

# ИННОВАЦИОННОЕ РАЗВИТИЕ ТРАНСПОРТНОГО И СТРОИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСОВ

МАТЕРИАЛЫ МЕЖДУНАРОДНОЙ  
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ,  
ПОСВЯЩЕННОЙ 70-ЛЕТИЮ БелиИЖТа – БелГУТа

Часть 1

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

# ИННОВАЦИОННОЕ РАЗВИТИЕ ТРАНСПОРТНОГО И СТРОИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСОВ

МАТЕРИАЛЫ  
МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ,  
ПОСВЯЩЕННОЙ 70-ЛЕТИЮ БелИИЖТа – БелГУТа  
(Гомель, 16–17 ноября 2023 г.)

Часть 1

Под общей редакцией *Ю. И. КУЛАЖЕНКО*

Гомель 2023

УДК [656.0+69.0]:001.895  
ББК 39.1+38  
И66

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, Н. Н. Казаков, Е. Г. Кириченко,**  
**П. В. Ковтун, Е. Ф. Кудина, Д. В. Леоненко,**  
**В. Я. Негрей, А. А. Поддубный, А. В. Пигунов, А. О. Шимановский**

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор **Ю. М. Плескачевский**  
(член-корреспондент НАН Беларуси);  
доктор технических наук, профессор **Ю. О. Пазойский**  
(Московский государственный университет путей сообщения)

**И66** **Иновационное развитие** транспортного и строительного комплексов : материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 70-летию БелИИЖТа – БелГУТа (Гомель, 16–17 ноября 2023 г.) : в 2 ч. Ч. 1 / М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Бел. ж. д., Белорус. гос. ун-т трансп. ; под общ. ред. Ю. И. Кулаженко. – Гомель : БелГУТ, 2023. – 449 с.

ISBN 978-985-891-127-0 (ч. 1)

Рассматриваются теоретические и организационно-технические основы инновационного развития интеллектуальных транспортных систем; пути повышения надежности и долговечности подвижного состава и систем электроснабжения; информационные технологии, системы автоматизации, телемеханики и связи; прикладная экология, ресурсосберегающие и энергоэффективные технологии на транспорте; экономика транспорта и логистика в условиях цифровизации; вопросы проектирования, строительства и эксплуатации транспортных объектов.

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

УДК [656.0+69.0]:001.895  
ББК 39.1+38

ISBN 978-985-891-127-0 (ч. 1)  
ISBN 978-985-891-126-3

© Оформление. БелГУТ, 2023

**УВАЖАЕМЫЕ ПРЕПОДАВАТЕЛИ, УЧЕННЫЕ,  
АСПИРАНТЫ, СТУДЕНТЫ И РАБОТНИКИ  
БЕЛОРУССКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА ТРАНСПОРТА!**

*От имени Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь и от себя лично примите сердечные поздравления по случаю 70-летия со дня основания Белорусского государственного университета транспорта!*

*Университет имеет богатую историю и является важным научно-образовательным центром, вносящим значительный вклад в развитие экономики нашей страны. Вы являетесь ведущей организацией в области подготовки кадров для транспортной, строительной и логистической областей. Университет готовит квалифицированных специалистов, способных решать сложные задачи в самых разных сферах.*

*Сегодня БелГУТ не только предоставляет качественное образование, но и активно участвует в научно-исследовательской и инновационной деятельности, способствуя развитию транспорта, техники и технологий в Республике Беларусь. Сотрудничество с государственными органами и транспортными организациями, проведение научных исследований и разработок, а также участие в проектах национального значения подтверждают репутацию университета как лидера в данной области. Мы гордимся вашими достижениями и видим большой потенциал в развитии университета!*

*Продолжайте вдохновлять и обучать будущих инженеров и достойных руководителей для организаций нашей страны на основании традиций, сформированных за 70 лет яркой жизни Белорусского государственного университета транспорта!*

*От всей души желаю вам и вашим близким крепкого здоровья, счастья и благополучия, мира и процветания, успехов и новых профессиональных достижений!*

*С юбилеем, дорогие друзья!*

**А. А. ЛЯХНОВИЧ,**  
**Министр транспорта и коммуникаций**  
**Республики Беларусь**

## **УВАЖАЕМЫЕ УЧАСТНИКИ ЮБИЛЕЙНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ!**

*От имени оргкомитета Международной научно-практической конференции «Инновационное развитие транспортного и строительного комплексов» приветствую вас, желаю всем плодотворной работы, успехов в обсуждении сложнейших проблем транспорта и транспортного строительства.*

*Конференция проводится в год 70-летия нашего университета и посвящена этому знаменательному для нашего коллектива событию. Проведение научно-исследовательских работ по транспортной и строительной тематике всегда являлось одним из приоритетных направлений деятельности ученых и специалистов Белорусского государственного университета транспорта. В тесном сотрудничестве со специалистами Белорусской железной дороги, предприятиями транспортного и промышленного комплексов Беларуси, России, Китая, Узбекистана, Казахстана, Туркменистана учеными БелГУТа найдены эффективные технические решения в организации и совершенствовании технологий перевозок, эксплуатации и ремонте подвижного состава, пути, систем автоматики и связи.*

*Выражаю уверенность, что обмен мнениями по этим и другим вопросам, активное сотрудничество специалистов в различных направлениях деятельности позволят найти взвешенное, комплексное решение многих поставленных задач.*

*Проведение конференции мы рассматриваем как возможность ознакомить участников с научными достижениями специалистов и ученых вузов и научно-исследовательских институтов, установить новые контакты и оказать помощь транспортным и строительным организациям в решении различных научно-технических задач.*

*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 юбилейной конференции.*

*Благодарю вас за участие в работе нашей конференции и желаю всем успехов в решении научных и производственных проблем, личного счастья, крепкого здоровья!*

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

# 1 ПОДВИЖНОЙ СОСТАВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

---

УДК 629.064.5

## ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПРИМЕНЕНИЯ АКТИВНО-АДАПТИВНЫХ СЕТЕЙ SMART GRID В СИСТЕМАХ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

*О. С. АНАНЬЕВА, В. А. ЗАГОРЦЕВ, В. Н. ПОДОЛЬСКАЯ*  
*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В настоящее время возрастает интерес к интенсивно развивающемуся в последнее десятилетие во всём мире направлению научно-технологического инновационного преобразования электроэнергетики на базе новой концепции, получившей за рубежом ставшее уже практически общепринятым название Smart Grid, которое интерпретировано в различных переводах в основном как «интеллектуальная (умная) сеть (энергосистема).

