекту и виду материалов, в соответствии с комплектными ведомостями. В основном поставка планируется с колес с минимизацией издержек на перегрузку и складирование материалов.

Интервалы поставок зависят от особенностей получения материалов, объемов отпуска продукции, грузоподъемности транспортных средств, возможностей использования складской формы и т. д. Расчетные нормы запасов могут выражаться в абсолютных (тонны, штуки, метры, рубли и др.) и относительных (дни, проценты) единицах измерения.

Закупки – это важная функция:

- от цены и качества материальных ресурсов, своевременности их поставок зависит эффективность производственного процесса (отсутствие брака, сбоев, простоев, низкая себестоимость), качество готовой продукции и, в конечном итоге, качество обслуживания потребителей;
- на снабжение приходится значительная доля общих расходов домостроительных комбинатов (в среднем, около 60 %), поэтому даже небольшие улучшения в этой области могут принести существенные выгоды.

Исходные данные для оценки эффективности закупочной деятельности:

- количество дней просрочки поставки;
- фактический срок поставки в днях;
- количество рекламаций;
- количество заключенных контрактов;
- количество расторгнутых контрактов по инициативе заказчика.

Показатели эффективности управления входящим материальным потоком в домостроительный комбинат следующие:

- коэффициент исполнения условий контракта по поставке;
- коэффициент исполнения условий контракта по качеству товара;
- коэффициент расторгнутых контрактов в общем числе заключенных контрактов.

Основными способами реализации продукции домостроительных комбинатов является реализация продукции посредством розничной продажи, а также продажи по безналичному расчету юридическим лицам и индивидуальны предпринимателям. Качество реализации продукции можно определить как комплекс характеристик, в совокупности обеспечивающих удовлетворение интересов потребителей и посредников.

Показатели оценки эффективности управления выходящим материальным потоком в цепи поставок домостроительных комбинатов следующие:

- коэффициент реализации продукции;
- коэффициент оседания готовой продукции в запасах;
- коэффициент удовлетворения спроса по ассортименту.

Анализ и оценка формирования и управления цепями поставок домостроительных комбинатов позволяют выявить следующие проблемы: недостаточно быстрое реагирование на изменения в макро- и микроэкономической среде рынков сбыта предприятий. Среди причин можно выделить проблемы организационного характера. Централизованный и сложный управленческий аппарат, недостаточная координация отделов предприятий не позволяют быстро реагировать на запросы и предложения внешней среды.

Направлениями развития с целью повышения эффективности формирования цепей поставок домостроительных комбинатов в современных условиях хозяйствования могут стать:

- диверсификация производства;
- модернизация производства;
- расширение каналов снабжения и сбыта.

Список литературы

1 Официальный сайт ОАО «Гомельский домостроительный комбинат» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://gdsk.by/?page_id=1997. – Дата доступа : 01.09.2024.

УДК 656.6.2:658.5

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ СТАНЦИИ

Т. Г. ПОТЁМКИНА, А. А. СТРУМИЛЛО

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Железнодорожный транспорт является одним из главных видов транспорта, который осуществляет перевозку грузов и пассажиров на дальние расстояния. При этом за последнее время этот вид транспорта практически не изменялся в своих технологиях и инновационных решениях. В настоящее время, с развитием шестого технологического уклада и целей экономической эффективности, железнодорожный транспорт переживает период изменений и модернизацию по следующим направлениям:

1 *Автоматизация процессов и внедрение искусственного интеллекта.* Уже в ближайшей перспективе в поездах будут применены беспилотные технологии, что позволит повысить безопасность и эффективность перевозочного процесса. Искусственный интеллект позволит прогнозировать возможные поломки и обеспечит эффективный ремонт оборудования.

2 *Магнитные подушки и гиперпетли* – эти технологии позволят поездам существенно увеличить скорости за счет снижения трения, что приведет к увеличению скоростей свыше 500 км/ч.

3 *Умные системы управления и мониторинга* приведут к более эффективному контролю и управлению железнодорожной отраслью. С помощью датчиков и сенсоров можно отслеживать состояние инфраструктуры, обнаруживать неисправности и предотвращать аварии. Анализ больших баз данных позволит оптимизировать маршруты и расписание движения поездов, снизить экономические затраты, повысить качество перевозочного процесса.

4 *Экологически чистые источники энергии*. В будущем железнодорожный транспорт может полностью перейти на экологически чистые источники энергии.

5 *Умные билеты и платформы*.

6 *Роботизация и автономные поезда*. Роботизация и автономные поезда являются одной из самых перспективных технологий будущего в железнодорожной отрасли [1].

Эффективная работа сортировочных станций является одной из значимых составляющих, определяющих общий успех функционирования Белорусской железной дороги. Повышение пропускной способности можно осуществить за счет совершенствования технологий сортировки и управления процессом работы станции [2].

Проблема оптимизации работы сортировочных станций является очень сложной комплексной задачей. На современном этапе развития техники основными направлениями совершенствования производственно-хозяйственной деятельности железнодорожной станции являются применение новейших технологий и внедрение автоматизированных систем управления станционными процессами: интеллектуальное видеонаблюдение и модернизация закрепления подвижного состава.

Целью внедрения *интеллектуального видеонаблюдения* является рост качества сортировочных работ и уменьшение времени нахождения на станции вагонов (непроизводительные простои вагонов).

Современное развитие систем видеонаблюдения позволяет своевременно получать оперативным работникам станции полную и достоверную информацию о происходящих или уже произошедших событиях, которая позволяет автоматизировать и оптимизировать технологические и управленческие процессы на железной дороге.

Анализ использования систем интеллектуального видеонаблюдения для контроля состояния технологических процессов в различных отраслях промышленности показывает их высокую эффективность благодаря ускорению выполнения работ и оптимизации количества задействованного персонала.

На железнодорожной станции такая система используется для автоматической регистрации и распознавания номеров железнодорожных вагонов и цистерн на узловых станциях, подъездах к пунктам разгрузки/загрузки в целях получения оперативной информации в автоматическом режиме о передвижении подвижного состава, поиска вагонов по их номерам, подсчета количества вагонов в составе, контроля их технического состояния.

Установка интеллектуальных систем видеонаблюдения позволит значительно повысить эффективность работы сортировочных станций и безопасность движения, оптимизирует технологические процессы управления сортировочной станцией, что в целом позволит существенно увеличить грузопоток и повысить эффективность работы железных дорог.

Модернизация закрепления подвижного состава на сортировочной станции. Одна из важнейших операций на сортировочной станции – закрепление подвижного состава. Еще с середины XIX века на станциях стали использовать тормозные башмаки. Их конструкция много раз менялась, но сам принцип работы более 150 лет оставался неизменным. Тормозные башмаки эффективны, составы с места не сдвигаются, но есть нюансы:

1 Каждый башмак нужно устанавливать вручную.

2 Длительность технологической операции. Временные затраты на закрепление подвижного состава тормозными башмаками зависят от многих факторов, среди которых можно выделить человеческий фактор, тип подвижного состава, ветровые нагрузки. В связи с этим временные затраты могут составлять от пары минут до 15–20 минут на один состав.

Для повышения безопасности технологических процессов целесообразно применение современных технических средств закрепления и удержания подвижного состава на путях станций, позволяющих: вывести работников, непосредственно связанных с движением поездов, из травмоопасной зоны; автоматизировать процессы закрепления составов и вагонов.

Все эти направления совершенствования производственно-хозяйственной деятельности на современном этапе развития экономики соответствуют общей концепции «Индустрия 4.0».

Список литературы

1 Перспективы развития железнодорожного транспорта: новые технологии и инновационные решения [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://ciprtm.ru/iskusstvennyu-intellekt/perspektivy-razvitiya-zheleznodorozhnogo-transporta-novye-tehnologii-i-innovacionnye-resheniya/>. – Дата доступа : 01.09.2024.

2 Шабельников, А. Н. От механизации к цифровизации сортировочной станции / А. Н. Шабельников, И. А. Ольгейзер, С. А. Рогов // Автоматика, связь и информатика. – 2018. – № 1. – С. 21–23.

УДК 656.0 (476.2)

ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ СИСТЕМЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА КАК УСЛОВИЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОТРАСЛИ

Е. О. ФРОЛЕНКОВА

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Быстро меняющиеся экономические условия и спрос на транспортные услуги вызывают необходимость внедрения современных организационно-управленческих технологий, основой которых являются информационные технологии. Информационные технологии и раньше применялись для решения организационно-экономических задач управления предприятием. Но, как правило, они решали отдельные задачи управления, ориентированные на управление производственными (материальными) ресурсами предприятия, и отдельно от них существовали системы управления финансами и персоналом. Причем руководство предприятия было заинтересовано в управлении производственными ресурсами, а финансово-экономические расчеты зачастую велись на бумажных носителях и составляли, большей частью, различные формы отчетности. При смене приоритетов в организации управления предприятием, когда критериями успешной работы стали не технологические, а финансово-экономические показатели (прибыль, сокращение эксплуатационных расходов, повышение доходов, рентабельность и др.), особую роль приобретает финансовый блок управления предприятием, отраслью, который тесно интегрирован с управлением производством.

Ежегодно цифровые технологии проникают во всё большее число сфер общественной жизни. Их развитие является движущей силой трансформации общества и экономики, как основы его благосостояния. Особенно четко прослеживается эта тенденция в сфере транспорта. Экспансия цифровых технологий на транспорте, в логистике, в экономике государства в целом является движущей силой, которая позволяет добиваться экономического роста и благосостояния общества. Тенденцией последних лет стала цифровизация железнодорожного транспорта Республики Беларусь как базового ядра интеллектуальной трансформации транспортной отрасли экономики. Следует отметить, что в сравнении с информатизацией, цифровая трансформация не замыкается на внедрении информационных технологий, а полностью преобразовывает сферы и бизнес-процессы на базе интернета и новых информационных технологий. Учетная система, как элемент управления организацией, постоянное ее совершенствование и оптимизация позволяют достичь реального улучшения деятельности компаний по таким показателям, как качество, удовлетворенность клиентов, сокращение затрат, оперативность и др. [1].

Развитие научно-технического прогресса и технологии программирования привело к появлению программных продуктов, позволяющих управлять всеми данными предприятия как единым ресурсом, – ERP-системы (Enterprise Resource Planning) – стратегия организации по интеграции производства и операций, управления трудовыми ресурсами, финансового менеджмента и управления активами, которая ориентируется на непрерывную балансировку и оптимизацию ресурсов предприятия посредством специализированного интегрированного пакета прикладного программного обеспечения, обеспечивающего общую модель данных и процессов для всех сфер деятельности предприятия. ERP-система выступает как конкретный программный пакет, который реализует стратегию ERP, обеспечивает комплексное управление ключевыми аспектами финансовой, произ-

водственной и коммерческой деятельности предприятия, охватывая сферы производства, планирования, финансового и бухгалтерского учета, материально-технического снабжения, управления человеческими ресурсами, сбыта, управления запасами и предоставления услуг.

Основная ценность ERP-систем состоит в способности интеграции составляющих элементов производства в единую целостную систему путем создания прозрачного информационного пространства, в котором формируется вся необходимая руководству и сотрудникам предприятия управленческая информация.

Трансформации в системе железнодорожного транспорта еще более актуализируют проблему информатизации, так как железная дорога представляет собой огромный территориально распределенный комплекс. Чтобы соответствовать предъявляемым современным экономическим условиям, он должен обладать эффективно организованным управлением с актуальной, эффективно функционирующей корпоративной ERP-системой.

В настоящее время в системе железнодорожного транспорта для решения финансово-бухгалтерских задач используется программное решение Единая корпоративная система управления финансами и ресурсами (ЕК ИСУФР). Реализация ЕК ИСУФР позволила объединить технологические диспетчерско-регистрационные системы, системы анализа данных, системы поддержки принятия решений, системы хранения данных, системы управления финансами и ресурсами организаций железнодорожного транспорта. Автоматизация процессов финансово-хозяйственной деятельности железной дороги призвана решить задачи, связанные с выбором оптимального направления развития предприятий, рациональным использованием имеющихся ресурсов, эффективным вложением капитала и сокращением расходов.

Дальнейшая реализация и развитие возможностей ЕК ИСУФР позволит обеспечить систему управления информацией, необходимой для реинжиниринга бизнес-процессов, с целью оптимизации их структуры и управления затратами, доходами и результатами деятельности как определенного процесса, так и железной дороги в целом.

Важно отметить, что используемые в ЕК ИСУФР технологии позволяют отказаться от оформления первичных учетных документов в бумажном виде и проводить все первичные операции в автоматизированном режиме. Каждая совершенная хозяйственная операция уже автоматически отражается в регистрах системы, что возможно определить как «цифровое событие», учетная запись о котором сохраняется, а, значит, может и контролироваться при условии наличия цифровой подписи должностных лиц по результатам каждой произведенной хозяйственной операции.

Особенностью системы управления предприятием является то, что постоянная вариантность экономической и оперативной обстановки требует оперативной разработки данных и адаптации существующих приложений. Масштабность и сложность ЕК ИСУФР, большие объемы обрабатываемых данных, потребность обеспечения непрерывной работы приложений определили структуру вычислительной инфраструктуры, включающей продуктивную систему, систему проверки качества, систему разработки.

Современный уровень информатизации общества предопределяет использование новейших технических, технологических, программных средств в различных информационных системах экономических объектов. Перед руководством предприятия стоит задача оптимального выбора современных информационных технологий и информационных систем, а также создания автоматизированных рабочих мест (АРМ) специалистов для решения сложных экономических задач.

Таким образом, цифровизация затрагивает методологические основы учетной системы железной дороги, трансформируя модель, в которой электронные документы согласуются в информационной системе автоматически по всем этапам конкретного бизнес-процесса. В результате этого согласования вся первичная документация будет автоматически отражаться в ЕК ИСУФР, формируя электронный архив «цифровых событий» (операций); станет привязанной к соответствующей бухгалтерской отчетности, что позволит сотрудникам, обладающим правом доступа, видеть не только первичную документацию, но и все связанные с ней финансовые документы.

Безусловно, цифровизация учетной системы железной дороги, проведенная в рамках внедрения интегрированной корпоративной информационной системы, должна получить научную оценку с целью создания адаптивного информационного обеспечения управления, способного настраиваться на изменяющиеся потребности, используя инструментарий современных технологий и методов обработки данных для достижения стратегической цели – «формирование методологических основ функционирования цифровой железной дороги».

Список литературы

1 Шатров, С. Л. Цифровизация учетной системы организаций железнодорожного транспорта [Электронный ресурс] / С. Л. Шатров, Е. О. Фроленкова // Устойчивое развитие экономики: международные и национальные аспекты : электрон. сб. ст. IV Междунар. науч.-практ. online-конф. – Новополоцк : ПГУ, 2020. – С. 812–817. – 1 электрон. опт. диск [CD-ROM].

2 Фроленкова, Е. О. Процессный подход к управлению в системе обеспечения экономической безопасности транспортных организаций / Е. О. Фроленкова, Д. Г. Цыбуревкина // Проблемы безопасности на транспорте : материалы IX Междунар. науч.-практ. конф. (г. Гомель, 28–29 ноября 2019 г.). – Гомель : БелГУТ, 2019. – С. 340–342.

УДК 331.108+378.018

К ВОПРОСАМ КАДРОВОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ В РАМКАХ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

Л. В. ХРИСТОФОРОВА

Оренбургский институт путей сообщения – филиал Приволжского государственного университета путей сообщения», Российская Федерация

Г. А. ХРИСТОФОРОВ

Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва

Обеспечение экономической безопасности транспортной отрасли включает субъекты и объекты, которые находятся в непрерывной и постоянной тесной взаимосвязи. Где объекты – это предприятия транспортной отрасли с финансово устойчивым состоянием как в краткосрочном, так и в долгосрочном периоде. Субъектами будут выступать различные структурные подразделения, которые в процессе своей деятельности обеспечивают стабильное состояние экономической безопасности.

Для обеспечения вышесказанного необходимо готовить высококвалифицированные кадры с учетом требований времени. Процесс подготовки специалистов для транспортной отрасли является основой кадрового и инновационного развития транспортной системы Российской Федерации – одной из базовых отраслей экономики государства.

Под экономической безопасностью транспортных предприятий понимается защищенность его научно-технического, технологического, производственного и кадрового потенциала от активных или пассивных экономических угроз, связанных, например, с неэффективной научно-промышленной политикой государства либо формированием неблагоприятной внешней среды и способностью к его воспроизводству.

Цели экономической безопасности предприятий транспорта состоят:

- в устойчивом и максимально эффективном функционировании в настоящих условиях;
- в создании высокого потенциала роста и развития предприятия в будущем.

Обеспечение экономической безопасности предприятия является непрерывным процессом, ставящим задачу предотвращения возможного ущерба.

Кадровая безопасность – это не что иное, как обеспечение экономической безопасности предприятия за счет снижения рисков и угроз, связанных с недоброкачественной работой персонала, его интеллектуальным потенциалом и трудовыми отношениями в целом.

Кадровая безопасность будет достигаться при условии найма высококвалифицированного и надёжного персонала.

Очевидно, что кадровая безопасность занимает доминирующее положение по отношению к другим элементам системы безопасности организации, так как она имеет дело с персоналом, который в любой составляющей первичен [1, с. 643].

Особенностями транспортного образования являются экстерриториальность подготовки кадров, отсутствие у выпускников ориентированности на региональный рынок труда, прямая связь с работодателями, а также системообразующий характер вовлеченных в подготовку кадров для транспорта образовательных организаций за счет их ключевой роли в обеспечении бесперебойной работы и безопасности транспортной инфраструктуры государства.

Уникальной особенностью транспортного образования является неразрывная связь качества подготовки специалистов для транспортной отрасли России.

Ключевыми элементами сферы транспортного образования являются подготовка работников для предприятий транспорта, в том числе непосредственно связанных с организацией и управлением движения на транспорте и обеспечением транспортной безопасности, проектированием и обслуживанием транспортной инфраструктуры, а также проектированием, строительством, содержанием в надлежащем состоянии и развитием сети дорог, увеличением их пропускной способности, обеспечением безопасного движения по ним, повышением качества услуг, развитием объектов дорожного сервиса, размещаемых в соответствующих границах.

Современный транспортный вуз – образовательное пространство, в котором получают профессиональную подготовку будущие инженеры путей сообщения, но при этом они формируются и в личностном отношении, обретают себя не только в профессии, но в обществе, мире культуры. В данном контексте образовательная среда вуза становится пространством подготовки гражданина, патриота, интеллектуала, высококвалифицированного специалиста, обладающего, согласно ФГОС, набором соответствующих компетенций [2, 188].

Образовательные организации, понимая всю важность проекта, готовы к сотрудничеству в вопросах целевой подготовки или переобучения, в части подготовки кадров. В настоящее время образовательные организации предлагают широкий спектр образовательных программ в системе дополнительного профессионального образования. Каждый желающий может выбрать программу и получить новые профессиональные компетенции.

В 2024 году создан портал «Работа России». На этом портале есть специальный раздел «Целевое обучение», где представлены все предложения от работодателей, которые предлагают соискателям получить профессиональное образование за счет компании, а также дальнейшее трудоустройство. Эта площадка создана для двух категорий: работодатели и соискатели [3].

Требования к результатам освоения программ, как правило, выполняются в тесном контакте с работодателями, так как они напрямую связаны с профессиональной деятельностью выпускников. Профессиональные компетенции определяются вузами самостоятельно, но на основе профессиональных стандартов. Именно работодатели служат своего рода индикаторами, или обратной связью, которая дает информацию о качестве подготовки инженерных кадров. Сама «жизнь» в широком смысле слова диктует вузам, каких инженеров им следует готовить [4, с. 324].

Понимая важность постоянного обучения своих работников и сотрудников, предприятия и организации системно взаимодействуют с образовательными организациями, которые позволяют в реальном времени влиять на изменение ситуации в отрасли, учить работников требуемым навыкам, а при необходимости и переучивать их.

Безусловно, каждая организация сама выбирает наиболее подходящий для себя способ подготовки кадров. Главное – осознать необходимость воспитания собственных талантливых и преданных организации работников. А в противном случае, упуская ценные умы, велика вероятность проиграть непрерывную и беспощадную конкурентную борьбу.

Профессиональные кадровые ресурсы предприятия – это залог успеха! Именно кадры, работники предприятий позволяют организациям добиваться определенных технологических прорывов, которые вследствие внедрения технологий дают возможность увеличивать положительные финансовые результаты в разы [5, с. 15].

Таким образом, кадровая безопасность предприятий транспорта во многом обусловлена не столько внутренними корпоративными процессами, сколько созданными условиями в стране в части подготовки профессиональных кадров.

Список литературы

- 1 Есикова, Р. С. Кадровая безопасность в системе экономической безопасности / Р. С. Есикова // Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КУБГТУ». – 2018. – № 6. – С. 642–651
- 2 Нор, Е. В. Потенциал образовательной среды вуза в контексте формирования корпоративных компетенций будущих инженеров путей сообщения / Е. В. Нор, Л. В. Христофорова, О. Ю. Малахова // Молодежная наука в XXI веке: традиции, инновации, векторы развития : материалы Всерос. науч.-исслед. конф. – Ростов : Приоритет, 2019. – С. 187–190.
- 3 Работа России [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://trudvsem.ru>. – Дата доступа : 26.09.24.
- 4 Христофорова, Л. В. Реновации требований к подготовке инженерных кадров в современном образовательном пространстве / Л. В. Христофорова, Е. А. Краснова // Материалы Междунар. науч.-метод. конф., Минск, 14 марта 2024 г. : в 2 ч. Ч. 1. – Минск : БГУИР, 2024. – С. 324–325.
- 5 Христофорова, Л. В. Взаимодействие профессиональных и образовательных стандартов в подготовке кадров железнодорожной отрасли: проблемы и пути гармонизации / Л. В. Христофорова, Е. А. Краснова, С. А. Банников // Междисциплинарное взаимодействие в контексте подготовки специалистов железнодорожной отрасли : [монография] / О. А. Артемова [и др.] ; под ред. А. М. Аллагулова, М. И. Бологова. – Уфа : Аэтерна, 2017. – С. 14–19.

ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОРГАНИЗАЦИЙ ТРАНСПОРТНОЙ ОТРАСЛИ

С. Л. ШАТРОВ, М. А. ДОРОШКОВА

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Транспорт играет значительную роль в системе обеспечения национальной безопасности. Становление и развитие транспортной отрасли определяет активный рост производительности и конкурентоспособности экономики государства, обеспечивает стабильный кругооборот товаров внутри страны, экспортные и транзитные потоки, а также создает условия для осуществления комфортных и безопасных пассажирских перевозок. Поэтому устойчивость экономической безопасности и всех определяющих её элементов определяется эффективной работой транспортной системы, её интенсивным развитием и модернизацией транспортной инфраструктуры.

Экономическая безопасность транспортной отрасли характеризуется системой показателей, которые напрямую зависят от общегосударственных трендов: устойчивость экономического роста, доля экспорта в валовом внутреннем продукте, соотношение внутреннего и внешнего долга, уровень контроля и достаточность государственных ресурсов, стабильность финансовой системы и степень зависимости от внешнеэкономических факторов. Кроме того, её уровень можно рассмотреть с точки зрения таких показателей, как объем промышленного производства и платных услуг на душу населения, соотношение импорта и экспорта, уровень жизни населения, уровень коррупции и т. д. [1].

В последние годы национальная транспортная система страны подверглась значительным изменениям, что в первую очередь связано с санкционным давлением. В связи с тем, что многие белорусские компании утратили доступ в страны Европейского союза и порты Балтийского моря, Республика Беларусь была вынуждена переориентироваться и начать поиск новых маршрутов доставки экспортных и импортных грузов. Данные логистические преобразования привели к росту вероятности возникновения рисков и угроз для национальной безопасности на макроуровне и экономической безопасности хозяйствующих субъектов [2].

В условиях современного развития общества обеспечение высокого и стабильного уровня экономической безопасности организаций транспортной отрасли становится особенно важным. Для достижения этой цели необходима разработка и проведение ряда мероприятий экономического, правового, социального, финансового и организационного масштаба, которые позволят не только предупредить угрозы государственной и отраслевой безопасности, но и противостоять им.

Комплекс оценочных показателей экономической безопасности транспортных организаций включает следующие параметры:

- совместимость – рассматривается как согласованность с показателями за разные отчетные периоды, фактически достигнутыми и плановыми, показателями других транспортных компаний, показателями отрасли в целом;
- измеримость – возможность количественной оценки уровня экономической безопасности организаций транспортной отрасли;
- универсальность – цельность и единство параметров для отраслевых компаний разной формы собственности и масштаба.

Определение уровня экономической безопасности организаций транспортной отрасли осуществляется в количественном выражении (в доле или процентном отношении к необходимому уровню). В числе оценочных параметров уровня экономической безопасности особое внимание следует уделить доступности и качеству пассажирских перевозок. Эти показатели можно анализировать через такие метрики, как среднее время ожидания транспортных средств, регулярность их движения и удовлетворенность пользователей. Высокий уровень доступности услуг транспортировки напрямую влияет на мобильность населения и способствует его социальной активности.

Кроме того, критически важным является объем и эффективность грузовых перевозок. Необходимыми показателями здесь выступают пропускная способность и степень использования инфраструктуры, техническая исправность и износ подвижного состава. Регулярное обновление, техниче-

ское обслуживание и ремонт должны осуществляться по заранее разработанным планам и с использованием современных технологий. Это позволит минимизировать вероятность аварийных ситуаций и повысить общую надежность транспортной системы. Эффективная логистика и наличие надежных маршрутов создают условия для динамичного роста экономики и стабильного обеспечения товарооборота.