В то же время однозначная и общепринятая интерпретация термина и даже однозначное понятие Smart Grid пока еще не выработано. В различных публикациях Smart Grid трактуется несколько по-разному, отражая, в первую очередь, взгляды и позиции основных заинтересованных и участвующих в развитии этого направления сторон в соответствии с их интересами. Так, государственные структуры в большинстве стран рассматривают Smart Grid как идеологию национальных программ развития электроэнергетики; производители оборудования и технологий – как перспективную «нишу» развития бизнеса, энергетические компании – как базу обеспечения их устойчивого развития, основанного на инновациях и т. д.

Один из главных, на наш взгляд, выводов проведенного анализа многочисленных опубликованных материалов по этому вопросу, в том, что за рубежом Smart Grid прежде всего – это концепция инновационного преобразования электроэнергетики в целом, а не отдельных ее функциональных или технологических сегментов, поскольку именно пересмотр ряда существующих базовых принципов, целей и задач развития электроэнергетики и вытекающие из этого масштабы и характер задач, а также прогнозируемые социальные, экономические, научно-технические, экологические и другие эффекты от их реализации обуславливают то значительное внимание, которое уделяется в мире этому направлению.

Факторы технологического прогресса:

- общая тенденция к повышению уровня автоматизации процессов;
- появление и развитие новых технологий, устройств и материалов, в том числе и в других отраслях, потенциально применимых в сфере электроэнергетического производства, и, в первую очередь, нарастающие темпы и масштабы развития компьютерных и информационных технологий;
- интенсивный рост количества малых генерирующих (в первую очередь, возобновляемых) источников энергии в мире;

Факторы роста требований потребителей:

- повышение требований к набору и качеству услуг;
- ожидание снижения ценовых параметров услуг отрасли;
- требования к информационной прозрачности системы взаимоотношений;

Факторы снижения надежности:

- нарастающий уровень износа оборудования;
- необходимость массовых инвестиций в реновацию основных фондов;
- снижение общего уровня надежности энергоснабжения;
- высокий уровень потерь при преобразовании, передаче и распределении энергии;

Факторы изменения рынка:

- изменение внутренних условий функционирования электроэнергетических рынков;
- экономическая нестабильность;
- реформирование организации функционирования электроэнергетики в большинстве стран;
- развитие рынка квот на экологически опасные выбросы;

Факторы повышения требований в сфере энергоэффективности и экологической безопасности:

- необходимость снижения воздействия на окружающую среду;
- необходимость увеличения энергоэффективности и снижения общего уровня потребления в силу прогнозируемых ресурсных и экологических ограничений.

Проведенный анализ позволил сформулировать следующие исходные положения, принятые при разработке и развитии концепции Smart Grid за рубежом.

1 Концепция Smart Grid предполагает системное преобразование электроэнергетики (энергосистемы) и затрагивает все ее основные элементы: генерацию, передачу и распределение (включая и коммунальную сферу), сбыт и диспетчеризацию.

2 Энергетическая система рассматривается в будущем как подобная сети интернет инфраструктура, предназначенная для поддержки энергетических, информационных, экономических и финансовых взаимоотношений между всеми субъектами энергетического рынка и другими заинтересованными сторонами.

3 Развитие электроэнергетики должно быть направлено на развитие существующих и создание новых функциональных свойств энергосистемы и ее элементов, обеспечивающих в наибольшей степени достижение ключевых ценностей новой электроэнергетики, выработанных в результате совместного видения всеми заинтересованными сторонами целей и путей ее развития.

4 Электрическая сеть (все ее элементы) рассматривается как основной объект формирования нового технологического базиса, дающего возможность существенного улучшения достигнутых и создания новых функциональных свойств энергосистемы.

5 Разработка концепции комплексно охватывает все основные направления развития: от исследований до практического применения и тиражирования – и должна вестись на научном, нормативно-правовом, технологическом, техническом, организационном, управленческом и информационном уровнях.

6 Реализация концепции носит инновационный характер и дает толчок к переходу к новому технологическому укладу в электроэнергетике и в экономике в целом.

Таким образом, начальной точкой разработки концепции Smart Grid в большинстве индустриально развитых стран стало формирование четкого стратегического видения целей и задач развития электроэнергетики, отвечающей будущим требованиям общества и всех заинтересованных сторон: государства, науки, экономики, бизнеса, потребителей и других институтов.

Исходя из этого концепция Smart Grid представляет собой совокупность принципов, ключевых ценностей и характеристик энергетической системы будущего и основных элементов базиса для их реализации. В рамках развиваемой концепции Smart Grid разнообразие требований всех заинтересованных сторон (государства, потребителей, регуляторов, энергетических компаний, компаний, сбытовых и коммунальных организаций, собственников, производителей оборудования и др.) сведено к группе так называемых ключевых требований (ценностей) новой электроэнергетики.

Анализ совокупности рассмотренных положений и принципов концепции Smart Grid показывает, что уровень поставленных вопросов и решаемых задач затрагивает различные сферы развития не только электроэнергетики, но и целого ряда других отраслей. Инновационные технологии, необходимые для реализации новой концепции, требуют организации проведения серьезных научных исследований и разработок не только в области энергетики, но и в областях, связанных с развитием информационных технологий, новых усовершенствованных материалов и компонентов и др.

Прогнозные модели потребления могут эффективно применяться для прогнозирования и нормирования расходов электрической энергии на тягу поездов с учетом большого числа влияющих факторов и позволяют избежать больших ошибок при нормировании, что положительным образом сказывается на экономической эффективности работы транспортных предприятий.

Применение активно-адаптивных сетей Smart Grid в системах тягового электроснабжения рельсового транспорта позволит обеспечить гибкое регулирование параметров отдельных ее элементов с учетом постоянно изменяющихся условий совместной работы систем тягового электроснабжения и электрического подвижного состава, работающего в различных режимах (тяга, рекуперация). Подобное «интеллектуальное» и гибкое управление повысит надежность работы отдельных элементов систем тягового электроснабжения, снизит риск перегрузки оборудования и уменьшит вероятность возникновения аварийных ситуаций. При этом одним из перспективных направлений по применению активно-адаптивных сетей Smart Grid в системах тягового электроснабжения является интеллектуальное управление работой накопителей электрической энергии, которая позволит сгладить резкие перепады нагрузки для оборудования тяговых подстанций и тем самым повысить надежность работы системы тягового электроснабжения в целом.

## ДВИЖЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОТОКОВ ВОЗДУХА В ГЕНЕРАТОРЕ КОНТЕЙНЕРНОГО ТИПА

*П. М. АФАНАСЬКОВ, А. П. ДЕДИНКИН, А. А. КЕБИКОВ*  
*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

*К. С. ЩЕРБАТЫЙ*  
*Моторвагонное депо Минск, Республика Беларусь*

Генераторы контейнерного типа (энергоконтейнеры) предназначены для энергоснабжения: крупнотоннажных рефрижераторных контейнеров, крупных сооружений, спортивных объектов или баз отдыха на постоянной основе. В зависимости от поставленной задачи по нагрузке и необходимой мощности, данные генераторы можно устанавливать параллельно для суммирования выходной мощности. За долгие годы эксплуатации генераторов контейнерного типа на территории США, Китая и стран Европы они зарекомендовали себя как надежные источники электрической энергии [1]. Рассматриваемый специализированный энергоконтейнер (рисунок 1, а) предназначен для автономного централизованного энергоснабжения крупнотоннажных рефрижераторных контейнеров, установленных на железнодорожных вагонах-платформах при постановке их в состав грузового поезда, для сопровождения скоропортящихся грузов. Энергоконтейнер выполнен на базе морского контейнера 1СС [2].

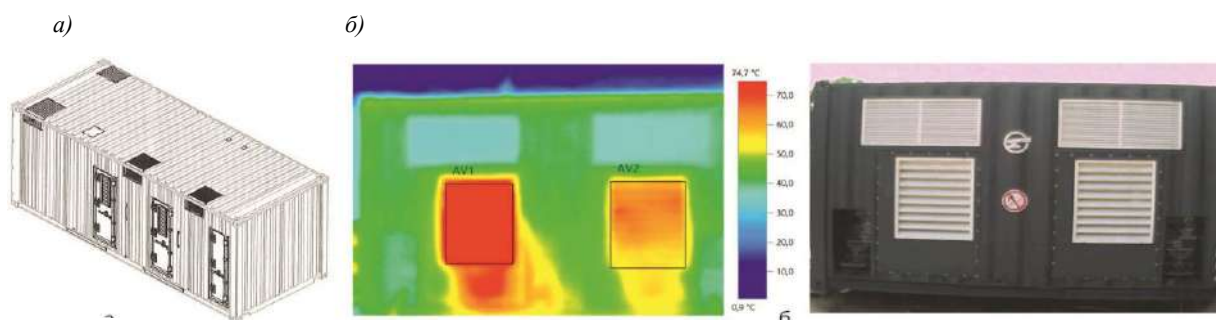


Рисунок 1 – Генератор контейнерного типа:  
а – общий вид; б – термографическое изображение боковой стены снаружи

В соответствии с заявленными характеристиками дизель-генераторная установка (два дизель-генератора DE110E2 на базе двигателя Caterpillar C4.4), размещенная в энергоконтейнере, предназначена для работы в условиях температуры окружающего воздуха до +50 °С, равно как и контейнер. Для охлаждения энергоконтейнера предусмотрена система вентиляции, которая включает четыре приточные воздушные заслонки и две воздушные заслонки для сброса отработанного воздуха от радиаторной системы охлаждения дизель-генераторной установки.

Вовремя эксплуатации энергоконтейнера на территории южных регионов были отмечены случаи аварийных остановок правой дизель-генераторной установки, вызванные превышением предельной температуры охлаждающей жидкости. При этом в соответствии с системой мониторинга нагружаемая мощность не превышала 90 % от допустимой. С целью определения температур внешней и внутренней оболочек энергоконтейнера выполнен тепловизионный контроль, а также элементов оборудования и дизель-генераторной установки при работе установки под нагрузкой (рисунок 1, б). В результате проведенных измерений установлено, что в целом при работе энергоконтейнера под нагрузкой температура воздушных масс внутри контейнера значительно возрастает относительно температуры окружающей среды. Во время измерений внутри помещения температура воздуха поднималась до 55 °С. Полученные значения температур, °С, использованы в качестве исходных данных при построении 3D-модели в CFD-среде. Разработанная модель с результатами моделирования представлена на рисунке 2.



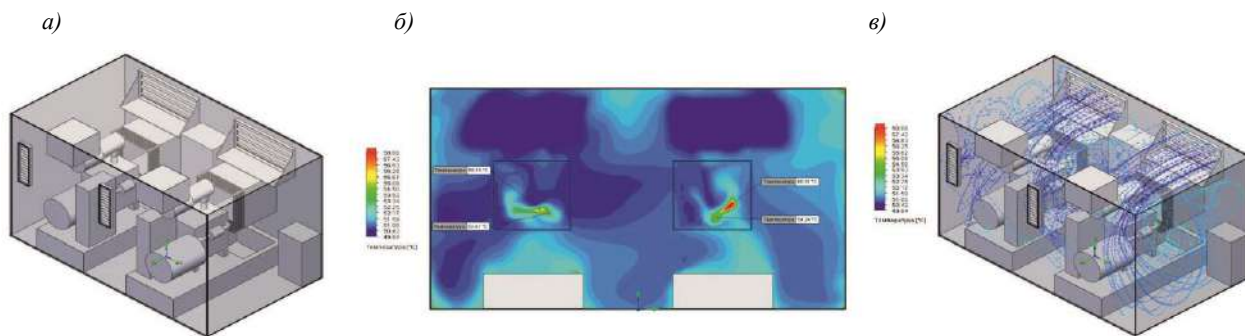


Рисунок 2 – 3D-модель стандартного исполнения энергоконтейнера:

*a* – модель; *б* – распределение температуры воздушных потоков в секущей плоскости, проходящей через радиаторы системы охлаждения дизель-генераторов; *в* – движение температурных потоков воздуха в объеме энергоконтейнера

В результате проведенных исследований было рассмотрено более 30 различных вариантов расположения дополнительного оборудования для усовершенствования системы воздушного охлаждения энергоконтейнера, которое позволяет несколько снизить температуру воздуха, поступающую на радиаторы охлаждения [3].

Оптимальным решением является установка вытяжных вентиляторов (YWF-630) в верхнее левое вентиляционное отверстие, с одновременной установкой двух дополнительных вентиляционных заслонок (VKZ 700×700) в торцевую стену (рисунок 3). При этом достаточным будет установить нагнетающий вентилятор только в нижнюю вентиляционную заслонку торцевой стены, наиболее приемлемый вариант расположения дополнительных заслонок – вертикально, одна над другой.