В связи с этим определить уровень экономической безопасности можно на основании использования следующих критериев [3]:

- конкурентоспособность транспортной компании (темпы роста; доля на рынке);
- финансовая устойчивость (коэффициенты независимости, собственности, финансового риска);
- состояние основных средств (коэффициенты износа, пригодности, обновления);
- зависимость от внешних источников финансирования (коэффициенты задолженности, покрытия процентов по кредитам);
- эффективность организационной и управленческой структуры организации.

Установление показателей идентификации и оценки безопасности экономической системы имеет важное практическое значение и подразумевает под собой установление параметров, определяющих ее уровень. Данные критерии выражены строго установленными нормативными значениями, превышение которых становится причиной нарушения стабильной экономической ситуации, приводит к возникновению рисков и угроз эффективной транспортной деятельности. В связи с этим целесообразным является внедрение информационной системы контроля за уровнем экономической безопасности, включающей в себя аналитику деятельности транспортной компании, оперативное выявление и устранение рисков и возникающих угроз [4].

Система управления экономической безопасностью транспортной отрасли строится на принципах всестороннего анализа направлений развития экономических процессов и динамики их изменений. Идентификация угроз экономической безопасности отрасли и мониторинг их фактически достигнутых, установленных нормативных и предельных значений являются ключевыми аспектами исследования в данной сфере. По данным проведенной оценки разрабатывается стратегический план устранения возникших рисков событий и предотвращения их последующего проявления, утверждается программа мероприятий по повышению уровня экономической безопасности.

Одним из ключевых элементов системы управления экономической безопасностью в сфере транспорта является создание интегрированной информационно-аналитической платформы, которая позволит в режиме реального времени собирать, обрабатывать и анализировать данные о возможных угрозах и рисках. Данная платформа представляет собой систему, анализирующую большой объем факторов, вызывающих наибольшее влияние на колебание отраслевых экономических показателей. Кроме этого, особое внимание уделяется изменениям в нормативно-правовых актах и отслеживанию современных технических тенденций и приоритетов.

Таким образом, развитие транспортной системы и её инфраструктуры путем активного внедрения цифровых технологий, а также выявление и предотвращение возникающих рисков событий и угроз являются неотъемлемыми аспектами стратегического подхода к обеспечению экономической безопасности транспортных организаций, транспортной отрасли и страны в целом.

Список литературы

- 1 **Бабкина, Т. В.** Специфика и взаимосвязь экономической безопасности и транспортного комплекса страны [Электронный ресурс] / Т. В. Бабкина, А. А. Буравова, К. И. Трёмбач // Вестник евразийской науки. – 2015. – № 5 (30). – Режим доступа : <https://cyberleninka.ru>. – Дата доступа : 10.09.2024.
- 2 **Якубук, Ю. П.** Направления обеспечения экономической безопасности в транспортной сфере / Ю. П. Якубук // Бизнес. Образование. Экономика : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 6–7 апр. 2023 г. – Минск : Институт бизнеса БГУ, 2023. – С. 467–470.
- 3 **Капырин, А. А.** Концептуальные основы экономической безопасности и пути их реализации на предприятиях транспорта : автореф. дис. ... канд. экон. наук : 08.00.05 / А. А. Капырин ; Гос. ун-т упр. – М., 2018. – 22 с.
- 4 **Богданова, Т. В.** Экономическая безопасность транспортных организаций: научно-методические подходы и практика оценки [Электронный ресурс] / Т. В. Богданова, А. А. Капырин, Р. В. Русинов // Вестник ГУУ. – 2013. – № 21. – Режим доступа : <https://cyberleninka.ru>. – Дата доступа : 11.09.2024.

ПОЛИТИКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В УПРАВЛЕНИИ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

Т. В. ШОРЕЦ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

В современных условиях внешней среды, в которых функционируют отечественные предприятия, обеспечение экономической безопасности приобретает первостепенное значение. Особенно актуальным данный вопрос становится для крупных корпоративных объединений республики, в том числе для Белорусской железной дороги, которые являются бюджетобразующими предприятиями, обеспечивающими республику стратегическими ресурсами.

Экономическая безопасность предприятия представляет собой состояние максимально эффективного использования различных видов корпоративных ресурсов (материальных, финансовых, трудовых и др.) с целью предотвращения, ослабления или защиты от возникающих внешних и внутренних угроз и обеспечения достижения бизнес-целей компании, стабильного функционирования не только в настоящее время, но и в перспективе [2].

Уровень экономической безопасности любого предприятия зависит в первую очередь от того, насколько эффективно организовано руководство процессом обеспечения экономической безопасности, и от того, насколько качественно специалисты организации смогут предвидеть возможные угрозы, насколько быстро и эффективно смогут разработать и осуществить мероприятия по их предотвращению, а также по нейтрализации последствий негативного воздействия угроз на финансово-хозяйственную деятельность.

В современных условиях управление экономической безопасностью крупных корпоративных формирований требует разработки комплексного подхода и создания соответствующей внутрикorporативной правовой базы, главное место в которой должно быть отведено политике экономической безопасности компании.

Политика экономической безопасности Белорусской железной дороги представляет собой комплекс мероприятий, действий, механизмов принятия решений в области мобилизации и использования различных групп ресурсов для достижения целей безопасности железнодорожного транспорта.

При разработке политики экономической безопасности на железнодорожном транспорте необходимо опираться на следующие принципы:

- стабильность управленческой структуры Белорусской железной дороги, что позволит обеспечить эффективное взаимодействие между всеми структурными подразделениями;
- законность – все реализуемые мероприятия в рамках обеспечения экономической безопасности должны соответствовать действующим нормам национального законодательства;
- защита от раскрытия – положения политики экономической безопасности должны иметь статус коммерческой тайны или документации с грифом секретности;
- непрерывность – процесс управления экономической безопасностью должен быть постоянным, при этом необходимо проводить регулярную работу по развитию подходов и модернизации мероприятий по ее обеспечению;
- предупреждение – предполагает постоянную работу по выявлению новых факторов, имеющих возможность негативно повлиять на деятельность железнодорожного транспорта;
- трансформация – возможность изменения положений политики экономической безопасности с учетом выработки новых целей и задач, поставленных стратегией развития Белорусской железной дороги;
- заинтересованность персонала – понимание персоналом, входящим в систему обеспечения экономической безопасности, важности своей деятельности;
- экономическая эффективность – минимизация затрат на осуществление мероприятий без потери уровня их эффективности [1].

Основной целью разработки и внедрения политики экономической безопасности на железнодорожном транспорте является создание фундамента для последующего динамичного развития объединения в краткосрочной и долгосрочной перспективе с учетом возможного негативного влияния внешней и внутренней среды. Для достижения указанной цели необходимо провести определение потенциальных угроз, оценить риски их проявления, а также возможности негативного влияния на текущее состояние и тенденции развития железнодорожного транспорта.

При построении политики экономической безопасности необходимо:

- определить конкретные цели и механизмы их достижения в краткосрочном и долгосрочном периодах;
- обеспечить эффективную систему сбора, доставки, анализа и оценки информации о деятельности как всей железной дороги в целом, так и отдельно взятого ее структурного подразделения;
- принимать во внимание то, что во внешней и внутренней среде Белорусской железной дороги могут в любой момент времени произойти функциональные и структурные изменения;
- в рамках системы мероприятий по обеспечению экономической безопасности четко распределить и конкретизировать функции различных структурных подразделений и сотрудников предприятия [3].

При разработке политики экономической безопасности на железнодорожном транспорте следует соблюдать следующую последовательность этапов:

- 1) четко выделить особенности финансово-производственного процесса на железнодорожном транспорте, в том числе порядок обеспечения кадровыми ресурсами всех структурных подразделений компании;
- 2) провести исследование внешних и внутренних угроз состояния объединения, изучить риски их возникновения и возможности ликвидации последствий их негативного влияния;
- 3) оценить действующую модель обеспечения экономической безопасности, оценить существующий инструментарий противодействия определенным угрозам;
- 4) разработать актуальную современным условиям модель политики безопасности;
- 5) сформировать финансовую модель реализации мероприятий по обеспечению экономической безопасности [4].

Разработка положения по экономической безопасности обеспечит:

- повышение финансовой устойчивости и независимости Белорусской железной дороги;
- построение рациональной и оптимальной организационной структуры управления как всем объединением, так и входящими в него структурными подразделениями;
- достижение высокой конкурентоспособности технологического потенциала железнодорожного транспорта;
- эффективную защиту персонала железной дороги, его активов, а также коммерческих интересов.

В целом необходимо отметить, что разработка и внедрение политики экономической безопасности является тем инструментом, который обеспечит создание благоприятной среды для дальнейшего устойчивого развития Белорусской железной дороги. При этом необходимо обеспечить реализацию наиболее оптимальных моделей управления экономической безопасностью и использовать самый современный инструментарий.

Список литературы

- 1 Алпысбаев, К. С. Стратегия формирования политики экономической безопасности в корпоративном управлении / К. С. Алпысбаев // Актуальные проблемы труда и развития человеческого потенциала : вузовско-академический сб. науч. тр. – СПб., 2018. – С. 15–19.
- 2 Гундорова, М. А. Экономическая безопасность : учеб. пособие / М. А. Гундорова. – Владимир : Изд-во ВлГУ, 2020. – 207 с.
- 3 Петров, И. В. Политика экономической безопасности в корпоративном управлении / И. В. Петров, И. И. Дементеева // Вестник Краснодарского университета МВД России. – 2021. – № 3. – С. 109–112.
- 4 Сергеева, И. А. Комплексная система обеспечения экономической безопасности предприятия : учеб. пособие / И. А. Сергеева, А. Ю. Сергеев. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2017. – 124 с.

УДК 338.47.025:656.078:331.101.6

ВЛИЯНИЕ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ КАЧЕСТВА ТРАНСПОРТНЫХ УСЛУГ НА УРОВЕНЬ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ТРУДА НА ТРАНСПОРТЕ

Ю. П. ЯКУБУК

Институт экономики НАН Беларуси, г. Минск

Повышение качества транспортного обслуживания является важным фактором обеспечения безопасности как грузовых, так и пассажирских перевозок. Однако в новых экономических условиях транспортным организациям приходится уделять большое внимание не только вопросам каче-

ства и безопасности транспортного процесса, но и повышению конкурентоспособности и эффективности перевозок, и в частности, увеличению производительности труда.

В связи с этим возникает вопрос, как мероприятия по повышению производительности труда на транспорте отражаются на качестве предоставляемых транспортных услуг, и наоборот, не приводят ли меры по повышению качества услуг к снижению производительности труда в транспортных организациях.

Качество транспортных услуг определяется обширной системой показателей, наличие и развитие которых зависит как от самих транспортных организаций, так и от государственных органов управления в области транспорта. В работе было проведено исследование по оценке степени влияния мероприятий по повышению качества транспортных услуг, проводимых как государственными органами, так и транспортными организациями, на уровень производительности труда на транспорте. Результаты исследования представлены на рисунке 1.

Рассмотрим подробнее каждый из блоков схемы, представленных на рисунке 1.



Рисунок 1 – Оценка степени влияния мероприятий по повышению качества транспортных услуг на уровень производительности труда на транспорте

Примечание – Собственная разработка.

Транспортная обеспеченность территории. Эффективная транспортная инфраструктура может способствовать повышению производительности труда на транспорте в определенном регионе, так как увеличивается скорость движения транспортных средств, сокращаются сроки доставки товаров, ускоряется перемещение сотрудников. Данный фактор находится в зоне ответственности государства, выступая одной из важнейших задач транспортной политики страны.

Транспортная доступность потребителей транспортных услуг. Данный фактор включает обеспеченность территории транспортной инфраструктурой в целом. Отличие состоит в том, что подъездные пути к предприятию – заказчику транспортных услуг могут быть построены как за счет государственных средств, так и за счет самого предприятия.

Внедрение современных информационных технологий на транспорте. Эффективное управление транспортом с помощью современных технологий и аналитики может уменьшить задержки в пути, снизить издержки и понизить степень использования трудовых ресурсов для осуществления перевозочного процесса, что способствует повышению производительности труда в сфере транспорта. На данном этапе развития экономики использование современных информационных технологий является основным драйвером роста производительности труда для транспортных предприятий.

Совершенствование взаимодействия участников перевозочного процесса, включая государственные органы, оказывает позитивное воздействие на уровень производительности труда на транспорте, поскольку сокращается время взаимодействия, количество необходимой документации

и ее упрощение, а также затраты на осуществление данных процессов. Задача взаимодействия может решаться как государственными структурами, так и в рамках транспортных предприятий, а также третьими сторонами (например, цифровыми платформами).

Обновление подвижного состава транспортных предприятий. Использование новых транспортных средств ведет к снижению затрат на топливо, обслуживание и ремонт, а также уменьшает вероятность простоев транспортных средств, что находит отражение в повышении производительности труда. Задача обновления подвижного состава в первую очередь лежит на предприятии, однако государство оказывает значительное влияние на данный процесс, стимулируя приобретение новых транспортных средств посредством предоставления налоговых и иных льгот.

Повышение скорости перевозок и обусловленный им рост грузооборота способствуют повышению производительности труда в сфере транспорта. Повышение скорости транспортного обслуживания может быть достигнуто в результате улучшения инфраструктуры (государственные мероприятия) и совершенствования транспортных процессов на уровне предприятия.

Профессиональное обучение и повышение квалификации водителей и специалистов транспортных организаций. Эффективная организация процессов и качественное обслуживание транспортных средств способствуют повышению производительности труда. Участие государства в повышении квалификации водителей и специалистов проявляется в установлении образовательных стандартов и реализации программ обучения.

Мероприятия по обеспечению комплексности обслуживания и развитие индивидуального подхода к клиентам улучшают степень удовлетворенности потребителей транспортных услуг и способствуют привлечению новых клиентов и росту объемов оказанных транспортных услуг. В то же время рост модификаций услуг увеличивает издержки предприятия и снижает объемы оказания по каждой отдельной услуге. В таком случае роста производительности труда не произойдет.

Мероприятия по повышению уровня безопасности перевозок и повышению уровня сохранности грузов. Высокие стандарты безопасности определяют качество услуг транспорта. Обязательные стандарты безопасности устанавливаются на государственном уровне, транспортное предприятие также может самостоятельно устанавливать дополнительные стандарты безопасности перевозочного процесса. Соблюдение этих стандартов может повысить производительность труда за счет уменьшения рисков аварий и неправомерных действий третьих лиц. Однако, как правило, ужесточение стандартов безопасности требует дополнительных финансовых и трудовых затрат, что может отрицательно сказаться на производительности труда.

Мероприятия по обеспечению ритмичности поставок могут как увеличить объем перевозок, тем самым повышая и производительность труда, так и потребовать наличия большего количества транспортных средств, при этом загрузка транспортных средств может снижаться. В этом случае влияние на уровень производительности труда может быть отрицательным.

Таким образом, в наибольшей степени способствуют повышению уровня производительности труда на транспорте мероприятия по повышению качества транспортных услуг, относимые к зоне влияния государства или к совместной зоне влияния государства и транспортных предприятий. Что касается транспортного предприятия, то важнейшее значение для увеличения уровня производительности труда имеет внедрение современных информационных технологий, одновременно содействуя повышению качества оказываемых транспортных услуг.

УДК 331

ФОРМИРОВАНИЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ СТУДЕНТОВ ЧЕРЕЗ ПРОЕКТНУЮ РАБОТУ

Н. В. ЯШКОВА

Нижегородский институт путей сообщения – филиал Приволжского государственного университета путей сообщения, г. Н. Новгород, Российская Федерация

Разработка и использование профессиональных стандартов вносит свои коррективы в организацию учебного процесса в высшем и среднем профессиональном образовании.

Как отмечает О. В. Блинова, основная цель профессионального высшего образования определяется как подготовка специалистов соответствующего уровня и профиля, которые будут востребо-

ваны и конкурентоспособны на рынке труда, у которых будут сформированы все необходимые знания и умения, соответствующие специальности [1].

Ряд авторов отмечают, что участие студентов в научно-исследовательской деятельности является важнейшим элементом организации учебного процесса и именно он направлен на формирование профессиональных компетенций [3, 4].

В качестве основных задач в организации НИРС ряд авторов выделяют следующие:

- развитие массовой научно-исследовательской работы студентов с тем, чтобы в процессе обучения помочь им овладеть современной техникой, методикой научных исследований и методологией научного проектирования;

- воспитание из числа наиболее одарённых и успевающих студентов резерва учёных, исследователей и преподавателей;

- популяризация научных знаний и достижений науки и техники среди студентов;

- пропаганда и содействие внедрению результатов исследований молодых учёных и специалистов [2].

Сегодня профессорско-преподавательский состав должен обеспечить не только должный уровень знаний, навыков и умений, достаточный для успешной работы будущих выпускников, но и сформировать у них творческое мышление, способность критически оценивать данные, всесторонне исследуя разнообразные источники информации, что, в свою очередь, и является одной из задач научно-исследовательской работы, проводимой со студентами вузов.

В филиале научная работа студентов организована как на базе среднего профессионального образования (СПО), так и на базе высшего профессионального образования. Научная работа позволяет повысить заинтересованность студентов своей будущей профессией, сформировать профессиональные компетенции на углубленном уровне, более полно сформировать необходимые трудовые функции.

На базе высшего образования ВО работает 4 студенческих научных кружка, которые объединены в студенческое научное общество. Кроме студенческого научного общества в филиале для студентов, обучающихся по программам высшего образования, создан совместно с основным работодателем – Горьковской железной дорогой – студенческий бизнес-инкубатор.

Основная задача студенческого научного кружка – это развитие познавательной активности, навыков научной и исследовательской деятельности. Как правило, все участники студенческих научных кружков (на базе высшего образования) вступают в студенческое научное общество. Участники студенческого научного общества (СНО) принимают активное участие в подготовке рецензий на статьи студентов, участвуют в студенческих научно-практических конференциях, а также принимают участие в конкурсах проектов.

Начиная с 3 курса студенты высшего образования привлекаются в студенческий бизнес-инкубатор. Работа в студенческом бизнес-инкубаторе направлена на решение производственных задач, которые обозначают представители структурных подразделений Горьковской железной дороги.

Развитие научной работы в филиале имеет положительный результат, на это указывает:

- увеличение количества выигранных конкурсов участниками СНО на выполнение проектов по линии «Молодой Нижний»;

- увеличение количества выигранных грантов на выполнение выпускных квалификационных работ;

- увеличение публикационной активности студентов филиала.

Эффективность научной работы характеризуют данные таблицы 1.

Таблица 1 – Динамика публикационной активности студентов (составлено автором)

Показатель	Учебный год		
	2021–2022	2022–2023	2023–2024
Публикации студентов СПО, статей	152	222	231
Публикации студентов ВО, статей	143	178	181
Участие в бизнес-инкубаторе, чел.	20	24	26
Участие в конкурсе «Новое звено», проектов, всего		4	5
В том числе:			
– прошли региональный этап отбора и допущены к защите		4	5
– вышли в полуфинал		–	1
Подача заявок на патент, шт.		1	1

Проведенные исследования показали, что студенты, вовлеченные в научно-исследовательскую работу, имеют более высокий уровень сформированности профессиональных компетенций, у них лучше развиты коммуникационные способности, глубже понимание производственных процессов. Это приводит к сокращению периода первичной адаптации при трудоустройстве. Кроме того, студенты, занимающиеся научной работой, приобретают опыт публичного выступления. Все это способствует повышению их конкурентоспособности как профессионалов.

Организацию научной работы в учебном учреждении необходимо постоянно совершенствовать, внедрять новые методы и элементы, а также расширять участие в научно-исследовательской работе научно-техническую библиотеку филиала.

Список литературы

1 **Блинова, О. В.** Организация самостоятельной и научной работы студентов как способ новых образовательных технологий в вузе / О. В. Блинова // *Нива Поволжья*. – 2008. – № 2 (7). – С. 88–91.

2 **Бочаров, С. М.** Организация научной работы студентов / С. М. Бочаров, Н. С. Тархов, Р. А. Тер-Данилов // *Евразийский союз ученых*. – 2015. – № 5-3 (14). – С. 163–164.

3 **Кузьмин, Н. В.** Организация научной деятельности студентов как элемента самостоятельной работы в учебном процессе / Н. В. Кузьмин, Н. М. Романченко // *Наука и образование: опыт, проблемы, перспективы развития : материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 70-летию ФГБОУ ВО Красноярский ГАУ*. – Красноярск, 2022. – С. 260–264.

4 **Мищенко, И. К.** Организация научной работы студентов как фактор подготовки конкурентоспособного специалиста / И. К. Мищенко // *Вестник филиала Всероссийского заочного финансово-экономического института в г. Барнауле*. – 2010. – № 13. – С. 213–218.

10 ТРАНСПОРТНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПРИ УГРОЗЕ И ВОЗНИКНОВЕНИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

УДК 624.21.033.1

ОСНОВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В НАПРАВЛЕНИИ РАЗВИТИЯ СБОРНО-РАЗБОРНЫХ МОСТОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ

С. М. БОБРИЦКИЙ, П. А. КАЦУБО, Е. В. ПЕЧЕНЕВ
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Мостовые сооружения во все периоды истории играли важную роль в развитии транспортных коммуникаций любого государства. При этом конструктивные особенности мостовых парков, а также условия и способы их применения совершенствовались в соответствии с развитием экономики и промышленности каждой страны. В современных условиях возникновения локальных конфликтов, террористических угроз и ежегодно возникающих чрезвычайных ситуаций (наводнения, пожары, землетрясения) особое внимание необходимо обратить на развитие табельных сборно-разборных мостовых конструкций. Это единственный возможный способ открытия сквозного движения в короткое время на барьерных участках транспортной сети в случае разрушения действующих мостов.

Создание быстровозводимых мостов из сборно-разборных мостовых конструкций является актуальной и необходимой задачей в совершенствовании способов временного и краткосрочного строительства мостовых сооружений [1].

Так, в процессе выполнения научных работ [3–5] научным коллективом военно-транспортного факультета были разработаны и научно обоснованы, в последующем пограничной службой Республики Беларусь изготовлены и внедрены в рамках инженерного обеспечения Государственной границы быстровозводимые сборно-разборные мосты на жестких и плавучих опорах.

Быстровозводимые мосты на жестких опорах предназначены для преодоления водных препятствий, труднопроходимой местности под нагрузку до 1 т, в зависимости от применяемых пролетных строений (рисунок 1). Использование сборно-разборных металлических мостовых пролетов СРММП-1, СРММП-2 позволяет перекрывать водные преграды и ущелья.

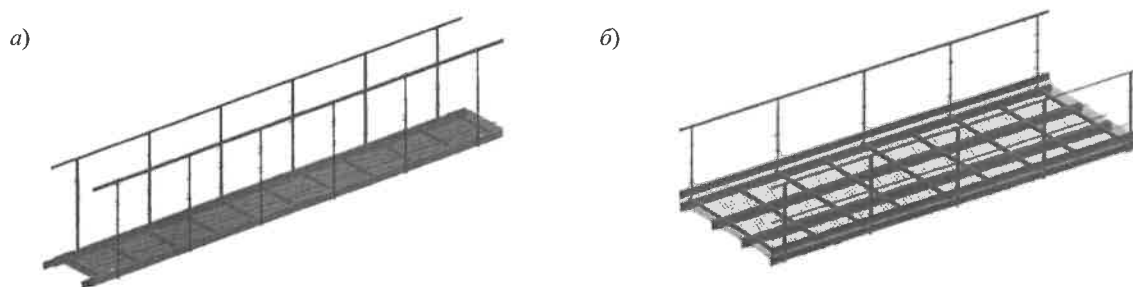


Рисунок 1 – Общий вид пролетных строений:
а – пролетное строение СРММП-1 под нагрузку 0,5 т; б – пролетное строение СРММП-2 под нагрузку 1 т

Сборно-разборный металлический мостовой пролет СРММП-1 предназначен для быстрой установки пешеходных низководных мостов на барьерных участках местности, при чрезвычайных ситуациях, а также при ликвидации стихийных бедствий [2, 3].

Сборно-разборный металлический мостовой пролет СРММП-2 предназначен для быстрой установки низководных мостов, под нагрузку до 1 т, на барьерных участках местности, при чрезвычайных ситуациях, а также при ликвидации стихийных бедствий [4].

Быстровозводимые мосты на плавучих опорах (рисунок 2) предназначены для обеспечения пропуска временных нагрузок через глубокие водные преграды и на заболоченных участках местности [5].

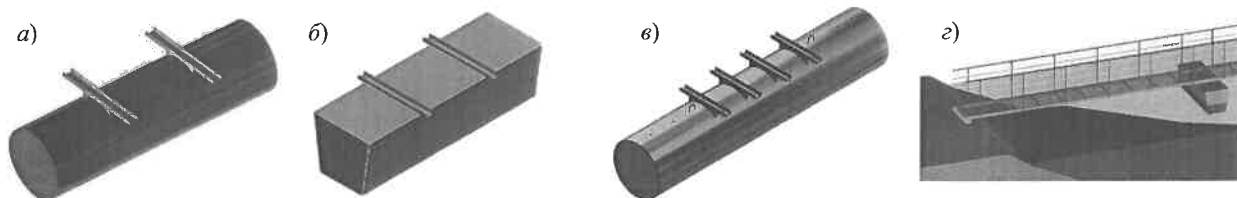


Рисунок 2 – Общий вид плавучих опор:
a – плавучая опора круглого сечения; *b* – плавучая опора трапецидального сечения;
в – плавучая опора под пролет СРММП-2; *г* – варианты мостов с применением плавучих опор

Наряду с плавучими разработана сборно-разборная опора (рисунок 3), предназначенная для установки мостов на сложном рельефе местности (овраги, ущелья, горная местность, рельеф с резким перепадом высот).