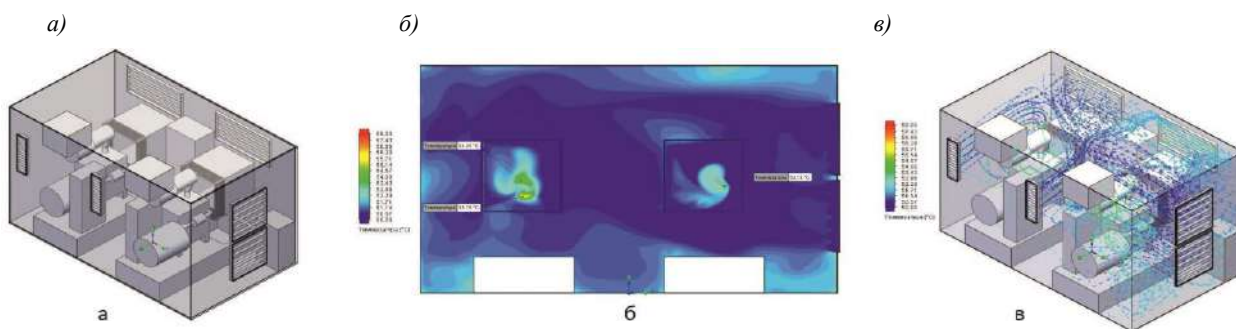


Рисунок 3 – Оптимизированная 3D-модель энергоконтейнера:

*a* – модель; *б* – распределение температуры воздушных потоков в секущей плоскости, проходящей через радиаторы системы охлаждения дизель-генераторов; *в* – движение температурных потоков воздуха в объеме энергоконтейнера

Рассматриваемое исполнение энергоконтейнера (см. рисунок 3) позволяет снизить температуру воздушных потоков, проходящих через радиаторы системы охлаждения, на 12 %. Наблюдаются незначительный распределенный нагрев части радиатора правой дизель-генераторной установки до 53,2 °С, а также допустимый точечный нагрев левой – до 55,7 °С.

#### Список литературы

- 1 **Пигарев, В. Е.** Холодильные машины и установки кондиционирования воздуха : учеб. / В. Е. Пигарев. – М. : Маршрут, 2003. – 424 с.
- 2 ГОСТ Р 53350–2009. Контейнеры грузовые серии 1. Классификация, размеры и масса. – Введ. 2017-10-26. – М. : Стандартинформ, 2018. – 28 с.
- 3 **Афанасьев, П. М.** Моделирование течения воздушных потоков в генераторе контейнерного типа / П. М. Афанасьев, А. П. Дединкин // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2021. – № 3 (71). – С. 10–18.

## ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ, УСТАНОВЛИВАЕМЫЕ ПРИ ПОДТВЕРЖДЕНИИ СООТВЕТСТВИЯ ГЕНЕРАТОРОВ КОНТЕЙНЕРНОГО ТИПА

*П. М. АФАНАСЬКОВ, А. А. КЕБИКОВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Генераторы контейнерного типа (энергоконтейнеры) являются надежными источниками электрической энергии, получили широкое распространение и в настоящее время применяются в различных сферах промышленности [1]. Они могут использоваться для автономного централизованного энергоснабжения крупнотоннажных рефрижераторных контейнеров, установленных на железнодорожных вагонах-платформах при постановке их в состав грузового поезда, для сопровождения скоропортящихся грузов. В [2] рассмотрен специализированный генератор контейнерного типа (рисунок 1), выполненный на базе морского контейнера 1СС [3].

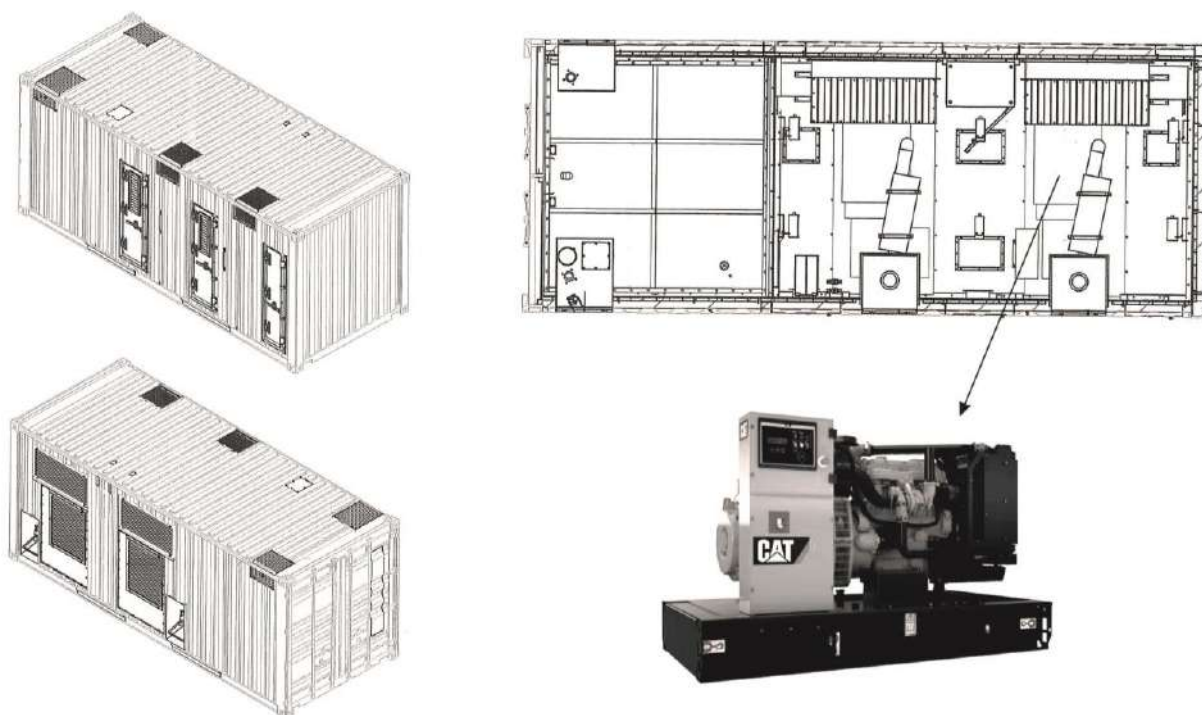


Рисунок 1 – Общий вид рассматриваемого генератора контейнерного типа

Технический регламент Евразийского экономического союза ТР ТС 001/2011 «О безопасности железнодорожного подвижного состава» (далее – ТР ТС 001/2011) [4] распространяется на вновь разрабатываемый, изготавливаемый, модернизируемый железнодорожный подвижной состав с конструкционной скоростью до 200 км/ч включительно и его составные части, выпускаемые в обращение на таможенной территории ЕАЭС для использования на железнодорожных путях необщего и общего пользования с шириной колеи 1520 мм. В соответствии с [4, приложение 4] генератор контейнерного типа может быть отнесен к составным частям железнодорожного подвижного состава, подлежащим декларированию соответствия по следующим основным схемам:

- 1) схема 3д – для продукции, выпускаемой серийно;
- 2) схема 4д – для единичного изделия или партии продукции;
- 3) схема бд – для продукции, выпускаемой серийно, при наличии у изготовителя внедренной сертифицированной системы менеджмента.