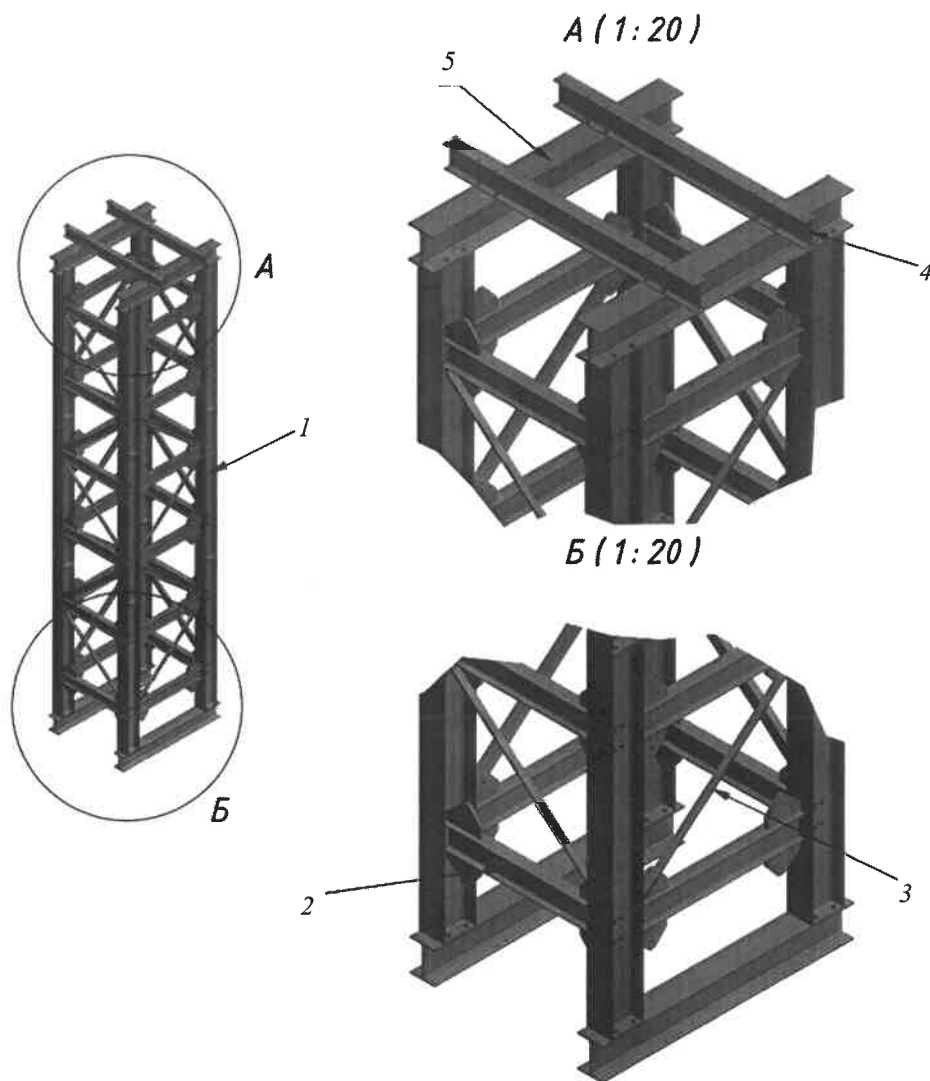


Рисунок 3 – Металлическая сборно-разборная опора высотой 6 м:
1 – стойка; *2* – распорка; *3* – уголок; *4, 5* – балки

Расстояния между стойками по фасаду могут быть 1,5 или 4 м, в плане 1,156 или 3,168 м в зависимости от вариантов сборки опоры, которые предусматривают различную высоту надстройки – 6, 12 и 30 м.

Быстровозводимые мосты из сборно-разборных мостовых конструкций обладают рядом преимуществ:

- быстрое открытие движения на барьерных участках местности;

– возможность увеличения грузоподъемности до 3 т за счет размещения как количества плавучих опор, так и увеличения сечения несущих элементов пролетных строений и проезжей части [5, 6] с учетом возможности переноски вручную (командой до 12 человек);

– малогабаритные размеры, которые позволяют быстро и скрытно передислоцировать мостовые элементы всеми видами транспортных средств;

– производство монтажа может осуществляться без грузоподъемного оборудования;

– при устройстве моста в низководном исполнении и окрашивании его в цвет водной глади он становится малозаметным для вскрытия средствами визуального наблюдения;

– низкая стоимость, которая в значительной степени снижает вероятность поражения высокоточным оружием ввиду высокой стоимости боеприпаса (экономически не целесообразно);

– простота конструктивного исполнения, возможность производства по конструкторской и технической документации на любом предприятии или монтажной площадке места строительства моста при наличии сварочного оборудования.

Таким образом, с учетом требуемых условий пропуска пешеходной и легкой колесной нагрузки применение быстровозводимых сборно-разборных мостов может быть одним из наиболее целесообразных способов преодоления на барьерных участках транспортной сети. А накопленный опыт использования представленных в статье конструкций позволяет с уверенностью утверждать, что область их применения очень разнообразна и востребована.

Список литературы

1 Бобрицкий, С. М. Подходы к проектированию сборно-разборных временных мостов из местных материалов / С. М. Бобрицкий, А. О. Шимановский // Механика. Исследования и инновации : междунар. сб. науч. тр. – Гомель : БелГУТ, 2021. – Вып. 14. – С. 11–16.

2 Малогабаритный сборно-разборный мостовой пролет : пат. 24037 Респ. Беларусь, МПК E 01D 15/12 / А. А. Поддубный, П. А. Кацубо, С. М. Бобрицкий, Р. Ю. Долманюк ; заявитель Белорус. гос. ун-т трансп. – № а 20210130 ; заявл. 03.05.2021 ; опубл. 31.03.2023, Афіц. бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2023.

3 Система основных параметров сборно-разборного металлического мостового пролетного строения малой грузоподъемности : отчет о НИР / Белорус. гос. ун-т трансп. ; рук. темы С. М. Бобрицкий. – Гомель : БелГУТ, 2021. – 60 с.

4 Система основных параметров сборно-разборного металлического мостового пролетного строения грузоподъемностью до 1 т под однопутное движение : отчет о НИР / Белорус. гос. ун-т трансп. ; рук. темы А. А. Поддубный. – Гомель : БелГУТ, 2023. – 57 с.

5 Обоснование основных параметров элементов сборно-разборного металлического наплавного моста грузоподъемностью до 0,5 т : отчет о НИР / Белорус. гос. ун-т трансп. ; рук. темы А. А. Поддубный. – Гомель : БелГУТ, 2023. – 51 с.

6 Поддубный, А. А. Инженерные решения автомобильного наплавного сборно-разборного быстровозводимого моста под максимальную осевую нагрузку до двух тонн / А. А. Поддубный, Е. В. Печенев // Вестник Белорусского государственного университета транспорта: Наука и транспорт. – 2023. – № 2 (47). – С. 25–27.

УДК 355.415.2

АНАЛИЗ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОЙ РАЗВЕДКИ ОБЪЕКТОВ И УЧАСТКОВ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ТРАНСПОРТНЫХ ВОЙСК РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Р. А. БРЕУС

Транспортные войска Республики Беларусь, войсковая часть 44540, г. Жодино

В современных условиях политика двойных стандартов со стороны руководства блока НАТО и администрации США [1–3] способствует дальнейшему развитию экономического кризиса с нарастающей угрозой силового решения возникающих при этом спорных вопросов. Внимание к вопросам безопасности стратегических объектов и инфраструктуры уделяется во всём мире. В связи с этим особенно остро возникает необходимость разработки новейших средств вооружения, военной и специальной техники.

Наиболее перспективным средством технической разведки (далее – ТР) объектов и участков транспортной инфраструктуры в настоящее время являются дистанционно-пилотируемые летательные аппараты и цифровые технологии, позволяющие оперативно и с высокой точностью добывать информацию [4, 5].

Под системой ТР понимается совокупность сил и средств разведки, действие которых направлено на оперативное, точное, полное и достоверное изучение технических и эксплуатационных показателей транспортной инфраструктуры, определение видов заграждений и разрушений на ней, сбор данных для принятия решения на восстановление мостовых переходов через водные преграды в интересах транспортных войск Республики Беларусь (далее – ТрВ РБ). Любая система разведки состоит из подсистем: добывающей, управляющей и информационной [6].

Система ТР ТрВ РБ включает в себя штатные органы (разведывательные подразделения) и технические средства разведки (далее – ТСР), находящиеся на оснащении разведывательных подразделений, действие которой направлено на организацию и добывание информации, а также передачу её в подсистему управления в соответствии с рисунком 1.



Рисунок 1 – Система технической разведки

Таким образом, следует отметить, что при быстро меняющейся обстановке значительно возрос объем сбора информации об объектах и участках транспортной инфраструктуры, получаемой в ходе ТР. Поэтому существующее техническое оснащение подразделений разведки ТрВ РБ требует в короткий промежуток времени собрать и обработать такой объём информации.

Получение в полном объеме сведений о транспортной инфраструктуре потребует применения в процессе ТР цифровых технологий, которые будут соответствовать военно-техническим требованиям.

Основными недостатками существующей системы ТР являются:

- а) большие временные затраты на сбор, обработку и доведение разведывательной информации;
- б) отсутствие средств автоматизации обработки разведывательной информации;
- в) низкий уровень оснащённости ТСР, способными обеспечить возможность ведения разведки в любых условиях освещённости и любых метеословиях.

Поэтому появилась необходимость проведения анализа технических средств и технического оснащения подразделений разведки воинских частей ТрВ РБ современными ТСР, которые будут соответствовать задачам подразделений разведки и условиям их функционирования, а также увеличению возможностей и эффективности системы ТР.

Список литературы

- 1 Удар по мозгам [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.aex.ru/fdocs/1/2020/11/10/31780/>. – Дата доступа : 30.09.2024.
- 2 Чему российские вооруженные силы научились в Сирии [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://profile.ru/military/chemu-rossijskie-vooruzhennye-sily-nauchilis-v-sirii-188753/>. – Дата доступа : 30.09.2024.
- 3 Материалы республиканского научного семинара цикла разведки кафедры оперативного искусства и тактики факультета ГШ ВС. – Минск : ВА РБ, 2021.
- 4 Тихонов, П. В. Опыт применения БЛА различного назначения в современных военных конфликтах и локальных войнах / П. В. Тихонов // Вестник ГШ ВС РБ. – 2020. – № 2 (14). – С. 38–47.
- 5 Рунов, Е. А. Применение БПЛА в войнах и вооружённых конфликтах. Краткий исторический обзор / Е. А. Рунов, О. В. Бобешко, С. В. Аверченко // Молодой ученый. – 2019. – № 44. – С. 276–278.
- 6 Восстановление мостов на автомобильных дорогах : учеб.-метод. пособие / А. А. Поддубный [и др.]. – Гомель : БелГУТ, 2023. – 161 с.

ЗАРЯДНОЕ УСТРОЙСТВО НА СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЯХ ДЛЯ ЗАРЯДКИ АВТОНОМНЫХ ПРИБОРОВ В ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ

И. С. ДЕМИДОВИЧ, О. В. ЧЕРНЫШОВ, В. В. ЗМИЕВСКИЙ
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Выполнение работ по ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций на транспорте неразрывно связано с применением современных технических средств, зачастую работающих от аккумуляторных источников питания. Вдали от населенных пунктов возникает проблема электроснабжения, в том числе и для заряда аккумуляторов различных автономных приборов, применяемых как при строительстве и восстановлении транспортных объектов, так и подразделениями при расположении на месте. Это различные измерительные приборы, радиостанции, тепловизоры, приборы ночного видения, ноутбуки, БЛА, фонари, различные инструменты и др. Как правило, в полевых условиях в качестве источников питания применяют дизельные либо бензиновые генераторные установки. Они применяются в основном для питания механизированного инструмента и для освещения. Однако генераторы имеют ряд особенностей и недостатков: шумность, достаточно высокая стоимость получаемой электроэнергии, необходимость технического обслуживания двигателя, потребление топлива при работе без нагрузки [1].

Для решения задачи заряда различных аккумуляторов в полевых условиях целесообразно использовать зарядное устройство, вырабатывающее электроэнергию с помощью фотоэлектрических элементов – солнечных батарей. В простейшем варианте такое устройство может быть собрано из одной солнечной панели и комбинированного преобразователя постоянного напряжения (DC-DC-преобразователь), способного как повышать, так и понижать напряжение, с настройкой напряжения и силы тока на выходе из него (рисунок 1).



Рисунок 1 – Схема простого зарядного устройства:
1 – солнечная панель; 2 – DC-DC-преобразователь напряжения

Принцип работы такого устройства заключается в следующем. Солнечная панель вырабатывает номинальное напряжение 18 В, данное напряжение сразу попадает на преобразователь, настройками которого (путем вращения размещенных на плате преобразователя потенциометров) выставляется требуемый режим заряда аккумулятора – напряжение и ограничение силы зарядного тока. Такой преобразователь обеспечивает зарядку по закону $CC - CV$ (constant current – constant voltage – сначала постоянным током, в конце постоянным напряжением). Например, для зарядки любого устройства, работающего на одном литий-ионном аккумуляторе, необходимо выставить значение напряжения 4,2 В, что соответствует напряжению полного заряда литий-ионной аккумуляторной ячейки, и силу тока в зависимости от емкости аккумулятора C , как правило, $C = 0,5 \dots 1 \text{ А} \cdot \text{ч}$, т. е. при емкости 2 А·ч сила зарядного тока выставляется 1–2 А.

Однако такой вариант устройства имеет недостатки – при уменьшении освещенности солнечной панели значительно снижается вырабатываемая ею электрическая мощность, что неизбежно приводит к снижению силы зарядного тока. Другая проблема – при высокой освещенности солнечной панели, но низком выставленном значении силы зарядного тока и напряжения (например, при за-

рядке маломощных приборов), не будет реализовываться вся мощность солнечной панели. Следовательно, эффективность такого устройства будет сильно зависеть от погодных условий.

Для решения вышеперечисленных проблем в состав устройства может быть введен промежуточный накопитель энергии (собственный аккумуляторный источник питания) и контроллер солнечной панели (рисунок 2).



Рисунок 2 – Схема зарядного устройства с промежуточным накопителем:

1 – солнечная панель; 2 – контроллер солнечной панели; 3 – промежуточный накопитель; 4 – DC-DC-преобразователь напряжения

Принцип работы данного варианта устройства отличается тем, что вся энергия, вырабатываемая солнечной панелью, накапливается в промежуточном накопителе, в качестве которого может быть использована как свинцово-кислотная аккумуляторная батарея (далее – АКБ), так и АКБ на базе литиевых аккумуляторных ячеек. Солнечный контроллер, в свою очередь, ограничивает выходное напряжение солнечной панели на уровне, необходимом промежуточному накопителю. На преобразователь напряжения энергия подается уже от промежуточного накопителя, что обеспечивает стабильность зарядного тока, а также дает ряд других преимуществ, например есть возможность заряжать различные устройства в ночное время, пока не разрядится промежуточный накопитель.

Промежуточный накопитель

В качестве промежуточного накопителя могут быть применены как свинцово-кислотные, так и литиевые АКБ, номинальное напряжение которых будет близко к 12 В. Несомненно, предпочтительнее использовать литиевые АКБ, так как они по своим характеристикам значительно превосходят все другие типы.

Аккумуляторный источник питания (промежуточный накопитель) представляет собой корпус, в котором размещена АКБ, собранная из отдельных аккумуляторов (ячеек). Ячейки при объединении в батарею могут соединиться последовательно (для увеличения номинального напряжения) и параллельно (для увеличения емкости). Также в корпусе могут быть размещены выключатель, подающий питание на выходные клеммы, индикатор заряда или вольтметр и устройство контроля и защиты АКБ – BMS-контроллер (BMS – battery monitoring system), в функции которого входят:

- защита от перегрузки по току;
- защита от короткого замыкания;
- защита от перезаряда (превышения максимального напряжения);
- защита от переразряда (падения выходного напряжения ниже минимального);
- балансировка последовательно соединенных ячеек (как правило, при заряде батареи).

Для выполнения этих функций BMS-контроллер измеряет силу тока на выходе АКБ, а также напряжение как всей АКБ, так и отдельных ячеек. Применение такого устройства значительно повышает надежность и безопасность аккумуляторного источника питания. Аккумуляторные ячейки целесообразно применять литиевые, а именно литий-железофосфатные, обладающие рядом преимуществ перед другими. Литий-железо-фосфатный аккумулятор (LiFePO_4 , LFP) – тип электрического аккумулятора, являющийся видом литий-ионного аккумулятора, в котором используется соединение LiFePO_4 в качестве катода. Литий-железо-фосфатные аккумуляторы имеют ряд существенных отличий от классических литий-ионных. Наиболее важные отличия состоят в том, что LiFePO_4 обеспечивает более длительный срок службы, чем другие литий-ионные технологии (количество циклов заряда-разряда до потери 20 % емкости от 1500 до 7000), а также значительно безопаснее, так как при нарушении целостности корпуса не самовоспламеняется, как большинство литий-ионных [2].

Для компактности и удобства применения промежуточный накопитель, солнечный контроллер и преобразователь напряжения могут быть размещены в едином корпусе. Кроме того, при достаточно высокой емкости накопителя целесообразно предусмотреть и альтернативные способы его заряда, например от сети 220 В или автомобильной бортовой сети, что расширяет область его применения.

Универсальное зарядное устройство на солнечных панелях может найти широкое применение в полевых условиях для зарядки различных устройств и приборов. Вариант устройства с промежуточным накопителем предпочтительнее, так как позволяет более полно реализовать мощность солнечной панели и обеспечивает стабильную силу зарядного тока. Возможность заряжать аккумуляторы по закону $CC - CV$ (сначала постоянным током, в конце постоянным напряжением) и регулировка напряжения в широком диапазоне делает такое устройство совместимым практически со всеми видами аккумуляторов.

Список литературы

1 Демидович, И. С. Применение аккумуляторных источников питания при строительстве / И. С. Демидович, Ю. А. Коновалов, В. А. Савин // Строительство и восстановление искусственных сооружений : материалы VII Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 21–22 мая 2020 г. В 2 ч. Ч. 1 / под общ. ред. А. А. Поддубного. – Гомель : БелГУТ, 2020. – С. 121–123.

2 Демидович, И. С. Автономное освещение площадок производства работ при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций на транспорте / И. С. Демидович, В. В. Петрусевич // Инновационное развитие транспортного и строительного комплексов : материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 70-летию БелИИЖТа – БелГУТа. – Гомель : БелГУТ, 2023. – С. 347–349.

УДК 693.23

МЕТОД СНИЖЕНИЯ ДЕМАСКИРУЮЩИХ ПРИЗНАКОВ ОПОР КРАТКОСРОЧНЫХ МОСТОВ ПРИ ИХ СООРУЖЕНИИ В УСЛОВИЯХ АКТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРОТИВНИКА С ПРИМЕНЕНИЕМ ОБЫЧНЫХ БОЕПРИПАСОВ

Р. Ю. ДОЛОМАНЮК

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Эффективность воздействия высокоточного оружия на объекты транспортной инфраструктуры не уступает применению ядерных боеприпасов и достигается за счет многократного использования обычных боеприпасов по периодичности, определяемой данными разведки объектов транспорта. Критерием эффективности многократного применения высокоточного оружия является продолжительность цикла разведки – срок обновления информации. Продолжительность цикла разведки зависит от местоположения объекта, условий наблюдения, выбора средств разведки. Для безопасного пропуска подвижного состава по восстановленному железнодорожному мосту время на восстановление и пропуск подвижного состава должны быть меньше продолжительности цикла разведки. Для исключения или существенного затруднения получения информации разработано множество способов. Их применение обеспечивает увеличение времени разведки объекта, что увеличивает время на восстановление и на пропуск подвижного состава. Другим направлением снижения эффективности применения противником высокоточного оружия является увеличение времени на пропуск подвижного состава за счет снижения времени на восстановление объекта. Оптимизация времени на восстановление моста может быть проведена за счет увеличения производственных возможностей мостовых подразделений, с применением новых технологических и технических решений. Наиболее трудоемкими работами по сооружению железнодорожных мостов являются работы по сооружению фундаментов опор, причем трудоемкость у опор в русловой части водной преграды в разы выше трудоемкости опор в пойменной части. Сооружение фундаментов опор практически не демаскирует восстанавливаемый мост, поэтому время ведения восстановительных работ предлагается разделить на два этапа: подготовительный период сооружения фундаментов опор моста и основной – окончательное сооружение опор и установка пролетных строений [1]. В подготовительный период сооружения моста, помимо работ по сооружению фундаментов опор, необходимо выполнить их маскировку. Конструктивно технологические решения при организации функционирования района мостовых переправ должны обеспечивать минимум неизбежных потерь сил и

средств. Исходя из этого требования, конструкции опор должны или быть достаточно устойчивыми к воздействию ударной волны взрыва боеприпасов, или допускать их быстрый демонтаж с возможностью повторного использования. Существующие конструкции не в полной мере соответствуют этому требованию. Наиболее эффективный способ минимизировать потери и одновременно организовать маскировку фундаментов опор – их перевод в подводное положение после сборки.

Наиболее проста маскировка опор РЭМ-500 [2], достигается их опусканием на грунт (рисунок 1) после установки их в проектное положение с применением плавучих кранов. Во время сборки моста опора поднимается и удерживается плавучим краном до установки пролетного строения РЭМ-500.

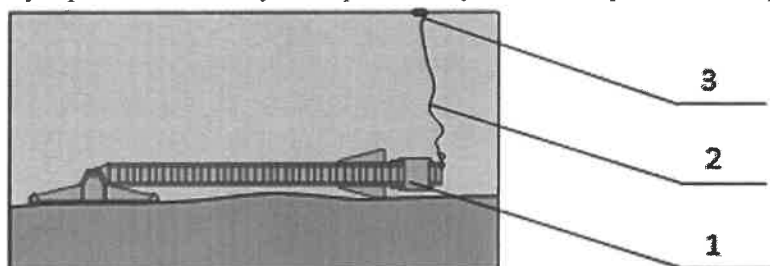


Рисунок 1 – Схема установки плоских опор РЭМ-500 в подготовительный период:
1 – плоская опора эстакады РЭМ-500; 2 – строп; 3 – поплавок

Для сооружения фундамента в условиях, неприемлемых для использования эстакады РЭМ-500, предлагается запатентованный многоразовый фундамент, способный заменить фундамент из пилевого леса. Состоит многоразовый фундамент из платформы фундамента, винтовых свай с решетчатой направляющей, устройств для крепления решетчатой направляющей с платформой фундамента, средств доставки (рисунок 2).

Для облегчения работ по монтажу надстройки на платформе фундамента можно смонтировать башмаки эстакады РЭМ-500 или другие элементы надстройки опоры.

Для увеличения максимальной глубины работы фундамента предлагается винтовые сваи и средства для их завинчивания объединить в один узел, для облегчения предложенного узла за движитель принять гидродвигатель с дистанционной подачей рабочей жидкости от автономного источника или с берега.

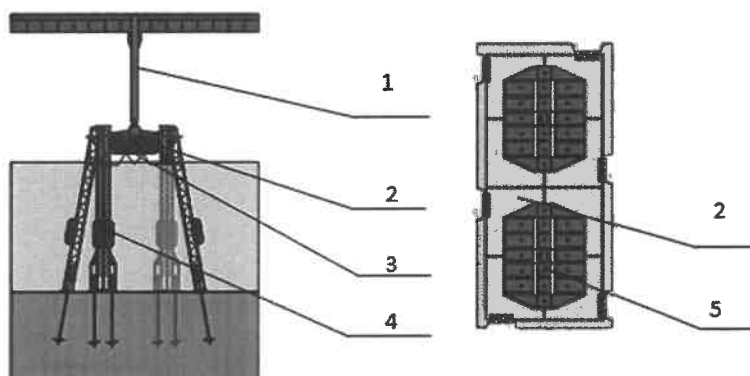


Рисунок 2 – Схема сборного многоразового фундамента:
1 – эстакада РЭМ-500; 2 – платформа фундамента; 3 – понтоны для подъема платформы;
4 – винтовые сваи с решетчатой направляющей; 5 – башмак опоры РЭМ-500

Для увеличения глубины воды, при которой возможно использовать фундамент, соединение свазавинчиваемого узла с платформой предлагается посредством решетчатой направляющей.

Таким образом, выполнение вышеперечисленных технологических и технических предложений позволяет снизить эффективность применения противником ВТО и использовать способ восстановления мостов по старой оси в системе функционирования района мостовых переправ в режиме «пульсирования» при перекрытии крупных брешей.

Список литературы

- 1 Железные дороги мира. – 2020. – № 5. – С. 50–62.
- 2 Металлическая эстакада РЭМ-500. Техническое описание и инструкция по монтажу, перевозке, хранению и эксплуатации. – М. : Воениздат, 1976. – 327 с.

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СФЕРЕ ТРАНСПОРТНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ И ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

К. В. ДРОБЫШЕВСКИЙ, А. Н. ПОЖАРИЦКИЙ, С. Н. МАТВЕЕВ
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Транспортная безопасность в условиях ускоренного развития технологий становится одним из ключевых вопросов для обеспечения устойчивости инфраструктурных систем. В последние годы с учетом роста угроз террористических атак, техногенных катастроф и природных катаклизмов все более актуальными становятся вопросы прогнозирования и предотвращения чрезвычайных ситуаций на транспорте. Важную роль в этом процессе играют современные технологии, которые позволяют не только повысить уровень безопасности, но и минимизировать последствия различных инцидентов.

Одной из важнейших тенденций в обеспечении транспортной безопасности является внедрение интеллектуальных систем мониторинга и управления. Эти системы позволяют в режиме реального времени отслеживать работу транспортных узлов, состояние транспортных средств, инфраструктуру и окружающую среду. Например, системы мониторинга железнодорожного транспорта способны автоматически выявлять неисправности в подвижном составе или инфраструктуре и передавать информацию диспетчерам для принятия оперативных решений. Такой подход снижает вероятность аварий и минимизирует риск возникновения чрезвычайных ситуаций. Современные интеллектуальные системы способны не только отслеживать текущие условия, но и предсказывать возможные угрозы на основе анализа данных. Это достигается за счет применения технологий машинного обучения и искусственного интеллекта [1].

Сенсорные системы становятся важным элементом транспортной безопасности. Сенсорные устройства, установленные на транспортных средствах, мостах, дорогах и в туннелях, позволяют в режиме реального времени получать данные о состоянии объектов. Эти данные передаются на облачные платформы, где информация анализируется и обрабатывается с использованием алгоритмов машинного обучения. Например, датчики на железнодорожных путях могут фиксировать вибрации и выявлять потенциальные дефекты, что позволяет предотвратить аварии.

Симуляционные модели и анализ будущих событий играют ключевую роль в обеспечении транспортной безопасности, особенно в контексте прогнозирования и предотвращения чрезвычайных ситуаций. Эти технологии позволяют не только оценивать текущие риски, но и моделировать потенциальные сценарии развития событий, что помогает подготовить транспортные системы к различным вызовам.

Симуляционные модели – это виртуальные представления реальных процессов и объектов, которые используются для анализа и прогнозирования различных ситуаций в транспортных системах. Такие модели позволяют воспроизводить условия, максимально приближенные к реальным, и исследовать их без необходимости подвергать инфраструктуру и транспортные средства реальным испытаниям. Например, с помощью симуляций можно моделировать последствия аварий, терактов, природных катастроф или других чрезвычайных ситуаций и заранее разрабатывать эффективные стратегии реагирования.

Одним из главных преимуществ симуляционных моделей является возможность создания различных сценариев, которые могут включать множество факторов, таких как погодные условия, плотность движения, технические неисправности и человеческие ошибки. Эти сценарии позволяют выявить потенциальные слабые места в системе и принять меры по их устранению до возникновения реальной угрозы. Таким образом, симуляционные модели становятся незаменимым инструментом для подготовки транспортных компаний и властей к чрезвычайным ситуациям. Они дают возможность проводить учебные тренировки и тестировать оперативные планы действий, что повышает готовность к кризисным ситуациям.

Анализ будущих событий, в свою очередь, представляет собой процесс использования данных, статистических алгоритмов и технологий машинного обучения для прогнозирования будущих событий на основе имеющихся данных.

В транспортной сфере анализ будущих событий позволяет предсказывать возможные инциденты и чрезвычайные ситуации на основе анализа исторических данных, текущих условий и моделей поведения. Например, при анализе будущих событий можно использовать данные о движении транспортных средств, состоянии инфраструктуры, погодных условиях и техническом обслуживании для выявления потенциальных проблемных участков и предупреждения аварий.

Один из примеров успешного применения анализа будущих событий – использование этой технологии для прогнозирования поломок и отказов оборудования в транспортных системах. С помощью анализа данных о техническом состоянии транспортных средств и инфраструктуры можно заранее выявить аномалии и потенциальные неисправности, что позволяет проводить профилактическое обслуживание и предотвращать аварии. Это особенно актуально для железнодорожного транспорта, где внезапные поломки могут привести к серьезным катастрофам.

Таким образом, симуляционные модели и анализ будущих событий дополняют друг друга, создавая целостную систему прогнозирования и предотвращения чрезвычайных ситуаций. Симуляции позволяют протестировать различные сценарии и выявить слабые места в системе, а анализ будущих событий использует реальные данные для прогнозирования рисков и разработки стратегий реагирования. Внедрение этих технологий в транспортную инфраструктуру позволяет значительно повысить безопасность и устойчивость транспортных систем в условиях неопределенности и роста угроз.

В заключение следует отметить, что внедрение современных технологий в сферу транспортной безопасности требует комплексного подхода. Только при скоординированных усилиях государства, бизнеса и научных учреждений можно добиться создания эффективной системы прогнозирования и предотвращения чрезвычайных ситуаций на транспорте. Развитие цифровых технологий и их интеграция в транспортную инфраструктуру откроет новые горизонты для обеспечения безопасности и устойчивости транспортных систем.

Список литературы

1 Куницкий, П. А. Обучающий модуль «Транспортная безопасность» образовательного центра безопасности жизнедеятельности МЧС Республики Беларусь / П. А. Куницкий // Стратегии исследования в общественных и гуманитарных науках : сб. науч. тр. по материалам Междунар. науч.-практ. конф. (Белгород, 31 янв. 2022 г.). – Белгород : ООО Агенство перспективных научных исследований (АПНИ), 2022. – С. 6–9.

УДК 006.015.8

ВАРИАНТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПАТРУЛЬНЫХ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ПРИ ВОЗНИКНОВЕНИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ НА ТРАНСПОРТЕ

В. А. ЛОСЬ, В. В. ЛАВРЕНТЬЕВ, Е. С. ЛЕОНЧИК

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

В современном мире технологии активно внедряются в различные сферы жизни, в том числе и в обеспечение безопасности. Одним из инновационных решений в этом направлении становятся патрульные дроны, специально разработанные для поддержания порядка на дорогах города. В данном докладе мы рассмотрим PD-EMP – патрульный дрон с электромагнитным импульсом, который представляет собой передовую систему обеспечения дорожной безопасности [1].

PD-EMP – это высокотехнологичное устройство, разработанное для мониторинга и обеспечения соблюдения правил дорожного движения. Основные функции устройства включают:

1 Автоматизированный мониторинг

Дроны PD-EMP следят за порядком на дорогах, летая по заранее определенным маршрутам. Их действия автоматизированы при помощи программного обеспечения, встроенного в корпус дрона. Это позволяет обеспечить эффективный и надежный контроль за дорожной обстановкой.

2 Визуальное наблюдение

Патрульные дроны оснащены четырьмя лопастными вентиляторами и пирамидообразной конструкцией, что обеспечивает стабильный полет. С четырех сторон устройства установлены камеры, передающие изображение на встроенный компьютер дрона или монитор оператора. Это визуальное наблюдение позволяет выявлять нарушения правил дорожного движения.

3 Обработка данных и принятие мер

Система обработки данных, полученных от камер, позволяет дрону выявлять нарушения порядка или правил дорожного движения. В случае обнаружения таких нарушений, дрон автоматически принимает меры, предусмотренные специальным протоколом [2].

4 Управление оператором

PD-EMP предусматривает возможность частичного управления оператором в случае дорожного происшествия. В таких ситуациях дрон передает сигнал оператору, который может принять управление в свои руки, принимая необходимые решения [3].

PD-EMP использует передовые технологии, среди которых:

1 Электромагнитный импульс (EMP)

Одной из ключевых особенностей дрона является наличие встроенного EMP излучателя. В случае нарушения правил дорожного движения дрон может использовать EMP для временного отключения электронных систем в транспортных средствах нарушителей. Это обеспечивает безопасную остановку нарушителей и предотвращение потенциальных аварий.

2 Водородные топливные элементы

В более продвинутых моделях PD-EMP можно использовать мини водородные турбины для повышения энергоэффективности и продолжительности полета, а также водородные топливные элементы, вырабатывающие электроэнергию за счет беспламенной реакции синтеза водорода с кислородом воздуха на специальной мембране.

Преимущества использования PD-EMP:

1 Эффективность и скорость реакции: дроны мгновенно реагируют на нарушения, обеспечивая быстрое и эффективное восстановление порядка.

2 Безопасность: в случае опасных ситуаций оператор может принять управление в свои руки, минимизируя риски для человека.

3 Технологическая интеграция: использование передовых технологий, таких как EMP и водородные топливные элементы, делает PD-EMP высокоэффективным инструментом для обеспечения безопасности на дорогах.

Беспилотный летательный аппарат PD-EMP представляет собой инновационное решение в области обеспечения безопасности на дорогах. Его функциональность, автоматизированный подход и передовые технологии делают этот патрульный дрон эффективным инструментом для поддержания порядка и соблюдения правил дорожного движения.

Дальнейшие исследования и разработки в этой области могут привести к еще более совершенным системам обеспечения безопасности на дорогах.

Список литературы

1 Макушенко, Е. С. Перспективные сферы применения беспилотных летательных аппаратов / Е. С. Макушенко // Приоритеты новой экономики: энергопереход 4.0 и цифровая трансформация. – 2022. – С. 170–173.

2 Климовская, В. А. Применение передовых технологий для выявления административных правонарушений в области безопасности дорожного движения / В. А. Климовская, А. А. Булавкин // Проблемы применения законодательства об административной ответственности. – 2020. – С. 21–23.

3 Лукьянов А. Способ организации сети связи с применением беспилотных летательных аппаратов в подразделениях органов внутренних дел / А. Лукьянов, Д. Толстых, С. Д. Штепа // Информационные и телекоммуникационные технологии в противодействии экстремизму и терроризму : материалы III Всерос. науч.-практ. конф., Краснодар, 23 апреля 2020 г. – Краснодар : Краснодарский университет МВД России, 2020. – С. 74.

УДК 656.254

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СРЕДСТВ ФОТО-, ВИДЕОФИКСАЦИИ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ ДИСПЕТЧЕРСКОГО КОНТРОЛЯ НА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГАХ

Д. В. ЛЯПОРОВ, Я. В. ШУТОВ, П. А. КАЦУБО

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

В современных военных конфликтах одной из важнейших задач эксплуатации автомобильных дорог (далее – АД) является дорожно-комендантская служба (далее – ДКС), организуемая в целях обеспечения непрерывного руководства движением; поддержания установленной очередности, по-

рядка и дисциплины; контроля за соблюдением правил дорожного движения и мер маскировки; защиты, охраны и обороны участков (объектов) транспортной инфраструктуры [1].

Диспетчерский контроль за воинским движением и регулирование движения на участках АД с информированием участников движения о дорожной обстановке является одной из основных задач ДКС.

Организация диспетчерского контроля предусматривает обеспечение бесперебойного пропуска техники на АД в сложных условиях боевой обстановки, что требует четкого и непрерывного управления движением. Управление движением достигается непосредственным регулированием движения на АД посредством развертывания постов регулирования движения (далее – ПРД) [2].

В современных условиях ведения боевых действий важнейшим вопросом является сохранность жизни личного состава в местах выполнения боевых задач.

Для минимизации потерь личного состава на ПРД важно применять современные технологии и методы, обеспечивающие безопасность и оптимизацию процесса диспетчерского контроля:

- автоматизированные системы управления транспортом (использование системы светофорного регулирования и управления движением, которая позволяет снизить роль человека на ПРД и обеспечивает автоматическое регулирование транспортного потока);

- использование камер, датчиков и фотоловушек для мониторинга (установка приборов для наблюдения за дорожным движением может помочь операторам диспетчерского пункта отслеживать текущую обстановку на дороге, выявлять нарушения и реагировать на них, минимизируя необходимость физического присутствия на ПРД);

- системы коммуникации и управления (использование современных средств связи и управления (например, цифровые системы радиации или спутниковая связь) позволяет операторам быть на связи с ПРД без физического присутствия на месте);

Применение этих подходов позволяет эффективно выполнять задачи диспетчерского контроля за транспортным потоком и минимизировать риск для личного состава на ПРД.

Использование фотоловушек для фиксации проходящего транспорта широко распространено в области контроля скорости, учета нарушений и контроля за безопасностью дорожного движения, контроля выполнения установленного порядка и плана движения, что соответствует некоторым задачам, выполняемым ПРД в системе организации ДКС. Камеры возможно устанавливать на дорогах, светофорах, перекрестках и других местах, где необходимо контролировать передвижение техники и личного состава.

Обработка данных и записей с фотоловушек также может быть использована для контроля, учета проходящих машин, а также своевременного обнаружения диверсионно-разведывательных групп (далее – ДРГ) и впоследствии – их ликвидации [3].

Из проведенного анализа можно выделить основные принципы работы фотоловушек:

- 1 Детекция движения: фотоловушка оборудована датчиками движения, которые реагируют на изменение в инфракрасном спектре от нагретых объектов. Когда датчик регистрирует движение в зоне действия, он активирует камеру.

- 2 Фиксация изображения: камера фотоловушки срабатывает и фотографирует объект, вызвавший движение. Во многих моделях также может использоваться видеозапись.

- 3 Запись данных: полученное изображение или видео сохраняется на встроенной карте памяти или передается через сеть связи для хранения и анализа.

- 4 Уведомление обнаружения: в ряде случаев фотоловушка снабжена функцией отправки уведомлений или сигнализации обнаружения движения для оперативной реакции на происшествие.

Все фотоловушки делятся на две основные группы: с передачей данных оператору и без мобильной передачи данных.

Приборы с передачей данных целесообразно использовать с целью контроля за обстановкой на участках (объектах) транспортной инфраструктуры. При появлении объекта, излучающего тепло в зоне действия датчика прибора, он отправляет должностному лицу диспетчерского пункта фото или видео с камеры в момент срабатывания датчика. Фото или видео передается по сотовой сети благодаря установленной в фотоловушке сим-карты.

В настоящее время выпускаются камеры, поддерживающие 3G и 4G сети, по которым возможно передавать фото и видео.

Передача данных осуществляется:

1 На электронную почту (фото и видео практически не теряет качества).

2 С помощью мобильного приложения (возможность есть не на всех моделях фотоловушек).

3 Посредством передачи MMS (от англ. Multimedia Messaging Service – система передачи мультимедийных сообщений в сетях сотовой связи). Эта функция, как правило, доступна на моделях, которые передают информацию на электронную почту и мобильное приложение. Он оправдан только в местах, где недоступна мобильная интернет-связь, что является актуальным использованием в зоне проведения боевых действий, где зачастую есть только сотовая связь. Этот способ передачи данных имеет существенный недостаток – теряется качество видеоматериала.

Остальные функции мобильных фотоловушек такие же, как и у моделей без передачи данных. Фотоловушки без передачи данных используются, когда нет задачи оперативно реагировать на срабатывание датчика.

Отличаются друг от друга фотоловушки наличием различных настроек и качественными характеристиками.

Самые бюджетные приборы не имеют настроек (есть только кнопка включения). Такие приборы при каждом срабатывании датчика записывают на карту памяти 10-секундное видео и 3 фотографии [6].

Недостатком таких фиксаторов является низкое качество изображения.

После анализа можно выделить основные свойства фотоловушек:

1 Автономность и питание: приборы отличаются количеством используемых батареек, возможностью использования аккумуляторов, подключением внешних источников питания. Как правило, производители заявляют полгода автономной работы. Но это относится к работе в режиме ожидания. Реальная автономность зависит от количества срабатываний датчика, включений подсветки, настроенного разрешения записи, температуры на улице. Также они отличаются наличием мобильной передачи данных, качеством батареек. В данном случае необходимо обратить внимание на приборы, позволяющие работу от аккумуляторов, с разъемом внешнего питания от 12 В, так как это облегчает задачу найти необходимый источник питания.

2 Поддержка карт памяти: основное количество ловушек поддерживает карты памяти до 128 Гб.

3 Разрешение записи достигает: фото до 36 Мп и видео 4 К.

4 Наличие и размер дисплея: дисплей нужен для настроек прибора на месте и проверки записей. Без дисплея настраивать можно только, если подключить к портативному компьютеру (далее – ПК) саму ловушку и записать настройки на карту памяти на ПК или через мобильное приложение.

5 Инфракрасная (далее – ИК) подсветка бывает невидимая (950 нм) и видимая (видно красные точки на камере 850 нм). Невидимая более скрытая от обнаружения, но она менее мощная и потребляет больше энергии. Кроме этого, ИК подсветка различается по дальности: от 10 до 36 метров.

6 Наличие лазерного целеуказателя: возможность настроить направление камеры ловушки на место возможного появления объекта.

7 Дальность действия и угол охвата ИК датчика. Дальность варьируется от 8 до 35 метров, угол до 120°. Необходимо учитывать, что угол должен быть шире, чем угол обзора камеры, так как между срабатыванием камеры и снимком есть порядка 1 секунды времени. Снимок, сделанный на расстоянии 30 метров, будет неинформативным ввиду плохого качества изображения.

8 Скорость срабатывания триггера – это временной промежуток между срабатыванием датчика и производством снимка. Важно, чтобы этот показатель был как можно меньше, чтобы не получить пустой снимок.

9 Снимки по расписанию: на некоторых приборах есть режим записи не по срабатыванию датчика, а по расписанию. Эта функция нужна для фиксации какого-либо долговременного процесса, например для фиксации действий противника на занимаемой территории.

10 Угол обзора камеры: бывает от 50° до 120°. Если необходимо детализированное изображение крупного плана, рационально использовать прибор с меньшим углом обзора. В случае, если важно выявление объекта срабатывания датчика и охват большей территории, то рационально использовать прибор с большим углом обзора.

11 Рабочие температуры. Большинство ловушек рассчитано на температуру от –30 до +50 °С.

12 Промежуток времени между снимками. Практически на всех моделях есть возможность настроить минимальный промежуток времени между снимками. Это необходимо для ловушек с передачей данных, чтобы при постоянном наличии объекта перед камерой не отправлялись один за другим одинаковые снимки.

13 Существуют модели с возможностью фиксации координат на снимки.

14 Наличие вспышки белого цвета: функция для получения красочного цветного изображения ночью, но при применении в разведывательных целях эта функция является демаскирующей.

При установке фотоловушек следует учитывать следующие факторы:

- закреплять прибор необходимо на неподвижном объекте;
- избегать попадания солнечных лучей на камеру и датчик;
- максимально замаскировать фотоловушку;
- не допускать наличия посторонних предметов между потенциальным объектом съемки и камерой [4].

Применение фотоловушек в боевых действиях может иметь несколько целей, таких как сбор разведывательной информации, обнаружение противника, наблюдение за перемещением вражеской техники и личного состава противника, в том числе мониторинга участков (объектов) транспортной инфраструктуры.

С совершенствованием технологий фотоловушки стали более доступны и эффективны в использовании, что делает их важным инструментом в выполнении задач ДКС.

Если рассматривать перспективы развития фото- и видеофиксации применения в зонах боевых действий, наиболее успешным и надежным будет использование спутниковых каналов связи посредством передачи данных оператору (аналог глобальной спутниковой системы «Starlink» компании «SpaceX»).

Альтернативным способом является передача данных с фотоловушки оператору через ретранслятор, в качестве которого может выступать беспилотный летательный аппарат (далее – БЛА), что позволит увеличить эффективность использования и защиту передаваемой информации. Этот способ является трудоемким, так как он требует разработки и изготовления модулей связи и внедрения их в системы БЛА. Однако БЛА-ретрансляторы применяются в зоне специальной военной операции для увеличения дальности управления и связи FPV-дронов-камикадзе (от *англ.* First-Person View – вид от первого лица).

В том числе необходимо рассмотреть возможность подключения к существующей системе фото- и видеоконтроля движения на автомобильных дорогах по согласованию с уполномоченными должностными лицами Государственной автомобильной инспекцией Министерства внутренних дел.

При изучении опыта современных военных конфликтов, проводимых учений необходимо рассмотреть опыт Амурского общевойскового объединения Восточного военного округа, в котором разведчики провели тренировку, где для обнаружения диверсионно-разведывательных групп условного противника использовали фотоловушки [3].

Диверсантам необходимо было незаметно проникнуть на территорию объединения, заминировать важные объекты и условно уничтожить командиров. На подступах к объекту были установлены камеры фотофиксации, которые зафиксировали условного противника и передали снимки оператору.

Устройства были установлены и замаскированы естественными средствами с учетом рельефа и особенностей местности. В случае обнаружения фотоловушкой движения она осуществляла передачу информации об обнаруженном объекте по беспроводной связи на командный пункт через беспилотный летательный аппарат. Такой метод можно использовать для разведки как в дневное, так и в ночное время, а также чтобы в значительной мере экономить ресурсы разведывательного подразделения для поиска и обнаружения ДРГ.

Обнаруженные группы были выслезены и уничтожены [5]. Данная методика взята из опыта, полученного при проведении специальной военной операции.

Фотоловушки позволяют автоматически регистрировать и фиксировать проходящие объекты или людей, обеспечивая важные данные для обнаружения, наблюдения, обеспечения безопасности или зонального мониторинга определенной территории.

Таким образом, использование фотоловушек имеет ряд преимуществ и недостатков.

К плюсам можно отнести скрытность установки (многие устройства имеют соответствующую маскирующую окраску), автономность работы (до полугода в режиме ожидания), работу в широком диапазоне температур (от -30 до $+50$ °C), оперативность передачи данных оператору, трудоемкость перехвата передаваемой информации (в случае использования спутниковой связи или с помощью ретранслятора-БЛА), невозможность определения местонахождения оператора (так как оператор работает только «на прием»), возможность вести качественную съемку в ночных условиях (при наличии инфракрасного модуля).

К недостаткам относятся сложность передачи информации (обязательное наличие мобильного интернета или сотовой связи в зоне установки), небольшая зона обзора камеры (до 120°), невысокая дальность обнаружения объекта (до 35 м), возможность перехвата передаваемой информации противником.

В том числе необходимо учитывать, что при обнаружении установленной фотоловушки противник может целенаправленно использовать ее для введения в заблуждение оператора, например путем многократных действий в ее поле зрения групп военнослужащих или подразделений с целью имитации прохода на данном направлении крупных сил. Или, наоборот, заметив фотоловушку, избегать попадания в ее поле зрения своих сил.

Список литературы

- 1 Наставление по комендантской службе, утвержденное приказом Начальника Генерального штаба Вооруженных Сил – первым заместителем Министра обороны Республики Беларусь от 26.11.2021 № 677.
- 2 Методические рекомендации по дорожно-комендантской службе. ДТрО. – Минск, 2016.
- 3 Что такое фотоловушка? [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://videogorod.ru/blog/chto-takoe-fotolovushka/>. – Дата доступа : 25.09.2024.
- 4 Сравнительный анализ фотоловушек и лесных камер [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://fotolovushki.ru/blog/fotolovushki-sravnenie/>. – Дата доступа : 25.09.2024.
- 5 В Амурской области военные использовали фотоловушки против диверсантов [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://hab.mk.ru/social/2023/04/20/v-amurskoj-oblasti-voennye-ispolzovali-fotolovushki-protiv-diversantov.html>. – Дата доступа : 25.09.2024.
- 6 Как это работает [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://naked-science.ru/article/nakedscience/kak-eto-rabotaet-kamery>. – Дата доступа : 25.09.2024.

УДК 656.2.08

БЕЗОПАСНОСТЬ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Д. В. МАЛАШКОВ, Д. В. ШАМКИН, Н. М. ЗВЕЗДКИН, В. Н. ВОРЕПО
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Наряду с бесспорными достоинствами автомобилизации, появляется тенденция к увеличению человеческих и материальных потерь вследствие аварий, связанных с транспортными средствами. Автомобиль представляет собой потенциальный источник повышенной опасности для людей, которая резко возросла в последние годы в результате роста мощности двигателей и скорости движения. В связи с этим требования к конструктивной безопасности транспортных средств возрастают.

Безопасность транспортного средства подразумевает такие эксплуатационные и динамические качества, которые уменьшают вероятность дорожно-транспортного происшествия (ДТП), а в случае его возникновения исключают травмы водителя, пассажиров и снижают их последствия.

Конструктивная безопасность транспортного средства включает в себя активную, пассивную, послеаварийную и экологическую безопасность транспортного средства.

Активная безопасность – это свойство транспортного средства предотвращать дорожно-транспортное происшествие (снижать вероятность его возникновения). Активная безопасность проявляется в период, соответствующий начальной фазе дорожно-транспортного происшествия, когда водитель еще в состоянии изменить характер движения транспортного средства (ТС).

Активная безопасность транспортного средства зависит от его конструкции: габаритных и весовых параметров, тяговой и тормозной динамичности, устойчивости и управляемости.

Конструктивная безопасность является одним из обобщенных свойств ТС. Для количественной характеристики применяют показатели эксплуатационных (минимальный тормозной путь, максимальное замедление, критические скорости по условиям заноса и опрокидывания и т. п.) и других свойств [1].

Под пассивной безопасностью подразумевается комплекс эксплуатационных свойств транспортного средства, обеспечивающих снижение тяжести последствий ДТП. Пассивная безопасность вступает в действие, если водителю не удалось избежать аварии, и обеспечивает уменьшение инерционных нагрузок на водителя и пассажиров, ограничение перемещения их в кабине, защиту от травм, увечий при ударе, устранение возможности выбрасывания из кабины в момент столкновения.

Различают внутреннюю и внешнюю пассивную безопасность. Под внутренней пассивной безопасностью понимают свойства транспортного средства, снижающие тяжесть последствий ДТП для водителя и пассажиров, которые находятся в транспортном средстве. Внешняя пассивная безопасность – свойства транспортного средства, позволяющие снизить тяжесть последствий для других участников ДТП (пешеходов, водителей и пассажиров других транспортных средств).

Послеаварийная безопасность – это свойства транспортного средства снижать тяжесть последствий ДТП.

К элементам послеаварийной безопасности относятся конструктивные свойства автомобиля, предотвращающие возникновение опасных явлений (пожар, заклинивание дверей), которые возникают в результате ДТП. К элементам послеаварийной безопасности можно также отнести средства аварийной сигнализации и связи, средства оказания медицинской помощи пострадавшим в результате ДТП.

Наибольшую опасность для водителя и пассажиров представляет возгорание транспортного средства. Хотя, по данным статистики, вероятность возгорания при ДТП составляет 0,3–1,2 %, оно приводит к тяжелейшим последствиям.

Взаимосвязь различных видов безопасности и противоречивость требований, предъявляемых к конструкции транспортных средств, вынуждают конструкторов и технологов принимать компромиссные решения [2].

Экологическая безопасность – это свойство автомобиля, позволяющее уменьшать вред, наносимый участникам движения и окружающей среде в процессе его нормальной эксплуатации. Мероприятиями по уменьшению вредного воздействия автомобилей на окружающую среду следует считать снижение токсичности отработавших газов и уровня шума.