В состав комплекта документов, на основании которых может быть принята декларация о соответствии, входят:

- 1) для единичного изделия или партии продукции:
  - документ, включающий сведения об учетном или регистрационном номере заявителя;

- копия договора поставки (контракта) и товаросопроводительные документы, идентифицирующие партию продукции (в том числе ее размер) или единичное изделие;
  - копии ремонтной документации и эксплуатационных документов;
  - список стандартов, в результате добровольного применения которых обеспечивается соблюдение требований [4];
  - обоснование безопасности в случае неприменения или частичного применения стандартов (или отдельных пунктов этих стандартов), в результате применения которых обеспечивается соблюдение требований [4];
  - протоколы испытаний, исследований и измерений типовых образцов продукции;
- 2) для продукции, выпускаемой серийно, дополнительно представляются:
- договор с иностранным изготовителем (при наличии), предусматривающий обеспечение соответствия поставляемой на территорию ЕАЭС продукции требованиям [4] и ответственность за несоответствие такой продукции этим требованиям;
  - сертификат системы менеджмента изготовителя (только для схемы бд);
  - другие документы по выбору заявителя (экспертизы, результаты расчетов, протоколы испытаний и измерений, доказательство безопасности, обоснование безопасности), являющиеся основанием для принятия декларации о соответствии.

Согласно [4] к генератору контейнерного типа устанавливаются следующие требования безопасности:

- 1) при проектировании и производстве генератора контейнерного типа необходимо обеспечить:
  - надежность и безопасность работы электрооборудования при граничных и номинальных режимах электроснабжения;
  - техническую совместимость железнодорожным подвижным составом и с инфраструктурой железнодорожного транспорта;
  - электромагнитную совместимость электрооборудования генератора контейнерного типа: а) в части обеспечения безопасности работы оборудования и приборов; б) с устройствами железнодорожной электросвязи и железнодорожной автоматики и телемеханики;
- 2) конструкции генератора контейнерного типа, выбранные проектировщиком, должны быть безопасны до достижения назначенного ресурса, в течение назначенного срока службы, в течение назначенного срока хранения, а также выдерживать нагрузки и воздействия, которым они могут подвергаться в процессе эксплуатации;
- 3) уровень электромагнитных помех не должен превышать значений, в пределах которых эти помехи не оказывают влияния на работоспособность эксплуатируемого железнодорожного подвижного состава и объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта;
- 4) в руководстве по эксплуатации должны содержаться требования к безопасной утилизации по истечении назначенного срока службы (достижении назначенного ресурса) генератора контейнерного типа, а также его составных частей и комплектующих;
- 5) на генератор контейнерного типа должны быть нанесены идентификационные и предупреждающие маркировка и надписи, сведения из которых поясняются и дублируются в руководстве по эксплуатации.

Соответствие перечисленным требованиям обеспечивается как непосредственным их выполнением, так и соблюдением требований стандартов, которые включены в перечень поддерживающих стандартов к [4].

#### Список литературы

- 1 **Пигарев, В. Е.** Холодильные машины и установки кондиционирования воздуха : учеб. / В. Е. Пигарев. – М. : Маршрут, 2003. – 424 с.
- 2 **Афанасьев, П. М.** Моделирование течения воздушных потоков в генераторе контейнерного типа / П. М. Афанасьев, А. П. Дединкин // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2021. – № 3 (71). – С. 10–18.
- 3 ГОСТ Р 53350-2009. Контейнеры грузовые серии 1. Классификация, размеры и масса. – М. : Стандартинформ, 2018. – 28 с.
- 4 ТР ТС 001/2011. О безопасности железнодорожного подвижного состава / Евразийская экономическая комиссия. – Минск : Госстандарт; БелГИСС, 2012. – 46 с.

## ВЫБОР МАТЕРИАЛА ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ РЫЧАЖНОЙ ТОРМОЗНОЙ СИСТЕМЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

П. Н. БОГДАНОВИЧ, Н. В. САЗОНОВ

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Одним из важнейших факторов, определяющих безопасность движения железнодорожного транспорта, является безотказное функционирование тормозной системы вагонов и тепловозов. Интенсивное изнашивание и высокая стоимость деталей тормозной системы приводят к необходимости их восстановления, которое осуществляется наплавкой изношенных участков. К настоящему времени разработан широкий ассортимент легированных наплавочных материалов [1]. Результаты сравнительных исследований этих материалов, направленные на выбор наиболее эффективного из них, изложены в работе [2]. Однако они осуществлялись при трении без смазочного материала и при отсутствии возможности попадания абразивных частиц в зону контакта сопрягаемых деталей. На практике осуществляется как минимум разовая смазка пластичным смазочным материалом (ПСМ) во время сборки узла. Поскольку узлы трения открыты, в зазор между сопрягаемыми деталями попадают абразивные частицы.

В качестве наплавочного материала использовались Булат-1 (производства РФ); Св-08Г2С (РФ); Wearshield/Mangiet (США); LASTEK 807 (Бельгия). Моделирование работы фрикционных узлов проводилось на машине трения СМТ-1 по схеме «ролик – вкладыш». Ролик, на поверхность трения которого перед испытаниями наносился тонкий слой ПСМ «Солидол», погружался в кювету с абразивными частицами размером до 80 мкм. Контактное давление  $P$  изменялось от 0,05 до 0,35 МПа, а скорость скольжения  $v = 0,25$  м/с. Линейная интенсивность изнашивания  $I_h$  определялась взвешиванием по потере массы образца.

Установлено, что зависимость коэффициента трения  $f$  всех материалов сопрягаемых деталей от контактного давления для отражается кривой с минимумом. Это подтверждается, например, представленными на рисунке 1 результатами испытаний пар трения Булат-1 (вкладыш) – другие наплавочные материалы (ролик). Уменьшение  $f$  связано с тем, что при упругом контакте доминирует молекулярная составляющая, а повышение  $P$  вызывает малозаметное увеличение фактической площади контакта и, как следствие, несущественный рост числа молекулярных связей. При переходе к пластическому контакту  $f$  возрастает, т. к. доминирует деформационная составляющая, зависящая от глубины внедрения выступов поверхностей сопрягаемых тел.