Ярким примером неблагоприятного влияния развития производства на окружающую среду может служить автомобилизация. Автомобили оказывают вредное воздействие на природу и человека, так как в отработанных продуктах содержатся опасные для здоровья и окружающей среды компоненты, при движении автомобилей возникает шум.

При дорожно-транспортных происшествиях наносится материальный ущерб (уничтожение и повреждение грузов, транспортных средств и сооружений) и возможны гибель и ранение людей. По данным Всемирной организации здравоохранения на автомобильных дорогах мира ежегодно гибнет (в том числе и от послеаварийных травм) свыше 900 тыс. человек, несколько миллионов становятся калеками, а свыше 10 млн человек получают травмы.

Источником загрязнения и истощения окружающей среды стала как сама трасса, так и её инженерные сооружения, объекты обслуживания, особенно места хранения нефтепродуктов, автозаправочные станции, станции технического обслуживания, мойки и т. п.

В отдельных городах и их агломерациях под воздействием автомобильного транспорта и других источников загрязнения образовались предельные экологические состояния, что препятствует устойчивому их развитию и требует кардинальных решений по улучшению их коммуникационной инфраструктуры [1].

Основными мероприятиями по предотвращению и уменьшению вредного воздействия автомобилей на окружающую среду следует считать:

1) разработку таких конструкций автомобилей, которые меньше загрязняли бы атмосферный воздух токсичными компонентами отработавших газов и создавали бы шум более низкого уровня;

2) совершенствование методов ремонта, обслуживания и эксплуатации автомобилей с целью снижения концентрации токсичных компонентов в отработавших газах, уровня шума, производимого автомобилями, и загрязнения окружающей среды эксплуатационными материалами;

3) соблюдение при проектировании и строительстве автомобильных дорог, инженерных сооружений, объектов обслуживания таких требований, как вписывание объекта в ландшафт; рациональное сочетание элементов плана и продольного профиля, обеспечивающее постоянство скорости движения автомобиля, защита поверхностных и грунтовых вод от загрязнения, борьба с водной и ветровой эрозией, предотвращение оползней и обвалов; сохранение животного и растительного мира, сокращение площадей;

4) использование средств и методов организации и регулирования движения, обеспечивающих оптимальные режимы движения и характеристики транспортных потоков, сокращение остановок у светофоров, числа переключения передач и времени работы двигателей на неустановившихся режимах [2].

Основными загрязняющими веществами при эксплуатации автотранспорта, строительстве дорог и дорожных сооружений являются:

- выхлопные газы;
- нефтепродукты при их испарении;
- пыль;
- продукты истирания шин, тормозных колодок и дисков сцепления, асфальтовых и бетонных покрытий.

Список литературы

- 1 Безопасность транспортных средств / В. А. Гудков [и др.]. – М. : Горячая линия – Телеком, 2010. – 431 с.
- 2 Яхьяев, Н. Я. Безопасность транспортных средств / Н. Я. Яхьяев. – М. : Academia, 2011. – 432 с.

**ИННОВАЦИОННЫЕ ПОДХОДЫ
В РАЗВИТИИ ВОЕННО-ПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
КАК СДЕРЖИВАЮЩИЙ ФАКТОР АГРЕССИИ
НЕДРУЖЕСТВЕННО НАСТРОЕННЫХ СТРАН БЛОКА НАТО**

*А. В. МАРДАНОВ, Е. В. СЛАВНИКОВ, Н. С. МАТУЗКО, В. А. БУЛЫБЕНКО
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В настоящее время в связи со сложившейся ситуацией у границ Республики Беларусь (далее – РБ), связанной с нагнетанием обстановки недружественно настроенными странами коллективного Запада и с обострением возникновения вооруженного конфликта с ранее положительно настроенными братскими народами, остро встал вопрос о стратегическом развитии собственного военно-промышленного комплекса (далее – ВПК) в целях обеспечения национальной безопасности государства. Возникла необходимость производства боеприпасов к стрелковому оружию и артиллерийским системам, ракетного оружия, танков и другого вооружения и военно-специальной техники (далее – ВВСТ). Такое решение повысит обороноспособность РБ и стабильность в регионе, а также уровень безопасности государства [1].

Развитие производства ВВСТ однозначно приведет к увеличению военно-технического потенциала нашего государства. Однако некоторые соседние страны могут воспринять это как угрозу и принять противодействующие меры. Чтобы не обострять обстановку у наших границ, спровоцировав гонку вооружений, развитие производства ВВСТ необходимо осуществлять в рамках международных законов, регулирующих данный вопрос.

Новая стратегия увеличения объемов производства ВВСТ предусматривает значительное увеличение продукции, что будет достигнуто за счет расширения ассортимента продукции ВПК.

Для реализации новой стратегии планируется привлечение инвестиций, которые будут направлены на модернизацию и обслуживание оборудования, разработку новых цифровых технологий, повышение квалификации и компетенций персонала. В свою очередь, инвесторы получают партнерские преимущества и долю в прибыли.

Увеличение производства ВВСТ с внедрением более современных технологий позволит создать новые рабочие места и повысить экспортный потенциал военной продукции [3]. Расширение ассортимента и увеличение объемов производства вооружения делает производимую продукцию более конкурентноспособной на мировом рынке (рисунок 1). В свою очередь это позволит увеличить экспортную валютную выручку страны.



Рисунок 1 – Современные образцы военной техники Республики Беларусь

Согласно ближайшим планам введение в эксплуатацию новых производственных линий на местных предприятиях страны позволит в значительной степени увеличить объемы производства вооружения и техники. В ближайшее время планируется значительно нарастить выпуск ВВСТ, включая боевые машины пехоты, самолеты, вертолеты и др. Ожидается, что увеличение производ-

ства вооружения на местных предприятиях Республики позволит повысить обороноспособность государства и обеспечить безопасность на долгие годы. Работы в этой сфере ведутся давно и финансирование на различных этапах предоставлялось государством, несмотря на трудные экономические условия. Реализация планов по наращиванию производства ВВСТ на местных предприятиях является приоритетной задачей правительства и антикризисной мерой в текущих условиях существования [2].

Одним из возможных способов увеличения производства и сокращения затрат на производство боеприпасов и ВВСТ является автоматизация и роботизация производственных процессов. Это позволит сократить ручной труд и снизить риски для работников при работе с опасными материалами.

Применение робототехники в производстве также может повысить точность изготовления и качество наиболее важных узлов и механизмов в ВВСТ, что в свою очередь снизит количество брака и повысит качество выпускаемой продукции. Белорусские инженеры и разработчики уже работают над созданием собственных роботов и налаживанием автоматизированных производственных линий.

Одной из перспективных технологий для создания современного производства ВВСТ является 3D моделирование. Это может значительно сократить время на создание прототипов, одновременно улучшая их качество. С помощью 3D печати можно создавать отдельные детали, узлы и механизмы, а также инструменты для обслуживания, что в свою очередь снизит затраты и даст определенный экономический эффект (рисунок 2).

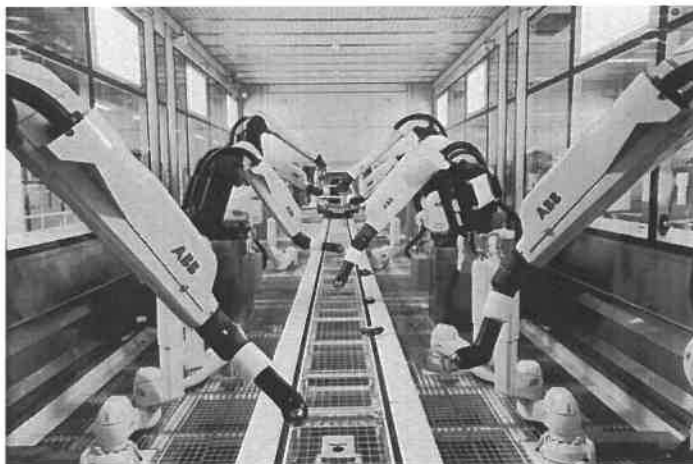


Рисунок 2 – Применение робототехники

В будущем возможно внедрение таких технологий, как нано- и биотехнологии. Данные технологии позволят создать новые материалы и оборудование с уникальными свойствами, такими как повышенная прочность, долговечность и др.

На данном этапе для оптимизации производственных процессов могут быть внедрены различные системы автоматизированного управления производством и работами (далее – САУПР). САУПР позволит собрать все этапы производства на одной площадке, контролировать состояние процессов и оперативно реагировать на ошибки. Благодаря повышенной автоматизации производства, системам контроля и управления производственными процессами будет обеспечена стабильность и надежность производства, повысится качество выпускаемой продукции и будут значительно снижены расходы на производство в целом.

Список литературы

1 Коротков, А. В. Экономическая эффективность инновационной политики в Республике Беларусь / А. В. Коротков, Ю. Э. Морозова // Веснік БДУ. Сер. 3. – 2008. – № 2. – С. 71–75.

2 Гурулев, С. П. Оборонный сектор экономики Беларуси. Грани сотрудничества [Электронный ресурс] / С. П. Гурулев // Оборонно-промышленный комплекс России. – Режим доступа : https://vpk.gov.by/news/publications/oboronnyy_sektor_ekonomiki_belarusi_grani_sotrudnichestva_statya_predsedatelya_gosudarstvennogo_voen.html. – Дата доступа : 23.09.2024.

3 Визитная карточка белорусского военпрома // Журнал государственного военно-промышленного комитета Республики Беларусь. – № 02 (48). – 2023. – С. 58.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИТУАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЭКИПАЖЕЙ И ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ РЕЧНОГО И МОРСКОГО СУДОХОДСТВА ЗА СЧЕТ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ПОГРУЗОЧНО-РАЗГРУЗОЧНЫХ РАБОТ ТРАВЕРЗНЫМ СПОСОБОМ

Д. С. МИЗГИРЕВ, В. Н. ВЛАСОВ, Т. Д. ТУТЫНИН

*Волжский государственный университет водного транспорта, г. Нижний Новгород,
Российская Федерация*

Аварийные ситуации на реке и море требуют оперативного и эффективного реагирования для минимизации последствий и предотвращения их дальнейшего катастрофического развития. Поэтому обеспечение безопасности судоходства является одной из наиболее актуальных задач для морской индустрии. Плавательные средства неизменно подвергаются рискам, связанным с различными аварийными ситуациями.

Виды возникновения аварийных случаев:

– навигационные: столкновение; посадка судна на грунт; потеря остойчивости, плавучести; невозстановившийся аварийный крен или дифферент; опрокидывание; другие повреждения и материальные убытки по причинам, связанным с судовождением и влиянием внешних условий, которые не перечислены выше;

– технические: повреждения механизмов, которые обеспечивают движение судна; повреждение механизмов, обеспечивающих нормальную эксплуатацию судна, судовых электростанций; повреждение корпуса судна и его элементов в результате внешнего влияния коррозии, физического износа и т. д.; другие технические повреждения;

– взрывы, пожары;

– другие повреждения.

Для разрешения или облегчения последствий аварийных ситуаций зачастую требуется экстренная передача грузов или эвакуация пассажиров и членов экипажа с аварийного судна. Одним из вариантов решения данной задачи, особенно в случаях, когда плавсредства не могут быть пришвартованы друг к другу (штормовые метеоусловия, пожар, сопровождающийся разливом нефтепродуктов и т. п.) является траверзный способ перегрузки.

Траверзный способ – это один из бесконтактных способов перегрузки. Коренной конец грузового леерного устройства закрепляется на принимающем судне (рисунок 1), ходовой конец выводится на барабан лебедки, которая размещена на передающем судне. По лееру с помощью оттяжек перемещается канифас-блок с грузом. Его движение происходит с помощью лебедки.

Для предотвращения разрыва леера в случае изменения расстояния между кораблями необходимо на протяжении всей перегрузки смотреть за натяжением леера и травить его в случае необходимости [1]. Отсюда вытекает главный недостаток траверзного способа передачи грузов – необходимость точного управления лебедками. Следует отметить сложность автоматизации этого процесса: на акватории происходит постоянное изменение взаимного расположения в пространстве точек крепления концов грузовой системы на обоих судах как по вертикали (при попадании корпусов попеременно на гребень и подошву волны), так и по горизонтали (вследствие бортовой и килевой качки).

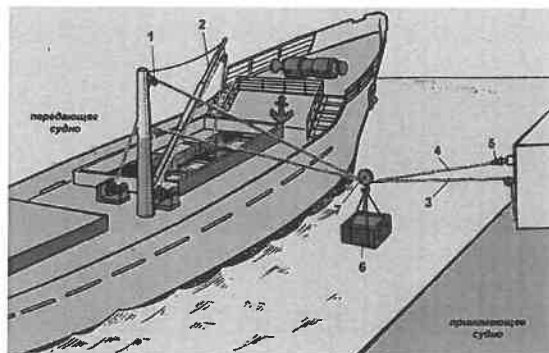


Рисунок 1 – Траверзный способ перегрузки:

1 – блок; 2 – грузовая стрела; 3 – оттяжки; 4 – грузовой леер; 5 – глаголь-гак; 6 – контейнер с грузом; 7 – канифас-блок

На передающем судне груз из трюма поднимают грузовой стрелой и помещают в контейнер, стоящий на палубе этого судна. После присоединения стропов контейнера к подвижному канифас-блоку лебедчик на передающем судне натягивает грузовой леер, после чего контейнер с грузом поднимается над фальшбортом, по сигналу с передающего судна лебедчик на принимающем судне вытирает оттяжку, передвигая контейнер по лееру. Как только контейнер окажется над палубой принимающего судна, лебедчик передающего судна травит грузовой леер, опуская контейнер с грузом на палубу принимающего судна [2]. Чтобы леер не порвался из-за изменения расстояния между бортами, необходимо постоянно следить за тем, как он натянут, и травить его в случае необходимости.

Перегрузка может осуществляться при стоянке на якорю, в дрейфе и на ходу.

Проблема при использовании способа состоит в том, что грузовой леер при передаче груза должен находиться в постоянном натяжении. При этом одновременно должны быть обеспечены два условия. Во-первых, натяжение должно быть достаточно для того, чтобы груз не касался воды на всем пути между принимающим и передающим судами. Во-вторых, натяжение во все моменты времени транспортировки не должно превышать предела текучести материала троса.

Усложняет задачу и то, что в процессе перегрузочных операций вследствие качки и дрейфа судов расстояние между ними постоянно варьируется, что требует оперативной компенсации длины грузового леера и затрудняет автоматизацию процессов грузовых операций.

В настоящее время для компенсации длины леера в относительно малых диапазонах изменения (вызванных бортовой и килевой качкой) используют автоматические пружинные и гидравлические амортизаторы с полиспадами, однако значительные изменения, вызванные взаимными перемещениями судов, как правило, требуют непосредственного участия человека [3].

Главным условием обеспечения безопасности при траверзном способе является соблюдение длины несущего троса, при которой натяжение неизменно:

$$\frac{dl}{dt} = f\left(\frac{dx_1}{dt}, \frac{dy_1}{dt}, \frac{dz_1}{dt}, \frac{dx_2}{dt}, \frac{dy_2}{dt}, \frac{dz_2}{dt}\right), \quad (1)$$

где $\frac{dl}{dt}$ – изменение длины несущего троса во время процесса перегрузки;

$\left(\frac{dx_1}{dt}, \frac{dy_1}{dt}, \frac{dz_1}{dt}, \frac{dx_2}{dt}, \frac{dy_2}{dt}, \frac{dz_2}{dt}\right)$ – изменение координат первого и второго судов во время процесса перегрузки по соответствующим осям.

Таким образом, разработка математического описания с учетом всех влияющих на процесс перегрузки факторов и сформулированные на их основе рекомендации позволят обеспечить безопасность экипажей и технических средств при рассматриваемом способе перегрузки.

Список литературы

1 **Бородин, Е. Л.** Управление судном при передаче грузов в море траверзным способом : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.19 / Е. Л. Бородин. – 2009. – 23 с.

2 **Шарлай, Г. Н.** Матрос морского судна : учеб. пособие / Г. Н. Шарлай. – Владивосток : Мор. гос. ун-т, 2013. – 287 с.

3 **Мизгирев, Д. С.** Проблема поведения элементов грузовой системы судна на волнении при выполнении перегрузочных работ бесконтактным способом / Д. С. Мизгирев, В. Н. Власов, Т. Д. Тутынин // Морские технологии: проблемы и решения : сб. ст. – М. : Инфинити, 2023. – С. 120–124.

УДК 625.7/.8

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОФИЛАКТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ

В. В. ПЕТРУСЕВИЧ, В. В. ТОМАШОВ, Я. В. ШУТОВ, Р. Ю. ДОЛОМАНЮК

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

На протяжении последних 20 лет значительно увеличивается парк автотранспортных средств в Республике Беларусь, а следовательно, и интенсивность движения на дорогах с пропорциональным ростом изнашивания и разрушения их покрытий. Потребность в защите асфальтобетонных покрытий

от преждевременных разрушений диктует поиски новых технологических решений. Для эффективной защиты асфальтобетонных покрытий от комплексного воздействия воды и транспортных нагрузок в осенне-зимний и весенне-зимний период был разработан и внедрен один из вариантов защиты асфальтобетонного покрытия автомобильной дороги – обработка их составом гидрофобным профилактическим «ПРОТЕКТ-01» [1].

Прибыль от внедрения разработки и срок окупаемости проекта могут быть определены на основе методики оценки эффективности инвестиций, рассмотренной в [2, с. 4–8; 3, с. 76–82].

При реализации профилактической обработки прибыль, которую принесет проект при его реализации,

$$\Pi_{\text{проф}} = C - Z_{\text{проф}}, \quad (1)$$

где C – укрупненные затраты на текущий ремонт 1 км асфальтобетонного покрытия автомобильной дороги по категориям за 1 год, руб. (при периодичности текущего ремонта 1 раз в 3 года), представлены в таблице 1 [3, с. 96]; $Z_{\text{проф}}$ – суммарные укрупненные затраты на текущий ремонт 1 км асфальтобетонного покрытия автомобильной дороги по категориям за 1 год с учетом внедрения профилактической обработки, руб.,

$$Z_{\text{проф}} = C_1 + C_{\text{проф}} + C_3, \quad (2)$$

C_1 – укрупненные затраты на текущий ремонт 1 км для обработанного СГП асфальтобетонного покрытия автомобильной дороги, лет; $C_{\text{проф}}$ – стоимость СГП на 1 км по категориям дороги [4, с. 11], руб.; C_3 – стоимость 1 маш.ч автогудронатора, руб. [3, с. 119].

Таблица 1 – Укрупненные затраты на текущий ремонт 1 км асфальтобетонного покрытия автомобильной дороги за 1 год

В рублях					
Тип покрытия	I-a (6 полос)	II	III	IV	V
Асфальтобетонное	240786	181428	91278	78729	65361

Межремонтный период для обработанного профилактическим составом асфальтобетонного покрытия согласно методике, приведенной в [5, с. 18–23],

$$T_{\text{обр}} = T_n (P_{\text{тр}} / P_n)^M, \quad (3)$$

где T_n – нормативная периодичность текущего ремонта; $P_{\text{тр}}$ – требуемый уровень надежности; P_n – уровень надежности, при котором обеспечивается нормативный срок службы покрытия, $P_n = 0,8 \dots 0,9$ [5, с. 18–23]; M – показатель, зависящий от типа дорожной одежды, $M = 1,0 \dots 1,3$ [5, с. 18–23].

Требуемый уровень надежности [5, с. 18–23]

$$P_{\text{тр}} = \sqrt[N]{P_1 P_2 \dots P_N}, \quad (4)$$

где P_N – уровень надежность по определенному показателю; N – количество определенных уровней надежности.

Для асфальтобетонного покрытия, обработанного СГП, определим следующие уровни надежности.

1 Уровень надежности по коэффициенту морозостойкости [5, с. 18–23]

$$K_{\text{мрз}} = \frac{K_{\text{мрз проф}}}{K_{\text{мрз чис}}}, \quad (5)$$

где $K_{\text{мрз проф}}$ – коэффициент морозостойкости асфальтобетона, обработанного СГП, $K_{\text{мрз проф}} = 0,90$; $K_{\text{мрз чис}}$ – коэффициент морозостойкости необработанного асфальтобетона, $K_{\text{мрз чис}} = 0,81$.

Тогда $K_{\text{мрз}} = 1,11$, а соответствующий ему уровень надежности $P_1 = 0,91$ [5, с. 45].

2 Уровень надежности по показателю водонасыщения

$$K_{\text{вод}} = \frac{K_{\text{вод чис}}}{K_{\text{вод проф}}}, \quad (6)$$

где $K_{\text{вод чис}}$ – показатель водонасыщения необработанного асфальтобетона типа В, $K_{\text{вод чис}} = 2,0$. $K_{\text{вод проф}}$ – показатель водонасыщения асфальтобетона типа В, обработанного СГП, $K_{\text{вод проф}} = 1,6$;

Тогда $K_{\text{вод}} = 1,25$, соответствующий ему уровень надежности $P_1 = 0,94$ [5, с. 45].

С учетом полученных значений $P_{\text{тр}} = 0,93$.

Межремонтный период для обработанного СГП асфальтобетонного покрытия

$$T_{\text{обр}} = T_{\text{н}} (0,93 / 0,8)^{1,3} = 1,22 T_{\text{н}}. \quad (7)$$

Список литературы

1 Гидрофобный состав для профилактической обработки асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог : пат. ВУ 24097 / Д. И. Бочкарев, В. В. Петрусевич. – Опубл. 30.10.2023.

2 Методические рекомендации по оценке эффективности научных, научно-технических и инновационных разработок и их внедрения [Электронный ресурс] : постановление ГКНТ Респ. Беларусь, 20 апр. 2017 г., № 9 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2017.

3 Царенкова, И. М. Экономическая оценка инвестиционных проектов в дорожном хозяйстве : учеб.-метод. пособие / И. М. Царенкова, Р. Б. Ивуть. – Гомель : БелГУТ, 2015. – 130 с.

4 СН 3.03.04-2019. Автомобильные дороги = Аўтамабільныя дарогі – Введ. 2020-07-22. – Минск : Минстройархитектуры Респ. Беларусь, 2020. – 61 с.

1 Веренько, В. А. Надежность дорожных одежд : пособие / В. А. Веренько. – Минск : БГПА, 2002. – 120 с.

УДК 624.86:349.6

ПРИМЕНЕНИЕ НЕТИПОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ И ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ ПРЕОДОЛЕНИЯ ВОДНЫХ ПРЕГРАД ПРИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

Е. В. ПЕЧЕНЕВ, П. А. КАЦУБО

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

События, происходящие по всему миру в сфере чрезвычайных ситуаций, заставляют по новому посмотреть на основы безопасности транспортных коммуникаций и водных преград в целом. Наводнения в странах Европы, унесшие жизни сотни людей, демонстрируют безжалостное поведение бушующих рек. Передовые технологии в сфере контроля и оповещения о чрезвычайных ситуациях, постоянный мониторинг метеорологических условий, современная техника, оснащение и оборудование служб чрезвычайных ситуаций – все эти меры и условия все равно не обеспечивают безопасность мирного населения от природных явлений [1].

Так в ходе проведения мониторинга паводковых обстановок в Гомельской области выявлены факты подтоплений множества объектов. 10 марта 2024 года в реке Сож уровень воды составлял 524 см над нулем поста. В Гомельской области по состоянию на 9 марта 2024 года подтоплены 146 жилых домов, 34 подвала, 496 подворий, 234 хозяйственные постройки, 36 участков дорог и 159 других зданий. Паводок в данных регионах Республики Беларусь происходит с большой периодичностью и не является чем-то необычным, однако население зачастую не готово как к стихии в целом, так и к вопросам эвакуации с места происшествия.

Одной из главных проблем при внезапном затоплении является отсутствие специальных средств и мостовых конструкций пешеходных наплавных мостов для организации эвакуации застигнутых врасплох граждан. Недостаточное количество инвентарных конструкций, а также плавательных средств не позволяет своевременно и качественно производить эвакуацию жителей населенных пунктов, где произошло чрезвычайное происшествие. Иметь большое количество данных средств, распределенных по большой области вероятных затоплений, – тяжелая финансовая и логистическая задача.

Применение нетиповых конструкций и подручных материалов является одним из решений данной проблемы на локальных участках стихийного бедствия. Примеры таких решений представлены на рисунке 1.

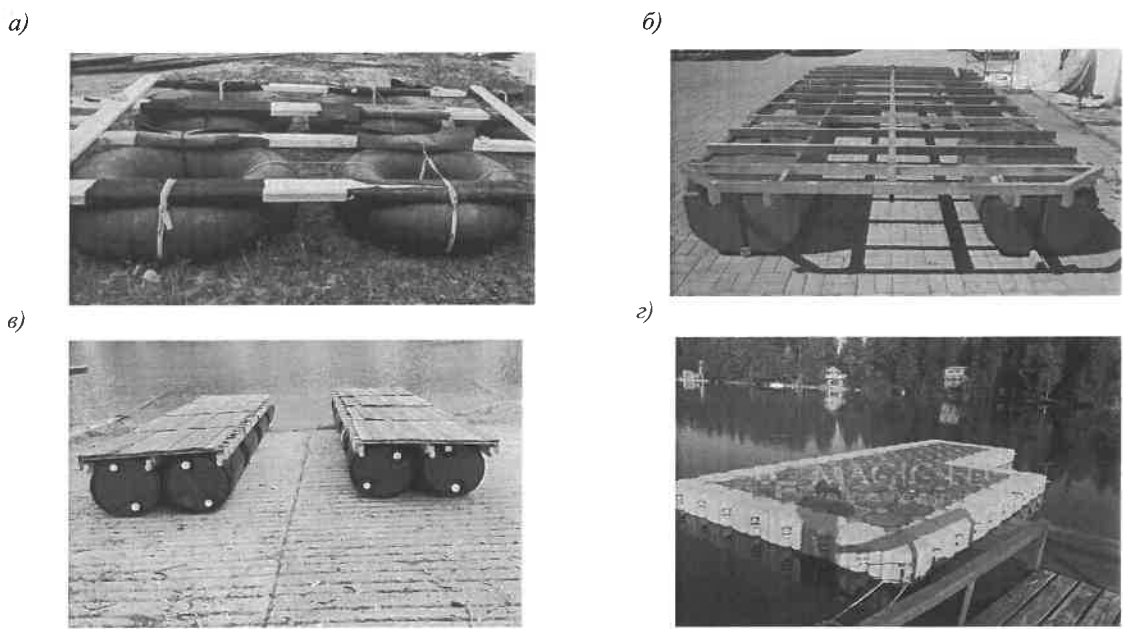


Рисунок 1 – Нетиповые решения конструкций для преодоления водных преград:
а – автомобильные камеры; *б* – специализированные формы; *в* – пластиковые бочки; *г* – инвентарные конструкции плавучих пирсов

Данные конструкции можно заготавливать как заблаговременно на местах складирования (особо опасных участках и в наиболее труднодоступных местах), так и непосредственно в период чрезвычайной ситуации изготавливать кустарным методом.