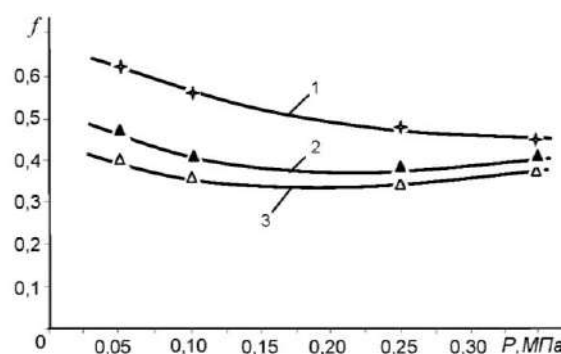


Рисунок 1 – Влияние нагрузки на коэффициент трения вкладыша (Булат-1) по ролику:  
(1 – Булат-1; 2 – Св-08Г2С; 3 – LASTEK 807)

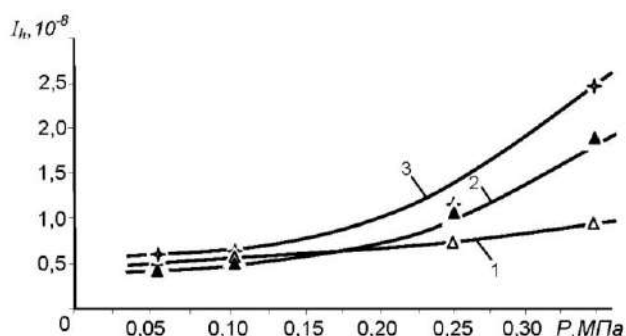


Рисунок 2 – Влияние нагрузки на суммарную интенсивность изнашивания вкладыша (слой из Булат-1) и ролика  
(1 – LASTEK 807; 2 – Св-08Г2С; 3 – Булат-1) при  $v = 0,25$  м/с

брана суммарная  $I_h$  вкладыша и ролика (рисунок 2). Показано, что наиболее износостойким является сопряжение Булат-1 – LASTEK 807 (кривая 1). Причина в том, что оба эти элемента обладают

более высокая нормальная нагрузка. Срок службы узла трения зависит от износа обеих сопрягаемых деталей, поэтому в качестве исследуемого параметра была выбрана суммарная  $I_h$  вкладыша и ролика (рисунок 2). Показано, что наиболее износостойким является сопряжение Булат-1 – LASTEK 807 (кривая 1). Причина в том, что оба эти элемента обладают

более высокая нормальная нагрузка. Срок службы узла трения зависит от износа обеих сопрягаемых деталей, поэтому в качестве исследуемого параметра была выбрана суммарная  $I_h$  вкладыша и ролика (рисунок 2). Показано, что наиболее износостойким является сопряжение Булат-1 – LASTEK 807 (кривая 1). Причина в том, что оба эти элемента обладают

более высокая нормальная нагрузка. Срок службы узла трения зависит от износа обеих сопрягаемых деталей, поэтому в качестве исследуемого параметра была выбрана суммарная  $I_h$  вкладыша и ролика (рисунок 2). Показано, что наиболее износостойким является сопряжение Булат-1 – LASTEK 807 (кривая 1). Причина в том, что оба эти элемента обладают

высокой твердостью: 560 НВ и 496 НВ соответственно. Поэтому они оказывают высокое сопротивление внедрению абразивных частиц, снижая вклад абразивного изнашивания  $\epsilon$  в суммарную  $I_h$ . Кроме того, эта пара обладает наиболее низким коэффициентом трения (см. рисунок 1), что обеспечивает невысокие контактные напряжения и сравнительно малый вклад усталостного разрушения поверхности трения в  $I_h$ . Причиной более высокой  $I_h$  сопряжения Булат-1 – СВ-08Г2С является низкая твердость наплавочного материала СВ-08Г2С (151 НВ), в поверхностный слой которого внедряются абразивные частицы, оставляя глубокие бороздки.

Несмотря на высокую твердость обоих элементов и, как следствие, малую глубину внедрения абразива, сопряжение Булат-1 – Булат-1 обладает меньшей износостойкостью, чем другие пары трения (кривая 3 на рисунке 2). Это можно объяснить тем, что контактирующие выступы поверхностей трения одноименных материалов образуют прочные мостики сварки, разрушение которых при трении сопровождается интенсивно протекающим адгезионным изнашиванием [3]. Изложенные результаты указывают на нецелесообразность, восстановления обеих изношенных деталей трибосопряжения одноименными материалами.

Увеличение нормальной нагрузки сопровождается монотонным ростом  $I_h$  всех наплавочных материалов, несмотря на снижение  $f$ . Такая зависимость  $I_h(P)$  обусловлена ростом глубины внедрения абразивных частиц в материалы трущихся деталей при повышении нормальной нагрузки. Увеличивается также вероятность разрушения граничного смазочного слоя между выступами сопрягаемых поверхностей, что способствует реализации адгезионного изнашивания.

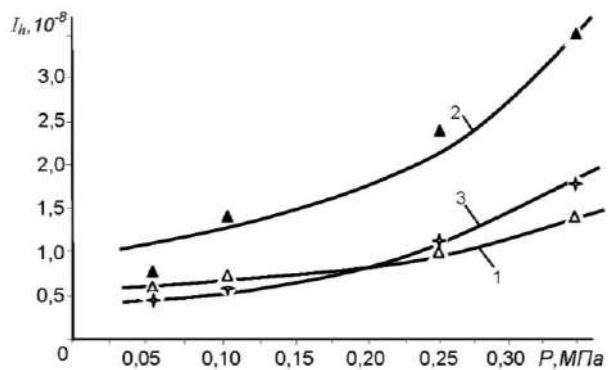


Рисунок 3 – Влияние нагрузки на суммарную интенсивность изнашивания вкладыша (Wearshield/Mangiet) и ролика (1 – LASTEK 807; 2 – СВ-08Г2С; 3 – Булат-1) при  $v = 0,25$  м/с

При трении без смазки высокое сопротивление изнашиванию оказывает Wearshield/Mangiet (496 НВ) [2]. Поэтому представляла интерес оценка триботехнических характеристик этого материала при граничной смазке. Испытания показали, что по сравнению с Wearshield/Mangiet слой Булат-1, наплавленный на вкладыш, независимо от материала ролика, обеспечивает более высокую  $\epsilon$  узла трения в целом (рисунки 2 и 3). Из-за низкой твердости материала, наплавленного на ролик, наибольшей  $I_h$  во всем исследуемом интервале нагрузке подвергается пара трения Wearshield/Mangiet – СВ-08Г2С (кривая 2 на рисунке 3). Достаточно высокой износостойкостью обладает со-

пряжение Wearshield/Mangiet – Булат-1, однако при  $P > 02$  МПа зависимость  $I_h(P)$  становится более существенной (кривая 3). Поэтому предпочтительнее в этой серии испытаний сопряжение Wearshield/Mangiet – LASTEK 807, для которого  $I_h \in (0,6...1,3) \cdot 10^{-8}$ .