Одним из предложенных вариантов сооружения нетиповой конструкции для преодоления водных преград является конструкция из металлических (пластиковых) бочек (рисунок 2).

Основой является сборная конструкция, основным несущим элементом которой является 200 литровая металлическая (пластиковая) бочка диаметром 600 мм и высотой 900 мм.

Основными несущими конструктивными элементами железнодорожного проезда являются деревянный брус балок настила и рельсов *1*, брусок поперечины *2*. Их жесткость и геометрическая неизменяемость обеспечивается объединением несущих элементов *1*, *2* и листов настила из тонкостенного металла *5* с помощью гвоздей. Кроме того, на железнодорожном проезде устраивается имитация перильного ограждения в виде стоек перил *3* и перила *4*, выполненных из деревянных брусков, которые соединяются гвоздями (саморезами) [2].

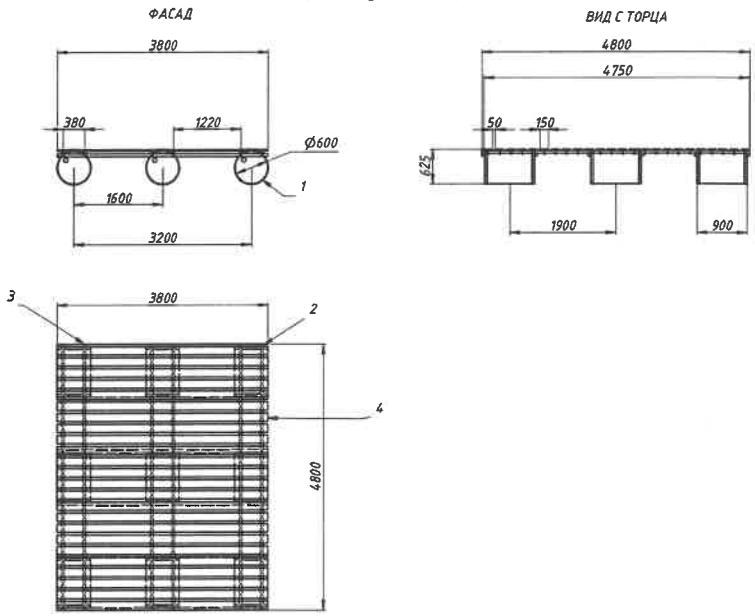


Рисунок 2 – Нетиповая конструкция наплавной опоры из подручных материалов

Данные конструкции позволяют преодолевать водные преграды, могут использоваться как наплавные опоры пешеходных мостов, а также участки размещения оборудования или припасов при чрезвычайных ситуациях.

Следовательно, использование нетиповых конструкций и элементов может в определенной мере повысить маневренность и безопасность населения на локальных участках при затоплении. Низкие трудозатраты и возможность сооружения нетиповых конструкций из подручных, широко распространенных материалов позволяет эффективно применять их при чрезвычайных ситуациях как в заблаговременный период, так и при непосредственном затоплении определенного участка местности.

Список литературы

1 Печенев, Е. В. Гидрологические и гидрометрические работы на мостовом переходе при чрезвычайных ситуациях / Е. В. Печенев, П. А. Кацубо, Р. Ю. Долманюк // Проблемы безопасности на транспорте : материалы XI Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 25–26 ноября 2021 г. / под общ. ред. Ю. И. Кулаженко : в 2 ч. Ч 2. – Гомель : БелГУТ, 2021. – С. 298–300.

2 Бобрицкий, С. М. Временное восстановление железнодорожных мостов : учеб. пособие / С. М. Бобрицкий, А. А. Поддубный, К. В. Махаев. – Гомель : БелГУТ, 2019. – 218 с.

УДК 656.2:629.4.023

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СРЕДСТВ КРЕПЛЕНИЯ ВВСТ

Р. О. ПУЗАНОВ, С. В. КИРИК

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Системы крепления вооружения, военной и специальной техники (далее – ВВСТ) на железнодорожном подвижном составе приобретают особое значение в современных условиях, где оперативность доставки техники в пункты назначения и ее сохранность становятся ключевыми факторами успеха в боевых операциях. Именно поэтому тема совершенствования средств крепления ВВСТ привлекает все большее внимание как в среде военных стратегов и инженеров, так и в области научных исследований и разработок.

Для размещения и закрепления ВВСТ применяют проволочные растяжки (увязки, обвязки), деревянные упорные и боковые бруски, деревянные вкладыши, подкладки, прокладки, распорные бруски, стойки, гвозди, скобы, а также стандартное крепление многократного использования (универсальные многооборотные крепления (далее – УМК), металлические шпоры, упорные башмаки, струбцины-растяжки, струбцины, табельные растяжки) [1].

В настоящее время крепление ВВСТ на железнодорожном подвижном составе в основном осуществляется при помощи деревянных упорных брусков и проволочных растяжек, металлических шпор.

У этих способов крепления есть ряд недостатков:

1 Проволоку, гвозди, а в некоторых случаях и деревянные бруски, для крепления ВВСТ на железнодорожном подвижном составе можно использовать только один раз.

2 Закрепление проволочными растяжками и деревянными брусками требует определенных навыков у личного состава и значительного запаса времени на их установку.

3 Существует вероятность ослабления проволочных растяжек в пути следования, что приводит к необходимости их периодического подкручивания [2].

4 Неудобство забивки гвоздей и скоб, особенно под ВВСТ.

5 Возможность раскалывания брусков вдоль волокон при закреплении их скобами или гвоздями.

Следовательно, в современных условиях необходимо совершенствовать способы крепления техники.

Данная проблема отчасти была решена применением следующих средств крепления:

1 Для крепления танков Т-72Б3 используются металлические шпоры Ш-188, которые служат для закрепления техники от поперечного смещения, и скобы С-188, которые служат от продольного смещения техники (рисунок 1).



Рисунок 1 – Металлическая шпора Ш-188 и скоба С-188

- 2 Для крепления колесной техники используются многооборотные средства крепления:
- для колесной техники на базе МЗКТ-500200 применяются универсальные многооборотные крепления УМК ЛК-00.000РЭ (рисунок 2);
 - многооборотные средства крепления колесной техники МККТ Л1 (рисунок 3).



Рисунок 2 – Крепление колесной техники на базе МЗКТ-500200 при помощи УМК ЛК-00.000РЭ

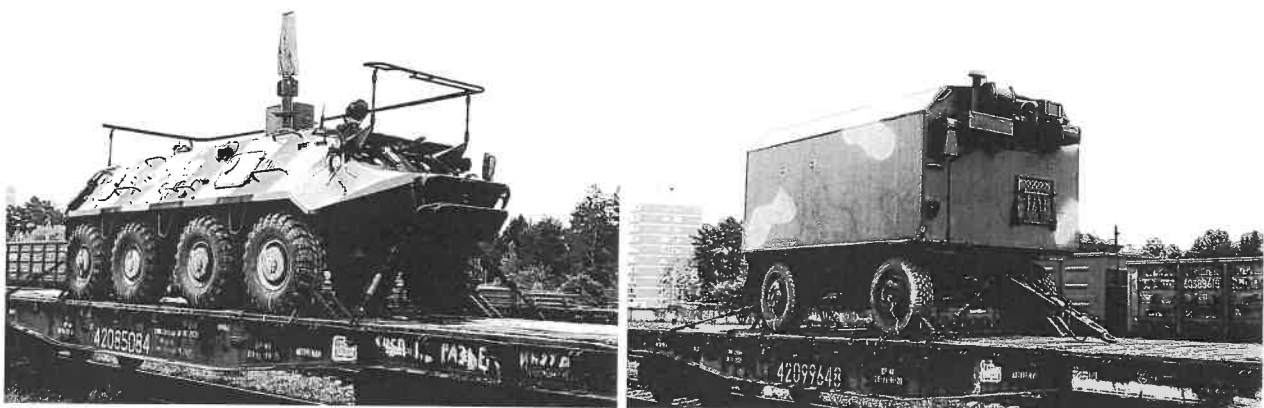


Рисунок 3 – Крепление техники при помощи МККТ Л1

К недостаткам данных многооборотных средств крепления можно отнести массу самих комплектов (она составляет 153,55 кг для МККТ Л1 и 271 кг для УМК ЛК), что не позволяет быстро и безопасно их переносить к месту погрузки экипажами машин. Кроме того, цепи, используемые в качестве растяжек, также имеют довольно большую массу.

Вместо тяжелых цепных растяжек для закрепления ВВСТ предлагается использовать более легкие стяжные ремни (рисунок 4) или полиэстеровую ленту. Стяжные ремни оснащены храповым механизмом, который предотвращает ослабление растяжек в пути следования.

а)



б)

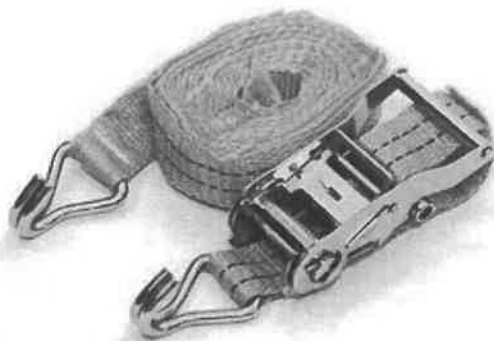


Рисунок 4 – Стяжные ремни:

а – однокомпонентный стяжной ремень, б – двухкомпонентный стяжной ремень

Стяжные ремни с регулируемой длиной, и с защелками для быстрого крепления выдерживают нагрузку до 15 тонн, имеют длину от 1 до 15 метров, регулируются натяжителями. Данные ремни и ленты имеют большой ряд преимуществ по сравнению с металлической проволокой и гвоздями, которые сейчас используются для крепления ВВСТ. Их применение ограничено, так как они имеют одноразовое свойство. Стяжные ремни и полиэстеровые ленты можно использовать повторно.

В странах ЕС подобные системы широко используются для крепления тяжелых габаритных и негабаритных машин и механизмов при перевозках на платформах (рисунок 5).



Рисунок 5 – Использование ремней при перевозке гусеничной техники

Применение стяжных ремней или полиэстеровых лент позволит:

1 Сократить время на погрузку (выгрузку) и закрепление ВВСТ на железнодорожном подвижном составе, а также уменьшить сроки доставки воинских эшелонов и транспортов к месту назначения.

2 Уменьшить массу крепежного материала.

3 Повысить безопасность перевозки ВВСТ.

Список литературы

1 Гордюк, А. Г. Военные сообщения : учеб. пособие / А. Г. Гордюк, М. Г. Козлов. – Гомель : БелГУТ, 2014. – 265 с.

2 Кирик, С. В. Повышение эффективности воинских перевозок / С. В. Кирик, Д. В. Малашков // Строительство и восстановление искусственных сооружений : материалы VII Междунар. научн.-практ. конф. / под общ. ред. А. А. Поддубного : в 2 ч. Ч. 1. – Гомель : БелГУТ, 2020. – С. 38–39.

БЕЗОПАСНОСТЬ ОБЪЕКТОВ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

А. З. РАМАЛДАНОВ

*Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю. А.,
Российская Федерация*

Оценка уязвимости транспортной инфраструктуры.

В связи с участвовавшими случаями совершения актов незаконного вмешательства объекты транспортной инфраструктуры находятся в зоне повышенной опасности. В особую категорию можно отнести объекты с повышенным скоплением людей, путепроводы, мосты, крупные автомагистрали, железные дороги, метрополитены, аэродромы и др.

Для обеспечения транспортной безопасности для таких объектов проводят оценку уязвимости в целях определения ее защищенности от возможных угроз.

Порядок проведения оценки уязвимости транспортной инфраструктуры и транспортных средств устанавливается федеральным органом исполнительной власти. Оценка уязвимости проводится только специализированными организациями в области транспортной безопасности.

Оценка уязвимости объекта транспортной инфраструктуры включает в себя:

- изучение технических характеристик объекта транспортной инфраструктуры;
- изучение всех возможных способов реализации угроз совершения актов незаконного вмешательства;
- изучение уже принятых мер по безопасности;
- план организации и эксплуатации объекта;
- определение границ зоны безопасности.

Результатом оценки уязвимости является текстовый документ с графическими план-схемами, а также описанием дополнительных мер, которые необходимо принять субъекту транспортной инфраструктуры.

Следующим этапом обеспечения транспортной безопасности после проведения оценки уязвимости ОТИ и ТС и утверждения ее результатов в компетентном органе является разработка плана обеспечения транспортной безопасности.

План обеспечения транспортной безопасности (план ОТБ) разрабатывается на основании проведенной оценки уязвимости ОТИ и ТС не позднее чем через 3 месяца после утверждения ее результатов. Затем план ОТБ поэтапно реализуется силами субъекта транспортной инфраструктуры.

В ходе реализации плана ОТБ производится монтаж инженерно-технических средств безопасности, разрабатываются инструкции для персонала, порядок осуществления пропускного режима и досмотра на ОТИ (ТС).

Мероприятия по обеспечению транспортной безопасности.

1 Установка пункта(ов) досмотра для объектов общественного назначения для предотвращения попадания предметов или веществ, которые запрещены или ограничены, в зону транспортной безопасности, а также должно быть составлено положение о пропускном и внутриобъектовом режиме.

2 Аккредитация специализированных организаций в области транспортной безопасности.

3 Оценка уязвимости объекта транспортной инфраструктуры и транспортных средств.

4 Осуществление контроля и надзора в области обеспечения транспортной безопасности.

5 Разработка и реализация планов обеспечения транспортной безопасности объектов транспортной инфраструктуры и транспортных средств.

6 Порядок выявления и распознавания на контрольно-пропускных пунктах (постах или на ТС физических лиц, не имеющих правовых оснований на проход или проезд в зону ТБ или на критические элементы ОТИ, а также предметов и веществ, которые запрещены или ограничены для свободного перемещения в зону ТБ).

7 Порядок проверки документов.

8 Установка инженерно-технических систем обеспечения транспортной информации и передача данных с таких систем подразделениям ФСБ и МВД России.

9 Для соблюдения условия допуска должны быть оборудованные КПП.

10 Обеспечение видеонаблюдения за действиями сил обеспечения транспортной безопасности на КПП и постах управления.

11 Своевременная замена нефункционирующих инженерно-технических систем.

Результатом проведенной работы является описание системы принятых на ОТИ мер по защите от АНВ.

Оснащение пунктов управления ОТБ.

1 Средства связи (стационарные/мобильные), обеспечивающие взаимодействие с администрацией СТИ, уполномоченными подразделениями ФОИВ, другими ОТИ.

2 Органы управления ИТС ОТБ (рисунок 1): система охранной сигнализации; система контроля и управления доступом; система видеонаблюдения; система наружного освещения и т. п. – с указанием лица, ответственного за готовность к оперативному использованию.

3 Система сбора, обработки и отображения информации (ССОИ): система сбора, обработки и отображения информации с ИТС ОТБ (хранение информации – не менее 1 месяца); система сбора, обработки и отображения информации с системы видеонаблюдения; аппаратура для формирования сигнала от ССОИ на передающее устройство и передачи данных со всех ИТС ОТБ в соответствии с установленным порядком уполномоченным подразделениям ФОИВ.

Технические средства досмотра:

– персонала и посетителей – ручной металлодетектор; переносная рентгенотелевизионная установка (для регионов со сложной криминогенной обстановкой); обнаружители паров и микрочастиц взрывчатых и отравляющих веществ;

– транспортных средств – досмотровые зеркала; эндоскопы.



Рисунок 1 – Пример оформления схемы оборудования поста (пункта) управления обеспечением транспортной безопасности

Оценку уязвимости транспортных сооружений нельзя назвать несоответствующей требованиям, но есть необходимость принятия дополнительных мер для обеспечения транспортной безопасности в виде повышенного контроля со стороны службы безопасности.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ЭМПИРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ В МЕТОДИКЕ РАСЧЕТА ПОГРУЗОЧНО-ВЫГРУЗОЧНОЙ СПОСОБНОСТИ ГРУЗОВОГО МЕСТА НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ СТАНЦИИ ПРИ ПОГРУЗКЕ ВОИНСКИХ ГРУЗОВ

С. Н. ТИМАШКОВ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Предлагаемый общий вид формулы расчета погрузочно-выгрузочной способности грузового места при погрузке воинских грузов содержит ряд технологических операций и коэффициентов, требующих их аналитического анализа и приведения к обоснованному диапазону числовых значений:

$$E_m = \frac{1440K}{a(t_{\text{под}} + t_{\text{уб}}) + b(t_1 + t_{\text{норм}}) + t_{\text{прием}}d + t_2},$$

где 1440 – суточный бюджет времени, мин; K – коэффициент неполного использования погрузочно-выгрузочного места из-за различия норм на погрузку-выгрузку и неравномерность прибытия-отправления поездов; a – число подач в составе одного поезда; $t_{\text{под}}$ – время подачи состава на путь погрузки (выгрузки), мин; $t_{\text{уб}}$ – время уборки (время до отправления) состава после погрузки, мин; b – коэффициент, учитывающий увеличение времени на погрузку (выгрузку) из-за подачи по частям; t_1 – время ожидания погрузки, мин; $t_{\text{норм}}$ – норма времени на размещение и крепление вооружения, военной и специальной техники (далее – ВВСТ) воинского эшелона на железнодорожном подвижном составе; $t_{\text{прием}}$ – время, необходимое на проведение проверки правильности размещения и крепления ВВСТ специалистами железнодорожного транспорта; d – коэффициент, учитывающий увеличение времени на проведение проверки правильности размещения и крепления ВВСТ при наличии негабаритных и длинномерных единиц, а также наличии у них поворотных частей, узлов и агрегатов; t_2 – время ожидания уборки, мин.

В действующей методике расчета погрузочно-выгрузочной способности грузового места на железнодорожной станции при погрузке воинских грузов числовые значения технологических операций и коэффициентов применяются как константы. Числовые значения представлены в таблице 1 [1, с. 4].

Таблица 1 – Числовые значения технологических операций и коэффициентов

Технологическая операция, коэффициент	Числовое значение
K	0,75–0,80
$t_{\text{под}}, t_{\text{уб}}$	До 1 км – 30 мин До 5 км – 45 мин До 10 км – 60 мин До 20 км – 75 мин
b	Если $a = 1$, то $b = 1$ Если $a = 2$, то $b = 1,5$ Если $a = 3$, то $b = 2$ Если $a = 4$, то $b = 2,5$
$t_{\text{норм}}$	Согласно приложению 1 [1]
$t_{\text{прием}}$	2 мин/вагон
d	1,2

Для обоснования числовых значений технологических операций и коэффициентов необходимо упорядочить ранг всех элементов методики расчета и определить доминантные из них. Для этого произведем расчеты погрузочно-выгрузочной способности с учетом действующих числовых значений всех параметров и поочередной их вариацией в пределах диапазонов.

Коэффициент неполного использования погрузочно-выгрузочного места из-за различия норм на погрузку-выгрузку и неравномерность прибытия-отправления поездов K [2, с. 56]

Исходные данные: $a = 1$, $t_{\text{под}} = 30$ мин, $t_{\text{уб}} = 30$ мин, $b = 1$, $t_1 = 30$ мин, $t_{\text{норм}} = 200$ мин (30 платформ, согласно приложению 1 [1]), $t_{\text{прием}} = 60$ мин, $d = 1$, $t_2 = 60$ мин.

Пример ($K = 0,75-0,80$)

$$E_{м1} = \frac{1440 \cdot 0,75}{1(30 + 30) + 1(30 + 200) + 60 \cdot 1 + 60} = 2,634 \text{ эш/сут};$$

$$E_{м2} = \frac{1440 \cdot 0,76}{1(30 + 30) + 1(30 + 200) + 60 \cdot 1 + 60} = 2,669 \text{ эш};$$

$$E_{м3} = \frac{1440 \cdot 0,77}{1(30 + 30) + 1(30 + 200) + 60 \cdot 1 + 60} = 2,704 \text{ эш/сут};$$

$$E_{м4} = \frac{1440 \cdot 0,78}{1(30 + 30) + 1(30 + 200) + 60 \cdot 1 + 60} = 2,739 \text{ эш/сут};$$

$$E_{м5} = \frac{1440 \cdot 0,79}{1(30 + 30) + 1(30 + 200) + 60 \cdot 1 + 60} = 2,774 \text{ эш/сут};$$

$$E_{м6} = \frac{1440 \cdot 0,80}{1(30 + 30) + 1(30 + 200) + 60 \cdot 1 + 60} = 2,809 \text{ эш/сут}.$$

Влияние коэффициента неполного использования погрузочно-выгрузочного места из-за различия норм на погрузку-выгрузку и неравномерность прибытия-отправления поездов на погрузочно-выгрузочную способность грузового места на железнодорожной станции при погрузке воинских грузов представлено на рисунке 1.

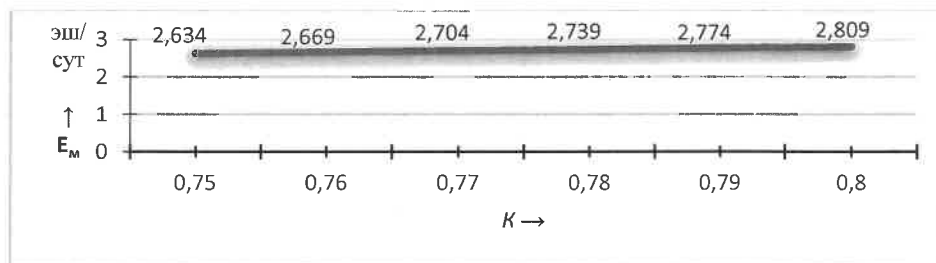


Рисунок 1 – Влияние коэффициента K на погрузочно-выгрузочную способность грузового места

Анализ диаграммы показал, что коэффициент K в действующем диапазоне значений 0,75–0,80 оказывает незначительное влияние на величину погрузочно-выгрузочной способности грузового места. Предварительный анализ способствует выделению данного коэффициента в группу не являющихся доминантными. При дальнейшем исследовании с учетом корреляционной зависимости будет установлена целесообразность диапазона вариаций коэффициента K.

Коэффициент, учитывающий увеличение времени на погрузку из-за подачи по частям b [3, с. 182]

Исходные данные: $K = 0,77$, $t_{под} = 30$ мин, $t_{уб} = 30$ мин, $b = 1$, $t_1 = 30$ мин, $t_{норм} = 200$ мин (30 платформ, согласно приложению 1 [3]), $t_{прием} = 60$ мин, $d = 1$, $t_2 = 60$ мин.

Пример

Если $a = 1$, то $b = 1$.

$$E_{м7} = \frac{1440 \cdot 0,77}{1(30 + 30) + 1(30 + 200) + 60 \cdot 1 + 60} = 2,704 \text{ эш/сут}.$$

Если $a = 2$, то $b = 1,5$.

$$E_{м8} = \frac{1440 \cdot 0,77}{2(30 + 30) + 1,5(30 + 200) + 60 \cdot 1 + 60} = 1,895 \text{ эш/сут}.$$

Если $a = 3$, то $b = 2$.

$$E_{м9} = \frac{1440 \cdot 0,77}{3(30 + 30) + 2(30 + 200) + 60 \cdot 1 + 60} = 1,459 \text{ эш/сут}.$$

Влияние коэффициента, учитывающего увеличение времени на погрузку из-за подачи вагонов по частям, на погрузочно-выгрузочную способность грузового места на железнодорожной станции при погрузке воинских грузов представлено на рисунке 2.

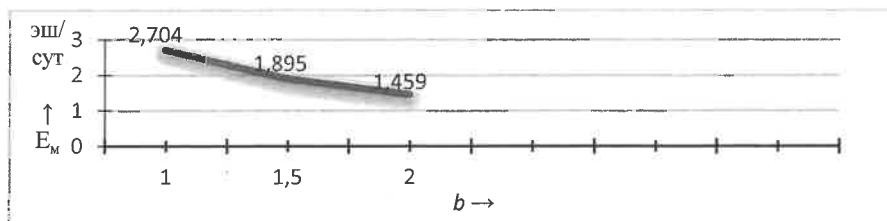


Рисунок 2 – Влияние коэффициента b на погрузочно-выгрузочную способность грузового места

Анализ диаграммы показал, что коэффициент b в действующей корреляции с числом подач в составе одного поезда оказывает значительное влияние на E_m . Объективная оценка данной зависимости может быть подтверждена увеличением технологических операций ($t_{\text{под}}$, $t_{\text{уб}}$, t_1 , t_2 , $t_{\text{норм}}$) в два (и более) раза при организации подачи подвижного состава по частям на места погрузки воинских грузов.