Сравнительный анализ данных, представленных на рисунке 2 и 3, свидетельствует о том, что суммарная интенсивность изнашивания Булат-1 – LASTEK 807 ниже ( $I_h \in (0,6...0,8) \cdot 10^{-8}$ ), чем  $I_h$  Wearshield/Mangiet – LASTEK 807, особенно при повышении  $P$ , а зависимость  $I_h(P)$  менее ярко выражена. Следовательно, наружную цилиндрическую поверхность (вал, ролик) целесообразно восстанавливать наплавкой LASTEK 807, а внутреннюю (втулка) – материалом Булат-1.

#### Список литературы

- 1 Хасуи, А. Наплавка и напыление / А. Хасуи, О. Моригаки. – М. : Машиностроение, 1985. – 239 с.
- 2 Богданович, П. Н. Фрикционные характеристики элементов рычажной тормозной системы, восстановленных наплавкой / П. Н. Богданович, Е. В. Мироненко // Проблемы безопасности на транспорте : материалы V Междунар. науч.-практ. конф. – Гомель : БелГУТ, 2010. – С. 98–99.
- 3 Богданович, П. Н. Трение и износ в машинах / П. Н. Богданович, В. Я. Прушак. – Минск : Выш. шк., 1999. – 374 с.

## АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ РАМ ТЕЛЕЖЕК ВАГОНОВ МИНСКОГО МЕТРОПОЛИТЕНА

*Г. Е. БРИЛЬКОВ, Л. В. ОГОРОДНИКОВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

*А. М. МИХАЙЛОВСКИЙ*

*Минский метрополитен, Республика Беларусь*

Метрополитен – самый быстрый, комфортабельный, надежный и экологичный вид городского пассажирского транспорта с достаточно высокой скоростью перевозки пассажиров. Средняя эксплуатационная скорость поездов Минского метрополитена (с учетом остановок) – 40,7 км/ч. При этом обеспечивается высокая регулярность движения поездов с минимальным интервалом между поездами в час пик, который составляет 120 секунд.

Регулярное движение поездов Минского метрополитена было открыто 30 июня 1984 года. Объем перевозки пассажиров Минским метрополитеном за 2022 год составил 226 миллионов 300 тысяч человек. Среднесуточная перевозка пассажиров в прошлом году составила 620 тысяч пассажиров. Удельный вес метрополитена в перевозках пассажиров городскими видами транспорта в 2022 году составил 39,4 % и является наибольшим среди прочих видов городского транспорта. В целях повышения безопасности пассажиров, все станции метрополитена оборудованы зонами досмотра пассажиров, их багажа и крупногабаритной ручной клади, а также системой цветного видеонаблюдения с регистрацией событий в режиме реального времени и их архивацией.

В настоящее время эксплуатационная длина трех линий Минского метрополитена в двухпутном исчислении составляет 40,82 километра с 33 станциями. Из них 15 станций расположены на первой (Московской) линии, 14 – на второй (Автозаводской) и четыре – на третьей (Зеленолужской) линии метрополитена. Ежедневно по трем линиям метрополитена за 2022 год пропускалось в среднем более 1300 поездов. Инвентарный парк вагонов государственного предприятия «Минский метрополитен» составляет 390 единиц, из которых сформировано 73 пятивагонных и шесть четырехвагонных составов. В электродепо «Московское» приписаны 185 вагонов (37 пятивагонных составов) моделей 81-717, 81-714 и их модификаций, эксплуатирующихся на Московской линии Минского метрополитена. В электродепо «Могилёвское» (Автозаводская линия) приписан 161 вагон (32 пятивагонных состава и один вагон резервный) моделей 81-717, 81-714 и их модификаций, 20 вагонов (четыре пятивагонных состава) модели М110, эксплуатирующихся на Автозаводской линии. Также в электродепо «Могилёвское» (Автозаводская линия) приписаны 24 вагона модели М110, из которых сформировано 6 четырехвагонных составов, эксплуатирующихся на Зеленолужской линии. Распределение вагонов электропоездов государственного предприятия «Минский метрополитен» по годам постройки приведено на рисунке 1, а.

Количество рам тележек вагонов Минского метрополитена, находящихся в эксплуатации, составляет 780 штук, количество рам тележек в запасе на 01.04.2023 составляет 33 штуки. Годы постройки рам тележек электропоездов Минского метрополитена представлены на рисунке 1, б.

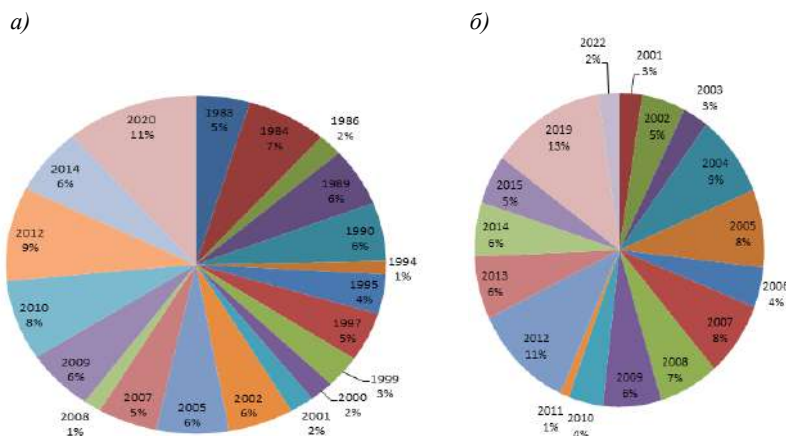


Рисунок 1 – Диаграмма распределения электропоездов и рам тележек Минского метрополитена по годам постройки

Однако одной из специфических особенностей метрополитенов являются повышенные, по сравнению с наземным транспортом, требования к надежности подвижного состава, обусловленные тоннельным движением поездов с минимальными интервалами в условиях слабого путевого развития. Другими словами, любой отказ, то есть событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния вагона метрополитена, может привести к срыву графика движения одной линии, а при тяжелых последствиях – нарушить работу всего метрополитена и транспортной системы города.

Таким образом, важнейшей характеристикой подвижного состава метрополитена являются показатели надежности, прежде всего безотказность. В настоящий момент на электроподвижном составе Минского метрополитена одним из наименее надежных узлов в конструкции вагонов серии 81-717/714 и их модификаций являются рамы тележек. Срок службы шпинтонных рам тележек указанного подвижного состава, назначенный заводом-изготовителем, составляет 16 лет, поводковых – 2,5 млн км пробега (ориентировочно 25 лет). В то же время, учитывая практику эксплуатации (вагоны курсируют по одному маршруту) и ремонта вагонов (обслуживаются в депо приписки), а также отсутствие опасных отказов металлоконструкций рам тележек вагонов метрополитена есть основания предполагать, что ресурс их несущих конструкций не исчерпан.