Коэффициент, учитывающий увеличение времени на проведение проверки правильности размещения и крепления ВВСТ при наличии негабаритных и длинномерных единиц ВВСТ, а также наличие у них поворотных частей, узлов и агрегатов d

Исходные данные: $K = 0,77$, $a = 1$, $t_{\text{под}} = 30$ мин, $t_{\text{уб}} = 30$ мин, $b = 1$, $t_1 = 30$ мин, $t_{\text{норм}} = 200$ мин (30 платформ, согласно приложению 1 [3]), $t_{\text{прием}} = 60$ мин, $t_2 = 60$ мин.

Пример ($d = 1,2$).

$$E_{m10} = \frac{1440 \cdot 0,77}{1(30 + 30) + 1(30 + 200) + 60 \cdot 1,2 + 60} = 2,634 \text{ эш/сут.}$$

Влияние коэффициента, учитывающего увеличение времени на проведение проверки правильности размещения и крепления ВВСТ при наличии негабаритных и длинномерных единиц ВВСТ, а также наличия у них поворотных частей, узлов и агрегатов, на погрузочно-выгрузочную способность грузового места на железнодорожной станции при погрузке воинских грузов представлено на рисунке 3.

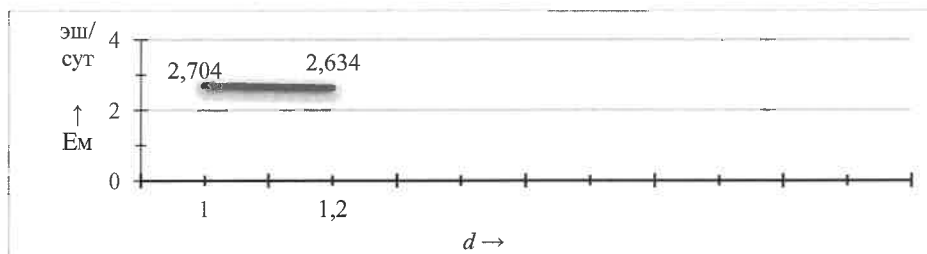


Рисунок 3 – Влияние коэффициента d на погрузочно-выгрузочную способность грузового места

Анализ диаграммы показал, что коэффициент d , имеющий только два числовых значения – 1 и 1,2 (при наличии указанной техники), не оказывает значительного влияния на E_m . Предварительный анализ способствует выделению данного коэффициента в группу не являющихся доминантными.

Таким образом, проведенный анализ влияния эмпирических параметров в методике расчета погрузочно-выгрузочной способности грузового места на железнодорожной станции при погрузке воинских грузов позволяет определить доминантным коэффициент b . Диапазоны вариаций коэффициентов K и d оказывают незначительное влияние на конечное значение E_m . Дальнейшие исследования указанных коэффициентов и технологических операций будут проводиться при коррелированном учете их эмпирических значений, что позволит определить окончательный диапазон вариаций всех элементов методики расчета погрузочно-выгрузочной способности грузового места на железнодорожной станции при погрузке воинских грузов.

Список литературы

- 1 Методическое пособие по расчету времени, необходимого на перевозку воинского эшелона : приказ ЗМОТ – начальника тыла ВС №10/298 от 10.03.2016 г. – Минск, 2016. – 15 с.
- 2 Гордюк, А. Г. Военные сообщения : учеб. пособие / А. Г. Гордюк, М. Г. Козлов. – Гомель : БелГУТ, 2014. – 265 с.
- 3 Тимашков, С. Н. Опыт организации воинских перевозок и погрузки-выгрузки грузов на местах общего пользования железнодорожных станций / С. Н. Тимашков // Проблемы перспективного развития железнодорожных станций и узлов : междунар. сб. науч. тр. – Гомель : БелГУТ, 2023. – Вып. 5. – С. 174–185.

АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БОРТОВЫХ ТЕЛЕМАТИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ И ДАТЧИКОВ ПРИ ПЕРЕВОЗКЕ ОПАСНЫХ ГРУЗОВ

В. В. ТОМАШОВ, В. В. ПЕТРУСЕВИЧ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Перевозка грузов в настоящее время претерпевает качественные изменения. Это связано со стремлением повысить эффективность работы транспорта, снизить издержки, уменьшить стоимость перевозок, соблюдать сроки доставки грузов и обеспечивать их сохранность, что в большей степени продиктовано развивающимися рыночными отношениями и связанной с ними конкурентоспособностью автомобильных грузовых перевозок.

Современные условия диктуют обязательное внедрение и использование информационных технологий – информационно-управляющих систем во все сферы нашей жизни.

Самой большой проблемой области информатизации транспорта являются закрытые интеллектуальные системы. Создано огромное количество систем, автоматизирующих отдельные бизнес-процессы, а чаще даже отдельные задачи и функции. При этом системы зачастую не связаны друг с другом, используют собственные хранилища оперативной и нормативно-справочной информации. Отсутствуют регламенты поддержания актуальности, синхронизации данных в разных системах. Многие используемые средства автоматизации не соответствуют современным требованиям. На современном этапе развития информационных технологий на первый план ставится создание единого информационного пространства, которое включает в себя единое пространство данных, единое методологическое пространство и единое пространство функционала.

Что же касается перевозки опасных грузов – эта особая часть номенклатуры грузов. Объемы перевозок опасных грузов автомобильным транспортом составляют более 25 % от общего и ежегодно возрастают. В общем объеме грузов, перевозимых всеми видами транспорта, доля опасных грузов составляет около 20 %. Около 35 % из них приходится на долю железнодорожного транспорта. В основном это нефтепродукты, сжиженные и сжатые газы. Перечень опасных грузов, предъявляемых к перевозке, насчитывает около пяти тысяч наименований. Из-за присущих опасным грузам свойств их перевозка требует постоянного внимания и непрерывного контроля.

Развитие информационных и коммуникационных технологий открыло новые возможности для решения сложных транспортных проблем, с которыми сталкивается современный мир. Решение было найдено в создании уже не систем управления транспортом, а транспортных систем, в которых средства связи, управления и контроля изначально встроены в транспортные средства и объекты инфраструктуры, а возможности управления (принятия решений) на основе получаемой в реальном времени информации в таких системах доступны не только транспортным операторам, но и всем пользователям транспорта. Задача решается путем построения интегрированной системы: люди – транспортная инфраструктура – транспортные средства, с максимальным использованием новейших информационно-управляющих технологий [1].

Наблюдается активный процесс формирования и развития интеллектуальных транспортных систем (ИТС) в транспортном секторе экономики, который уже привел к очевидному улучшению работы всех видов транспорта во всех странах, где этому уделялось должное внимание.

В странах – участниках Европейского соглашения о международной дорожной перевозке опасных грузов предусмотрено обязательное проведение мониторинга перевозок опасных грузов. Мониторинг осуществляется с помощью комплексной информационно-аналитической системы контроля транспортных средств (КИАСК-ТС), реализованной на основе спутниковых навигационных технологий ГЛОНАСС/GPS [2].

Функциональная архитектура сервиса предусматривает контроль перевозок опасных грузов, в том числе их отслеживание и классификацию, уведомление об аварии с опасными грузами, передаче информации об авариях и нарушениях порядка перевозки опасных грузов всем заинтересованным организациям, отслеживание местоположения транспортного средства, перевозящего опасный груз, обнаружение его отклонения от запланированного маршрута, идентификацию входа ТС в чувствительные географические области (например, зоны, в которых перевозка опасных грузов запрещена), аутентификацию водителя с деактивацией транспортного средства при попытке управления ТС неправомочным водителем.

Система мониторинга включает:

– бортовые устройства, обеспечивающие навигацию ТС с помощью ГНСС, связь с автоматизированными центрами контроля и надзора по каналам сотовой и, возможно, спутниковой связи (с низкоорбитальными спутниками) и передачу в АЦКН информации о местоположении и состоянии ТС, вводимой водителем и формируемой автоматически;

– автоматизированные центры контроля и надзора, осуществляющие мониторинг перевозок опасных грузов.

Включение средства спутниковой связи в состав бортового устройства необходимо для обеспечения мониторинга в зонах, где отсутствует сотовая связь. Сообщение с бортового устройства о перевозке опасного груза должно включать следующий набор мониторинговой информации:

- идентификационный номер бортового устройства;
- географическую широту местоположения транспортного средства;
- географическую долготу местоположения транспортного средства;
- скорость движения транспортного средства;
- путевой угол транспортного средства;
- время и дату фиксации местоположения транспортного средства;
- признак нажатия тревожной кнопки.

Кроме того, необходимо обеспечить возможность передачи следующих данных о перевозке опасных грузов:

- состояние ТС («Перевозка опасного груза», «Разгрузка», «Нет опасного груза»);
- номер специального разрешения, в соответствии с которым осуществляется перевозка;
- номер (номера) ООН перевозимого (перевозимых) груза;
- данные о количестве груза на борту ТС.

Получив указанную информацию, контролирующие органы имеют возможность определить государственный регистрационный номер, модель, марку и принадлежность ТС, вид перевозимого груза (грузов), разрешенный маршрут движения. При этом возможен контроль наличия специального разрешения для данного ТС, вида груза и маршрута. В ходе перевозки они получают мониторинговую информацию, которая может использоваться для автоматического контроля соблюдения разрешенного маршрута перевозки, а при отклонении от него на величину, большую заданной, – для выдачи тревожного сообщения оператору и на линейные посты транспортного надзора.

Для опасных грузов в упаковках целесообразно предусмотреть нанесение на каждую упаковку RFID-меток, содержащих признак опасного груза и его номер ООН. Для сбора информации с RFID-меток ТС должно быть оснащено считывателями, зоны действия которых полностью перекрывают внутренний объем кузова ТС. Если конструкция кузова предусматривает возможность его закрытия и запираения, на запорное устройство целесообразно поместить «электронную пломбу» – приспособление, выдающее сигнал при попытке его несанкционированного вскрытия.

При перевозке опасных грузов навалом/насыпью представляется целесообразным использовать датчики нагрузки на оси. Существуют разновидности датчиков для автомобилей с рессорной подвеской и с пневмоподвеской. Аналогичные датчики нагрузок могут устанавливаться и на тележки железнодорожного подвижного состава [3].

Проведенный анализ существующих интеллектуальных транспортных систем, применяемых во время перевозки опасных грузов, не дает возможность сделать однозначный вывод, что усовершенствование ИТС еще впереди. Главным направлением усовершенствования будет разработка стандартов на телематические системы, что позволит использовать оборудование разных поставщиков в едином информационном пространстве.

Список литературы

1 ГОСТ Р 56829-2015. Интеллектуальные транспортные системы. Термины и определения. – Введ. 2016-06-01. – М. : Стандартинформ, 2016. – 10 с.

2 Интеллектуальные транспортные системы [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.niiat.ru/activity/intellektualnye-transportnye-sistemy>. – Дата доступа : 09.09.2024.

3 Железные дороги мира. – 2020. – № 5. – С. 50–62.

ПРОТИВОВОЗДУШНАЯ ОБОРОНА МОСТОВ – ОПЫТ ВОЙН И ВОЕННЫХ КОНФЛИКТОВ*В. В. ЦЫБУЛЬКО**Военная академия Республики Беларусь, г. Минск*

Мосты (железнодорожные, автомобильные) имеют одинаково важное стратегическое значение как в мирное, так и в военное время. От их целостности зависит решение многих стратегических задач в масштабе любого государства. Все это подтверждает и ход специальной военной операции, проводимой Российской Федерацией в Украине. Следует отметить, что обе противоборствующие стороны пытаются вывести из строя данный тип транспортной инфраструктуры, обеспечивающий выполнение задач в интересах военных.

Необходимо отметить, что наибольшую эффективность по поражению элементов транспортной инфраструктуры имеют средства воздушного нападения. Опыт как специальной военной операции, так и других конфликтов показывает, что если ранее среди средств воздушного нападения пальма первенства отдавалась пилотируемой авиации с ее бортовым вооружением, то постепенно их функции стали выполнять крылатые и баллистические ракеты различной дальности, беспилотные летательные аппараты различного класса. Но что бы ни использовалось для поражения: то ли пилотируемая авиация, то ли весь спектр высокоточных средств поражения, то ли беспилотные летательные аппараты, – в борьбе с ними многое будет зависеть от эффективности применения средств ПВО, которые должны успешно бороться с ними.

Еще за время Великой Отечественной войны войска ПВО обогатились разнообразным боевым опытом, способами боевого применения и тактикой действий воинских частей ПВО по организации ПВО транспортных коммуникаций и искусственных сооружений.

Яркий пример организации ПВО мостов в годы Великой Отечественной войны – это прикрытие от ударов средств воздушного нападения мостов через реку Волга.

Ярославский (мост через Волгу в Ярославле) и Волжский мосты тогда образовали единственную транспортную железнодорожную артерию, по которой с 1941 по 1943 год осуществлялось движение в северо-западном направлении. Непрерывным потоком шли эшелоны из Сибири и с Дальнего Востока со свежими дивизиями, техникой, боеприпасами и продовольствием в сторону Ленинграда, Волхова и Калинина. Обрато вывозили раненых и эвакуированных. Однопутный мост работал в режиме максимальной загрузки.

То, что за всю войну ни одна бомба не попала в несущие конструкции моста, – это не чудо, а результат продуманной эшелонированной противовоздушной обороны. На дальних подступах, примерно в километре, дислоцировались артиллерийские батареи. Две из них, вооруженные длинноствольными полуавтоматическими зенитными орудиями калибра 76,2 мм, представляли грозную силу: дальность вертикального выстрела составляла около 9 км. Единственная цель, которую они не могли достать, – это самолеты-разведчики, так называемые рамы. Для полного укомплектования третьей батареи были получены четыре новых зенитных орудия калибра 85 мм. Расчеты достаточно быстро освоили новую материальную часть. На ближних подступах прорвавшихся через огонь батарей бомбардировщиков встречала зенитно-пулеметная рота. Четверные установки из пулеметов «Максим» с принудительной системой водяного охлаждения были способны вести огонь длинными прицельными очередями, поражая на дистанции до 1000 м любую воздушную цель [1].

Весь период Великой Отечественной войны мосты исправно работали в режиме полной загрузки, эшелоны шли по нему без задержек ежедневно.

Богатый боевой опыт войск ПВО, накопленный в ходе Великой Отечественной войны и последующих войн, и военных конфликтов, не потерял своей актуальности и в настоящее время, несмотря на то, что появление разнообразных более совершенных средств воздушно-космического нападения вызвало глубокие изменения в вооружении войск ПВО и способах их боевого применения.

Ярким примером использования данного опыта является организация ПВО Крымского моста в Российской Федерации с учетом проводимой специальной военной операции в Украине. ПВО моста как важнейшего элемента транспортной инфраструктуры основана на сочетании элементов системы ПВО: стационарные РЛС «Подсолнух» и «Воронеж», обеспечивающие ведение радиолокационной разведки и применение как зенитных подразделений, так и авиации ПВО; огневая состав-

ляющая, которая включает мобильные, маневренные ЗРК «Тор» и «Панцирь-С1», переносные ЗРК «Игла» и «Верба», способные поражать несколько десятков воздушных целей одновременно; средства РЭБ, которые при необходимости обеспечат постановку помех в контуры управления или наведения как ЗУР, так и авиации.

Кроме того, в районе моста размещено подразделение ЗРС С-400, которое наращивает возможности ПВО по прикрытию данного объекта [2].

Также для противодействия ракетным атакам Россия развернула новейшую систему противовоздушной обороны С-500 «Прометей». При этом одна система С-500 способна полностью закрыть воздушное пространство Крыма даже с территории соседнего Краснодарского края.

Система С-500 относится к новому поколению зенитных комплексов. Ракеты-перехватчики способны поражать любые цели в радиусе 600 км и на высоте до 200 км. То есть ЗРК «Прометей» способен обстрелять даже низкоорбитальные спутники. При этом ЗРК «Прометей» работает в единой системе с ЗРК С-300 и С-400. Он не заменяет, а дополняет своих предшественников и совмещает в себе функции как противовоздушной, так и противоракетной обороны. ЗРК С-500 оснащают двумя типами боеприпасов. В пусковых установках размещают либо четыре зенитные ракеты, либо два заатмосферных перехватчика. Принцип их работы сильно отличается. Первые поражают самолеты или БЛА осколками, а вот вторые уничтожают баллистические ракеты прямым столкновением [3].

Ну и возможности по ПВО данного объекта инфраструктуры, кроме того, усиливаются за счет истребителей и штурмовиков ВКС РФ, находящихся в воздухе в зоне дежурства, а также на ближайших аэродромах, полетное время которых составляет до 15 минут.

Кроме того, часто во время воздушной тревоги Крымский мост окутывает дымовая завеса. Такое облако мешает точному наведению ракет на цель. Например, британские Storm Shadow при полете к цели сравнивают картинку объекта, заложенную в память бортового компьютера, с реальной. При сильном задымлении боеприпас теряет объект и отклоняется от курса.

Также переправу дополнительно защищают десяток барж, которые стоят на якоре вдоль моста. Баржи у Крымского моста, на которых находятся уголкового отражатели, дающие более высокую степень засветки, – это ложные цели, которые должны на себя перетянуть возможные удары крылатыми и противокорабельными ракетами, которые может использовать Украина.

Рассмотренный опыт ПВО таких важнейших элементов транспортной инфраструктуры, как мосты, на примере Великой отечественной войны, который актуален и сейчас, опыт Российской Федерации в организации ПВО мостов в ходе специальной военной операции применим и к организации ПВО таких объектов нашего государства и может быть при необходимости успешно использован.

Список литературы

1 Истомин, А. А. Объект особой важности. История обороны волжского моста / А. А. Истомин // Военно-исторический журнал. – 2021. – № 9. – С. 26–35.

2 Информационное агентство News-front [Электронный ресурс] // Как Россия защитит Крымский мост. – Режим доступа : <https://news-front.info/2018/05/21/kak-rossiya-zashhitit-krymskij-most>. – Дата доступа : 25.06.2024.

3 Эксперты рассказали об обороне Крымского моста от атак ВСУ [Электронный ресурс] // Известия. IZ. – Режим доступа : <https://iz.ru/1717488/2024-06-24/eksperty-rasskazali-ob-oborone-krymskogo-mosta-ot-atak-vsuo>. – Дата доступа : 25.06.2024.

УДК 658.345

ЧРЕЗВЫЧАЙНЫЕ СИТУАЦИИ ТЕХНОГЕННОГО И ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ХАРАКТЕРА НА ТРАНСПОРТЕ

Д. В. ЯКУНИН, В. В. МАРИНИЧ, П. С. ВЕРБИЦКИЙ, К. В. ЕФИМЧИК
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

В Республике Беларусь, как и в других странах, транспорт является одной из крупнейших базовых отраслей хозяйства, важнейшей составной частью производственной и социальной инфраструктуры. Транспортные коммуникации объединяют все районы страны, что является необходи-

мым условием ее территориальной целостности, единства ее экономического пространства. Они связывают страну с мировым сообществом, являясь материальной основой обеспечения внешне-экономических связей Беларуси и ее интеграции в глобальную экономическую систему. Выгодное географическое положение страны позволяет получать значительные доходы от экспорта транспортных услуг, в том числе от осуществления транзитных перевозок со стороны зарубежных стран по своим коммуникациям [1].

В настоящее время любой вид транспорта представляет потенциальную угрозу здоровью и жизни человека, поэтому можно сказать, что технический прогресс одновременно с комфортом и высокой скоростью передвижения принес и значительную степень угрозы.

Железные дороги являются ведущим видом транспорта. На долю железных дорог СНГ приходится более 50 % мирового грузооборота и 25 % пассажирских перевозок (общая протяженность железнодорожных линий составляет 11 % от протяженности мировых железнодорожных путей, в том числе в Республике Беларусь – 5,6 тыс. км). Средняя грузонагруженность железных дорог в СНГ в 5 раз больше, чем в США, и в 8–15 раз – по сравнению с другими развитыми странами.

Основными причинами аварий и катастроф на железнодорожном транспорте являются неисправность пути, подвижность состава, технических средств управления, ошибки работников, отвечающих за безопасность движения поездов и т. д. Более 40 % железнодорожных аварий и катастроф происходит по вине путейских рабочих [2].

Среди катастроф и аварий различают сход подвижного состава с рельсов, столкновения, наезды на препятствия на переездах, пожары и взрывы в подвижном составе на перегоне или станции.

По виду подвижного состава выделяют транспортные происшествия с пассажирскими поездами, с грузовыми поездами, одновременно с обоими поездами, крушение поездов в метрополитене.

Особую опасность представляют аварийные ситуации при перевозках опасных грузов и особенно аварийно химически опасных веществ. Все направления Белорусской железной дороги принимают участие в пропуске опасных грузов с ежемесячным вагонопотоком от 400 до 1500 вагонов. Направления наиболее интенсивного вагонопотока: Минск – Брест, Минск – Молодечно, Гомель – Калинковичи – Лунинец, Витебск – Орша – Мозырь, Витебск – Новополоцк.

Примерами таких железнодорожных ЧС могут служить аварии с утечкой серной кислоты на ст. Минск, с параксилолом на ст. Могилёв, с толуолом на ст. Жлобин.

Учитывая зависимость от численности пострадавших, различают 5 категорий железнодорожных катастроф: I – до 5 человек, II – 6–15 человек, III – 16–30 человек, IV – 31–50 человек, V – более 50 человек.

Сегодня воздушный транспорт занимает одно из ведущих мест в общей транспортной системе перевозок пассажиров и грузов. В Республике Беларусь насчитывается 7 аэропортов, которые имеют статус международных. За последние годы резко возросли объемы перевозок, выполняемых транспортной авиацией в СНГ. За сутки самолеты перевозят в среднем 300 тыс. человек, за год – более 100 млн пассажиров. Протяженность воздушных трасс – более 1 млн км.

Анализ авиакатастроф и аварий последних лет показывает, что причины, приводящие к авиапроисшествиям, можно объединить в следующие группы: ошибки человека – 50–60 %; отказ техники – 15–30 %, воздействие внешней среды – 10–20 %, прочие (невыясненные) – 5–10 %.

Как видно из приведенных данных, не менее половины авиапроисшествий случается из-за ошибок человека, в подавляющем большинстве случаев – членов экипажа.

За годы независимости в небе над Беларусью и с участием белорусских самолетов за рубежом было потеряно 18 судов, погибло 36 человек [1].

Ежесуточно в морях и океанах находится 25 тыс. судов, экипажи которых насчитывают около 1 млн человек.

Вполне понятно, что при таком огромном количестве судов, несмотря на совершенство их конструкции и оснащение новейшими средствами судовождения, нельзя полностью избежать аварий и катастроф. В результате кораблекрушений ежегодно погибает около 200 тыс. человек. Вместе с тем, в течение года на 7–8 тыс. судов случаются серьезные аварии, не приводящие к катастрофическим последствиям.

К тяжелым катастрофам может привести нарушение правил перевозки на судах опасных грузов. Одна из самых больших трагедий на море произошла 6 декабря 1917 г. в порту Галифакс (Канада) в результате взрыва французского судна «Монблан», имевшего на борту тысячи тонн пикриновой

кислоты, тринитротолуола, пороха и бензола. Погибли 1963 человека, около 9 тыс. получили ранения, 25 тыс. жителей города лишились крова.

За последние 20 лет вследствие роста танкерного флота резко возросло количество аварий и катастроф на нефтеналивных судах. Особенно опасны столкновения танкерных судов, вызывающие взрывы, гигантские пожары и разлив десятков и сотен тысяч тонн нефти и других нефтепродуктов.

Аварии (катастрофы) могут произойти в порту (на пристани) или при передвижении судов по реке, акватории озера или водохранилища. Так, 5 июня 1983 г. на Волге, вблизи Ульяновска, на пассажирском теплоходе «Александр Суворов» произошла тяжелая катастрофа с человеческими жертвами – погибло 175 человек [1].

Протяженность речных судоходных путей по территории Республики Беларусь составляет 2,6 тыс. км.

По данным МЧС в Беларуси в период с 2009 года по февраль 2018 года произошло 20 аварий на транспорте.

Могут представлять серьезную опасность аварии на магистральных трубопроводах, в том числе нанесение значительного экономического ущерба, загрязнение окружающей среды, пожары. Протяженность магистральных нефтепроводов и продуктопроводов на территории Республики Беларусь составляет около 6 тыс. км, газопроводов – 5 тыс. км. Самыми крупными из них являются нефтепровод Самолор – Новополоцк и «Дружба», газопровод Торжок – Минск – Ивацевичи.

Авария на трубопроводе – это авария на трассе трубопровода, связанная с выбросом или выливом под давлением опасных химических или пожаровзрывоопасных веществ, приводящих к возникновению техногенной ЧС.

За последние годы в Беларуси наиболее крупные аварии произошли на следующих объектах:

- разрыв магистрального трубопровода Торжок – Минск – Ивацевичи, вызвавший пожар леса на площади 10 га (апрель 1997 г., Узденский район);
- разрыв магистрального нефтепродуктопровода «Россия – Украина», утечка бензина и его растекание на площади 70 га (июнь 1997 г.);
- утечка 500 кг нефти и загрязнение почвенного покрова в результате разрыва нефтепровода «Дружба» (июнь 1999 г., Мозырьский район) [2].

СОДЕРЖАНИЕ

Приветствие участникам конференции	3
6 НАДЕЖНОСТЬ И БЕЗОПАСНОСТЬ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ	
<i>Агеева К. Э., Круподёров А. Ю., Ткачёва М. И., Васильев А. А.</i> Анализ сроков фактической карбонизации бетона класса по прочности на сжатие $C^{18}/_{22,5}$ при различных эксплуатационных условиях.....	4
<i>Астрелина А. В., Прасол В. М.</i> Вентиляция как средство обеспечения микроклимата помещений.....	5
<i>Атрошко Е. К., Дралова И. П.</i> Определение точности геодезических измерений при наблюдениях за осадками промышленных сооружений.....	7
<i>Бондаренко В. О.</i> Изменение механических характеристик кирпичной кладки вследствие коррозионного износа.....	9
<i>Володькин М. А., Шелюто В. В., Прасол В. М.</i> Применение искусственного интеллекта для обеспечения надёжности и безопасности зданий и сооружений.....	10
<i>Гапоненко Д. А., Яшина Т. В.</i> О применении углебетона для повышения долговечности конструкций.....	11
<i>Доля В. А., Коновалова О. Н., Васильев А. А.</i> Определяющие параметры оценки остаточного ресурса строительных конструкций, зданий и сооружений.....	13
<i>Жаналиев Б. Б., Овчинников И. Г.</i> Обеспечение долговечности армированных конструкций с применением полимерных композитных материалов.....	15
<i>Zhelyazov T. A.</i> Applications of intelligent materials in construction.....	17
<i>Зиямухамедова У. А., Нуркулов Ф. Н., Мирадуллаева Г. Б., Нафасов Ж. Х.</i> Влияние температуры на свойства композитов на основе полимерсерных бетонов.....	19
<i>Ибадуллаев А. С., Мамаев Ш. И., Нигматова Д. И.</i> Ацетиленовые сажи и их влияние на радиационную стойкость резиновых изделий.....	21
<i>Курбонов С. З., Карабаев А. М.</i> Влияние полимерно-щебеночно-мастичного асфальтобетона, разработанного для условий Узбекистана, на безопасность дорожного движения.....	22
<i>Куценкова Л. С.</i> Методы борьбы с коррозией на железной дороге.....	24
<i>Куценкова Л. С.</i> Содержание земляного полотна железнодорожного пути.....	26
<i>Лемешевская А. В., Яшина Т. В.</i> О бетонировании фундамента по типу «Утепленная шведская плита» в зимних условиях.....	27
<i>Рудейкова И. В., Балахонова А. В.</i> Особенности реконструкции промышленных зданий в контексте обеспечения их безопасности и надежности.....	29
<i>Скляров С. Н.</i> Исходная сейсмическая информация для проектирования сейсмостойких сооружений.....	31
<i>Скляров С. Н.</i> Способы защиты мостовых сооружений, подверженных сейсмическим воздействиям.....	32
<i>Скорород А. З., Пупачев Д. С., Моисеенко В. Л.</i> Оценка прочности элементов жаротрубного котла в SolidWorks Simulations.....	34
<i>Сырова Н. С., Дралова И. П.</i> Цифровые технологии в геодезической и строительной отраслях.....	36
<i>Ташкинов А. Г.</i> Исследование стеновых ограждений в условиях повышенной температуры и влажности ...	37
<i>Титкова Т. С., Ананич В. Н.</i> Комплексное формирование архитектурно-ландшафтной среды зоны отдыха озера Волотовское в г. Гомеле.....	39
<i>Черненко А. В.</i> Нелинейные гидроупругие колебания трехслойной пластины.....	41
<i>Шелюто В. В.</i> Применение нанодобавок в бетон как способ повышения надежности и безопасности зданий и сооружений.....	43
<i>Шимановский А. О., Купреева Д. А., Карабаев А. М.</i> Влияние снижения жесткости асфальтобетона при высоких температурах на деформирование дорожного покрытия.....	45
<i>Юденкова Е. А., Яшина Т. В.</i> О применении биобетона для повышения надежности конструкций.....	47
<i>Юлдашева С. А., Курбанова М. Н.</i> Методы оценки инновационной активности предприятий горнодобывающей промышленности.....	48
7 БЕЗОПАСНОСТЬ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК	
<i>Важник Ю. П., Капский Д. В., Навой Д. В., Корзюк Д. М.</i> Энтропия дорожного движения и учет аварийности для оценки устойчивости пассажирского транспорта мегаполиса.....	51

<i>Вакуленко С. П., Головнич А. К., Нартов В. И.</i> Опыт эксплуатации высокоскоростных железных дорог за рубежом и перспективы их дальнейшего развития	53
<i>Власюк Т. А.</i> Комьюнити-ориентированная интеграция системы «пассажир – транспорт».....	54
<i>Власюк Т. А., Белоус А. Н., Минин В. Е., Цзэн Сяньфэн.</i> Оценка эффективности применения информационных услуг на железнодорожном транспорте	56
<i>Власюк Т. А., Гончарова Л. А., Житникова Я. В.</i> Особенности развития туристско-экскурсионных перевозок на железнодорожном транспорте в Республике Беларусь	57
<i>Головнич А. К.</i> Клиентоориентированные киберфизические системы на пассажирских станциях	59
<i>Гордлеева И. И.</i> Причальный подъемник как решение проблемы посадки пассажиров с берега на судно (и высадки с судна на берег).....	61
<i>Гришанкова Н. А.</i> К вопросу о текстах по безопасности пассажирских перевозок при обучении чтению на иностранном языке.....	63
<i>Евдасёв И. С.</i> Переход к нормированию средней освещенности при искусственном освещении пассажирских платформ железнодородных станций	65
<i>Жиромский С. В.</i> Основы безопасности дорожного движения средств персональной мобильности.....	67
<i>Земсков Ю. М., Куценкова Л. С.</i> Вагоны нового поколения РЖД: шаг навстречу комфорту и безопасности ..	68
<i>Капский Д. В., Рожанский Д. В., Лапский С. Л., Коржова А. В.</i> Совершенствование подготовки водителей как маршрутных пассажирских транспортных средств, так и личного транспорта	70
<i>Лю Канни.</i> Особенности использования скоростного железнодорожного транспорта в мегаполисах	72
<i>Liu Kangni.</i> Research on the average minimum headway of non-overtaking sections in high-speed railways.....	74
<i>Михальченко А. А., Коцур В. С.</i> Особенности перевозок пассажиров на Белорусской железной дороге	75
<i>Навой Д. В., Капский Д. В., Гамульский И. Г., Коржова А. В.</i> Фиксация проезда маршрутных пассажирских транспортных средств и личных автомобилей на запрещающий сигнал светофора	77
<i>Навой Д. В., Рожанский Д. В., Коржова А. В., Гамульский И. Г.</i> Переменные указатели рекомендуемой скорости для упорядочивания движения маршрутных транспортных средств	81
<i>Никитаев И. В.</i> Трап для пересадки пассажиров в экстремальных условиях эксплуатации	84
<i>Сергеева Т. Г., Кизляк О. П., Никифорова Г. И.</i> Развитие высокоскоростного сообщения в современных условиях	86
<i>Синицына В. В.</i> Реколоризация изображений и видео для машинистов с ахроматопсией с целью осуществления безопасных пассажирских железнодорожных перевозок.....	88
<i>Скиркоцкий С. В.</i> Особенности математического моделирования транспортной системы, обеспечивающие устойчивое развитие симбиотического города.....	90
<i>Скиркоцкий С. В.</i> Цифровизация транспортных систем как условие развития устойчивой городской мобильности	91
<i>Скиркоцкий С. В., Капский Д. В.</i> Проблемы и основные принципы построения модели расчета межрайонных корреспонденций с учетом транспортного спроса.....	93
<i>Ферапонтова Т. П.</i> Меры противодействия торговле людьми в Национальном аэропорту Минск.....	94
<i>Ходоскин Д. П., Михалко А. А.</i> Зарубежный опыт организации велосипедного движения с помощью защищенных велосипедных полос.....	96
<i>Юницкий А. Э., Артюшевский С. В.</i> Конструктивные особенности струнного транспорта как основа его комфорта и безопасности	98
<i>Юницкий А. Э., Артюшевский С. В., Кузьмин И. А., Куринская Г. А.</i> Снижение ветровых колебаний подвесного транспортного средства UST за счёт применения системы гиростабилизации	100

8 ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ В ОБЕСПЕЧЕНИИ БЕЗОПАСНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

<i>Абдусаттаров А., Абдукадиров Ф. Э., Хожжахматов С. Ш.</i> Формирование расчетной схемы оболочечных конструкций при переменных нагружениях.....	103
<i>Абдусаттаров А., Даминов А. Д., Матназаров Ю. О., Мурадов А. А.</i> Прогнозирование структуры тканых конструкций и деформационных свойств материалов с учетом повреждаемости	105
<i>Абдусаттаров А., Сабиров Н. Х., Матназаров Ю. О.</i> Формирование расчетной модели конического элемента изделия из упругого материала	108
<i>Ахраменко Н. А.</i> Определение сопротивления вращению колеса велосипеда	110
<i>Бабайцев А. В., Шумская С. А.</i> Моделирование напряженно-деформированного состояния изделий, изготовленных технологией селективного лазерного сплавления	112

<i>Балабанов В. В., Фирсанов В. В.</i> Напряженно-деформированное состояние подкрепленных цилиндрических оболочек на основе уточненной теории	112
<i>Барулина М. А., Кондратов Д. В., Бекренев Н. В., Злобина И. В.</i> Разработка математической модели СВЧ-нагрева многослойного композита	114
<i>Блинкова О. В., Кондратов Д. В.</i> Моделирование динамики трехслойной композитной виброопоры с вязкой сжимаемой жидкостью	116
<i>Большаков Р. С., Мозалевская А. К.</i> Оценка времени проведения технологических перерывов перевозочных процессов	118
<i>Боршевецкий С. А., Локтева Н. А.</i> Исследование применимости новой методики определения расположения дополнительных опор для цилиндрической оболочки	120
<i>Будникова Д. А.</i> Уравнения собственных колебаний пятислойного упругого стержня	121
<i>Вакуленко С. П., Кокин С. М., Филимонов А. М.</i> Преподавание курса «Прикладная математика» для магистрантов специальности «Технология транспортных процессов»	123
<i>Вахтерова Я. А., Козлов И. П., Федотенков Г. В.</i> Применение технологий глубокого машинного обучения и физически информированных нейронных сетей в решении обратных нестационарных задач по идентификации физико-механических свойств для балки Бернулли – Эйлера	125
<i>Вестяк В. А., Смагин Е. И., Мартиросов М. И.</i> Исследования несущей способности ортотропных пластин с прямыми и зенкованными отверстиями	127
<i>Волков Н. А., Куценкова Л. С.</i> Применение каучука на железной дороге.	129
<i>Горохова М. В.</i> Исследование жесткости перфорированных пластин при действии ударных нагрузок.....	131
<i>Дехтяренко Е. А., Демиденкова Я. А.</i> Симбиотическое использование цифрового двойника РЛС и технологии нейронных сетей.....	133
<i>Диденко А. А., Астапов А. Н., Сукманов И. В.</i> Методы повышения стойкости углерод-керамических композиционных материалов к окислению и абляции	135
<i>Евдокимович В. Е., Прокопенко А. И.</i> Статистический анализ на железнодорожном транспорте	137
<i>Егорова М. С., Калягин М. Ю., Рабинский Л. Н.</i> Исследование влияния пористости на физико-механические характеристики	139
<i>Ершова А. Ю., Мартиросов М. И.</i> Анализ прочности слоистой пластины из полимерного композиционного материала с концентратором напряжений в виде сквозного отверстия	140
<i>Жаворонок С. И., Кузнецова Ек. Л.</i> Связная квазитрехмерная модель обобщенно-термоупругой нетонкой анизотропной неоднородной оболочки.....	141
<i>Жаворонок С. И., Курбатов А. С.</i> Об обобщенных уравнениях Рауса аналитической динамики нетонких оболочек в задачах о дисперсии нормальных волн в неоднородных анизотропных волноводах	143
<i>Зверев Н. А., Земсков А. В.</i> О методе решения одномерной нестационарной задачи термомеханодиффузии для полых ортотропных цилиндрических тел с учетом конечной скорости распространения тепловых и диффузионных возмущений	145
<i>Земсков А. В., Тарлаковский Д. В.</i> Нестационарная механодиффузия консольно закреплённой пластины Тимошенко под действием распределённой поверхностной нагрузки.....	147
<i>Исаченко И. А., Курбатов А. С., Жаворонок С. И.</i> О решении некоторых задач безмоментной теории тонких оболочек с эффектом памяти формы.....	149
<i>Калантарлы Н. М.</i> Определение равнопрочной формы отверстия для торможения трещины продольного сдвига	150
<i>Калягин М. Ю., Рабинский Л. Н., Шумская С. А.</i> Исследование влияния пористости на физико-механические характеристики полиимидного пенопласта	152
<i>Каримов А. М., Абдусаттаров А.</i> К построению решения задач вязкоупругого композиционного слоистого стержня	153
<i>Карпович И. Н., Николайчик М. А.</i> Моделирование боковых колебаний канатного транспорта в шахтах.	156
<i>Киргинцева С. В., Можаровский В. В.</i> Определение скорости ударной волны, напора и расхода жидкости при гидроударе для двухслойных труб из композитов методом характеристик	157
<i>Кириленко А. И., Бурдин И. Л.</i> Современные тенденции развития водорода как топлива.....	159
<i>Климкович Н. М., Николайчик М. А.</i> Численно-экспериментальное исследование системы «ролик – вал» на износостойкость	161
<i>Кузнецова Е. Л., Фозилов Т. Т.</i> Влияние отжига на уровень остаточных напряжений при термической обработке материалов после ротационной сварки трением	163
<i>Лачугина Е. А.</i> Собственные колебания пятислойной круговой пластины, шарнирно опертой по контуру ..	163
<i>Леоненко Д. В.</i> Собственные колебания сэндвич-стержня	165
<i>Линник Д. А., Свистун А. Ч., Овчинников Е. В.</i> Анализ вертикальных колебаний сиденья водителя колесного трактора	166

<i>Листопад А. И., Кириленко А. И.</i> Особенности эксплуатации беспилотных летательных аппаратов в приземном слое атмосферы.....	168
<i>Лопатин С. С., Бабайцев А. В.</i> Динамические характеристики гибридных титан-полимерных композиционных материалов	170
<i>Манун М., Рабинский Л. Н.</i> Об одной модели накопления повреждений и деградации свойств для сред с расширенным спектром свойств.....	171
<i>Мартиросов М. И., Хомченко А. В., Занина Э. А.</i> Деформирование и повреждение композитной панели при ударе фрагментами пневматика авиационной шины.....	172
<i>Матуляк А. И., Астапов А. Н., Погодин В. А., Тарасова А. Н.</i> Получение покрытий на основе системы $MoSi_2-HfB_2$ на УККМ из порошковых композиций $MoSi_2-HfB_2-Si$, $MoSi_2-HfSi_2-SiB_4$ и $MoSi_2-HfB_2-HfSi_2-SiB_4$	174
<i>Мельникова А. С., Козел А. Г.</i> Изгиб прямоугольной сэндвич-пластины при различных материалах заполнителя	175
<i>Мир-Салим-заде М. В.</i> Трещинообразование в стрингерной пластине с круговым отверстием	177
<i>Могилевич Л. И., Попова Е. В., Землянухин А. И., Попов В. С.</i> Нелинейные волны в упругой оболочке с вязким газом внутри	179
<i>Можаровский В. В., Кузьменков Д. С., Киргинцева С. В.</i> Износ и напряжения в покрытиях зубьев из ортотропного материала при контактном взаимодействии в зубчатых передачах	181
<i>Мозалевская А. К., Большаков Р. С.</i> Систематизация методов диагностики остаточных напряжений	183
<i>Никифоров А. В., Сердюк Д. О., Федотенков Г. В.</i> Нестационарная динамика тонких упругих анизотропных конических оболочек	185
<i>Орехов А. А., Рабинский Л. Н., Терещенко Т. С.</i> Определение поля температур в полуплоскости при нестационарном воздействии теплового потока	187
<i>Попов В. С., Попова А. А.</i> Продольные нелинейные колебания стенки узкого канала, заполненного вязкой жидкостью	187
<i>Портнов В. И.</i> Транспортные задачи по физике.....	189
<i>Пшеничников С. Г.</i> Исследование переходных волновых процессов в слоистых композитах с наследственными свойствами.....	191
<i>Пшеничников Ю. А.</i> Асимптотика решения уравнения теплопроводности для неоднородной пластины при зависимости температуры поверхности от времени.....	192
<i>Рабинский Л. Н., Мартиросов М. И., Дедова Д. В.</i> Анализ напряженно-деформированного состояния трехслойных элементов конструкций с дефектами	194
<i>Рузиева Н. Б., Абдусаттаров А.</i> О переменном нагружении трансверсально-изотропных упруго-пластических тел.....	195
<i>Салицкий В. С.</i> Изгиб круговой пятислойной пластины локальной нагрузкой	198
<i>Старовойтов Э. И.</i> Сэндвич-пластина при резонансной нагрузке в температурном поле	199
<i>Старовойтов Э. И., Тарлаковский Д. В., Федотенков Г. В.</i> Воздействие теплового удара на вынужденные колебания трехслойной пластины	202
<i>Сунь Ин, Рабинский Л. Н., Бабайцев А. В.</i> Исследование механизма повреждения авиационных покрытий на основе высокоскоростного непрерывного воздействия струи воды	204
<i>Суслов К. В.</i> Уравнения равновесия в усилиях для пятислойного стержня.	205
<i>Суханова О. А.</i> Моделирование тепловых процессов, связанных со скольжением твердого тела по неподвижной поверхности	206
<i>Трацевская Е. Ю.</i> Экспериментальное исследование демпфирующих свойств трехфазных грунтов.....	208
<i>Тушавина О. В.</i> Методология разработки тепловой защиты теплонапряженных элементов конструкций высокоскоростных летательных аппаратов	210
<i>Фан Тунг Шон, Федотенков Г. В.</i> Исследование нестационарных процессов в термоупругих телах методами глубокого машинного обучения	210
<i>Фозилов Т. Т., Марюшина З. Л.</i> Концепция применения «умных» материалов в автомобилестроении с целью улучшения аэродинамических и ресурсных характеристик болидов Формулы-1	212
<i>Фозилов Т. Т., Марюшина З. Л.</i> О десульфурации и дефосфорации сварного шва коррозионностойких сталей посредством введения РЗЭ при орбитальной аргоно-дуговой сварке	212
<i>Черноус Д. А.</i> Расчет деформационно-прочностных характеристик перекрестно-армированного ауксетичного композита	213
<i>Шилько С. В., Дробыш Т. В., Сазанков А. П., Романович С. И.</i> Разработка и определение механических характеристик сверхсжимаемых материалов в виде направленно-армированных стекло- и углепластиков	215
<i>Юхновская О. В., Гундина М. А., Пантелеев К. В.</i> Алгоритмы автоматического определения аномальных значений из массива измерительных данных	217

9 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

<i>Быченко О. Г., Быченко О. В.</i> Изменение концепции формирования Национальной стратегии развития экономики Республики Беларусь	220
<i>Галкина И. В.</i> Международный опыт использования логистики в таможенном деле	222
<i>Гизатуллина В. Г.</i> Обеспечение экономической безопасности железной дороги в современных условиях ..	224
<i>Долинова В. А.</i> Роль транспортной системы в обеспечении экономической безопасности Республики Беларусь	225
<i>Дубина Ю. В., Жигалов В. Л.</i> О целесообразности формирования организационно-экономического механизма функционирования подвижного состава различной принадлежности	227
<i>Еловой И. А., Петрачков С. А., Дубина Ю. В.</i> Особенности перевозок грузов в вагонах различных форм собственности	229
<i>Ефремова Е. Н., Иваненко Ю. С., Калитько Ф. А.</i> Роль государства в стимулировании инновационного развития	231
<i>Кекиш Н. А.</i> Основные стратегические направления концепции развития контейнерного бизнеса в Республике Беларусь	233
<i>Коришева О. В.</i> Анализ значения интеграции системы управления рисками в операционную деятельность и стратегическое планирование оператора грузового подвижного состава	235
<i>Кравченко А. В.</i> Резерв по сомнительным долгам как шаг управления дебиторской задолженностью в системе железнодорожного транспорта	237
<i>Курьян Е. В.</i> Основные направления финансового управления в условиях кризиса	239
<i>Липатова О. В.</i> Особенности анализа эксплуатационной работы железнодорожной станции	241
<i>Маланичева Н. Н.</i> Организация взаимодействия с профильными организациями как направление повышения качества образовательного процесса	243
<i>Матусевич Е. А., Шатров С. Л.</i> Проблемы актуализации содержания основных средств на этапе цифровизации экономики	244
<i>Мельник Т. С., Христофор О. В.</i> Базисные аспекты анализа факторов воздействия на экономический потенциал железнодорожных вокзалов	246
<i>Митренкова А. В.</i> Внедрение технологий бережливого производства системы материально-технического обеспечения	248
<i>Осипенко Л. В., Колос М. М., Дубина Ю. В.</i> Основные показатели процесса доставки порожних вагонов различной принадлежности	250
<i>Пищик В. Г.</i> Создание и оценка оптимальной модели работы контейнерного терминала	252
<i>Пономаренко П. Г.</i> Искусственный интеллект как инструмент обеспечения безопасности в сфере транспорта и логистики	254
<i>Потёмкина Т. Г.</i> Управление цепями поставок предприятий строительного комплекса Республики Беларусь	256
<i>Потёмкина Т. Г., Струмилло А. А.</i> Перспективные направления совершенствования производственно-хозяйственной деятельности железнодорожной станции	257
<i>Фроленкова Е. О.</i> Цифровая трансформация системы железнодорожного транспорта как условие обеспечения экономической безопасности отрасли	259
<i>Христофорова Л. В., Христофоров Г. А.</i> К вопросам кадровой безопасности предприятий в рамках задач транспортного образования	261
<i>Шатров С. Л., Дорошкова М. А.</i> Оценка экономической безопасности организаций транспортной отрасли	263
<i>Шорец Т. В.</i> Политика экономической безопасности в управлении на железнодорожном транспорте	265
<i>Якубук Ю. П.</i> Влияние мероприятий по повышению качества транспортных услуг на уровень производительности труда на транспорте	266
<i>Яшкова Н. В.</i> Формирование профессиональных компетенций студентов через проектную работу	268

10 ТРАНСПОРТНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПРИ УГРОЗЕ И ВОЗНИКНОВЕНИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

<i>Бобрицкий С. М., Кацубо П. А., Печенев Е. В.</i> Основные тенденции в направлении развития сборно-разборных мостовых конструкций	271
<i>Бреус Р. А.</i> Анализ функционирования системы технической разведки объектов и участков транспортной инфраструктуры транспортных войск Республики Беларусь	273
<i>Демидович И. С., Чернышов О. В., Змиевский В. В.</i> Зарядное устройство на солнечных панелях для зарядки автономных приборов в полевых условиях	275
<i>Доломанюк Р. Ю.</i> Метод снижения демаскирующих признаков опор краткосрочных мостов при их сооружении в условиях активного воздействия противника с применением обычных боеприпасов	277

<i>Дробышевский К. В., Пожарицкий А. Н., Матвеев С. Н.</i> Современные технологии в сфере транспортной безопасности. Прогнозирование и предотвращение чрезвычайных ситуаций.....	279
<i>Лось В. А., Лаврентьев В. В., Леончик Е. С.</i> Варианты применения патрульных беспилотных летательных аппаратов при возникновении чрезвычайных ситуаций на транспорте	280
<i>Ляпоров Д. В., Шутов Я. В., Кацубо П. А.</i> Использование средств фото-, видеофиксации при организации диспетчерского контроля на автомобильных дорогах.....	281
<i>Малашков Д. В., Шамкин Д. В., Звездкин Н. М., Воробей В. Н.</i> Безопасность транспортных средств	285
<i>Марданов А. В., Славников Е. В., Матушко Н. С., Булыбенко В. А.</i> Инновационные подходы в развитии военно-промышленного комплекса Республики Беларусь как сдерживающий фактор агрессии недружественно настроенных стран блока НАТО.....	287
<i>Мизгирев Д. С., Власов В. Н., Тутынин Т. Д.</i> Обеспечение ситуационной безопасности экипажей и технических средств речного и морского судоходства за счет осуществления погрузочно-разгрузочных работ траверзным способом.....	289
<i>Петрусевич В. В., Томашов В. В., Шутов Я. В., Доломанюк Р. Ю.</i> Теоретическое обоснование эффективности профилактической обработки асфальтобетонных покрытий	290
<i>Печенев Е. В., Кацубо П. А.</i> Применение нетиповых конструкций и элементов для преодоления водных преград при чрезвычайных ситуациях	292
<i>Пузанов Р. О., Кирик С. В.</i> Совершенствование средств крепления ВВСТ.....	294
<i>Рамалданов А. З.</i> Безопасность объектов транспортной инфраструктуры.....	297
<i>Тимашков С. Н.</i> Анализ влияния эмпирических параметров в методике расчета погрузочно-выгрузочной способности грузового места на железнодорожной станции при погрузке воинских грузов	299
<i>Томашов В. В., Петрусевич В. В.</i> Анализ использования бортовых телематических устройств и датчиков при перевозке опасных грузов	302
<i>Цыбулько В. В.</i> Противовоздушная оборона мостов – опыт войн и военных конфликтов.....	304
<i>Якунин Д. В., Маринич В. В., Вербицкий П. С., Ефимчик К. В.</i> Чрезвычайные ситуации техногенного и экологического характера на транспорте.....	305

Научно-практическое издание

ПРОБЛЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ НА ТРАНСПОРТЕ

Материалы XIII Международной научно-практической конференции,
посвященной Году качества
(Гомель, 21–22 ноября 2024 г.)

Часть 2

Издается в авторской редакции

Технический редактор *В. Н. Кучерова*
Корректоры: *А. А. Павлюченкова, Е. Г. Привалова, Д. В. Марцинкевич*
Компьютерная верстка: *Е. И. Кудрявская, С. В. Ужанкова*

Подписано в печать 16.11.2024 г. Формат 60×84 1/8.
Бумага офсетная. Гарнитура Times New Roman. Печать на ризографе.
Усл. печ. л. 36,50. Уч.-изд. л. 35,22. Тираж 50 экз.
Зак. № 2101. Изд. № 43.

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 978-985-891-184-3



9 789858 911843