В связи с изложенным имеется острая необходимость определения технического состояния существующих конструкций рам тележек после длительной эксплуатации, установления соответствия их прочности требованиям актуальной нормативной документации, а также численной оценки остаточного ресурса их конструкций. В процессе работы выполнен анализ эксплуатационных повреждений металлоконструкций рам тележек вагонов Минского метрополитена серий 81-717.5, 81-714.5 и 81-717, 81-714, срок службы которых, установленный заводом-изготовителем, истек.

Основными неисправностями рам тележек в эксплуатации являются образования трещин. Трещины возникают в следующих местах рам тележек:

- около сварных швов приварки кронштейнов крепления предохранительной скобы центрального подвешивания;
- по планке кронштейна крепления предохранительной скобы центрального подвешивания;
- по наличникам;
- по окнам центрального подвешивания;
- на раме тележки около сварных швов приварки кронштейнов крепления поводков;
- на раме тележки вагона метрополитена около сварных швов приварки кронштейнов подвески тяговых редукторов;
- на раме тележки вагона метрополитена около сварных швов приварки кронштейнов гасителей колебаний;
- на сварной обвязке шпинтонных втулок;
- в зоне расположения сварных швов приварки кронштейнов крепления тормозных цилиндров к раме тележки;
- по сварному шву и основному металлу в зоне сварки усиливающей косынки окон центрального подвешивания;
- по усиливающей косынке рамы тележки;
- по основному металлу вертикальной стенки поперечной балки рамы тележки в верхней части приварки кронштейна предохранения.

Все работы по заварке трещин в элементах рам тележек выполняются в соответствии с техническими требованиями чертежей, технологических инструкций, конструкторской и технологической документацией. После производства всех сварочных работ места заварки трещин в элементах рам тележек вагонов Минского метрополитена повторно осматриваются дефектоскопистом и принимаются приемщиком вагонов. Выполненные работы по заварке трещин в элементах рам тележек и кузова регистрируют в паспорте вагона с приложением составленного акта (эскиза), где указаны место образования трещин, длина и характер. Акт составляют и подписывают мастер цеха ремонта и дефектоскопист.

В дальнейшем полученные при ультразвуковой толщинометрии данные лягут в основу разработки конечно-элементных моделей исследуемых рам вагонов для оценки их прочности с учетом выявленного коррозионного износа. Принимая во внимание результаты обследования технического состояния металлоконструкций рам вагонов, а также допуски при изготовлении металлопроката базовых элементов, необходимо выполнить комплекс дополнительных расчетов на прочность по соответствующим рекомендациям.

## Список литературы

- 1 Устройство и ремонт электропоездов метрополитена / Э. А. Сементовский [и др.] ; под общ. ред. Э. А. Сементовского. – М. : Транспорт, 1991. – 335 с.
- 2 Руководство по эксплуатации вагонов метрополитена моделей 81-714.5 и 81-717.5 / Акционерное общество «Метровагонмаш» / В. И. Гуревич [и др.] ; под общ. ред. В. И. Гуревича. – М. : Транспорт, 1993. – 447 с.
- 3 ГОСТ 33796-2016. Моторвагонный подвижной состав. Требования к прочности и динамическим качествам. – Введ. 2017–11–01. – М. : Стандартинформ, 2016. – 36 с.
- 4 **Оганьян, Э. С.** Расчеты и испытания на прочность несущих конструкций локомотивов : учеб. пособие / Э. С. Оганьян, Г. М. Волохов. – М. : Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2013. – 326 с.

УДК 629.4.053

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ ПЕРИФЕРИЙНЫХ ПУНКТОВ КОНТРОЛЯ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

*В. В. БУРЧЕНКОВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

*Г. С. КАЧКАН*

*Белорусская железная дорога, г. Минск*

При организации систем централизованного контроля ходовой части подвижного состава, в которых данные контроля со всех периферийных комплексов технических средств КТСМ обрабатываются аппаратурой АРМ ЛПК, объём передаваемых данных возрастает в 10–20 раз. Для соблюдения условия о вероятности ошибки по диагностируемой детали или узлу  $P_{и} \leq 1 \cdot 10^{-5}$ , предложена замена кабельных линий связи на волоконно-оптические линии (ВОЛС).

Возможность использования ВОЛС для передачи данных в Автоматизированной системе контроля подвижного состава АСК ПС рассмотрена на примере расчета оптоволоконной линии для железнодорожного направления Минск – Молодечно – Гудогай протяженностью 150,1 км.

В качестве системы передачи информации для проектируемой волоконно-оптической линии связи выбрана система Cisco Prime, позволяющая пакетировать и транслировать данные. Благодаря технологии Cisco Stack Wise можно объединить до 9 коммутаторов Catalyst 3750, которые будут функционировать как один логический коммутатор.

*Характеристика проектируемой трассы.* Магистраль связи строится вдоль железной дороги. Следовательно, план размещения магистральных и местных волоконно-оптических кабелей системы передачи данных будет совпадать со схемой участка железной дороги.

От здания ШЧ-1 в городе Минске трасса проектируемой линии прокладывается по существующей городской телефонной канализации протяженностью 15 км. При выходе из городской кабельной канализации в городской черте кабель прокладывается в грунт на протяжении двух километров. За городской чертой (в полосе отвода железной дороги участка Минск – Молодечно – Гудогай) кабель подвешивается на опорах высоковольтно-сигнальных линий автоблокировки ВСЛ АБ.

Расчетная часть ВОЛС выполнена с целью определения длины элементарных кабельных участков (ЭКУ), состоящих из совокупности оптического волокна и сростков, гибких соединительных кабелей и разъёмов, расположенных между двумя последовательными окончаниями участка. Расчет длины элементарного кабельного участка (ЭКУ) выполняется по двум критериям:

- затуханию оптического волокна;
- хроматической дисперсии.

Длина ЭКУ принята равной строительной длине кабеля 5 км.

*Расчёт затухания.* Потери светового излучения в оптическом волокне зависят от ряда факторов. Для инженерных расчетов использована следующая формула, которая с достаточной точностью позволяет определить затухание кабельной магистрали:

$$\alpha_k = L\alpha_{св} + n_{рс}\alpha_{рс} + n_{рс}\alpha_{рс} + \alpha_t + \alpha_{в}, \quad (1)$$

где  $L$  – длина кабеля, км;  $\alpha_{св}$  – коэффициент затухания в световодах, дБ/км;  $n_{рс}$  – число сростков (неразъёмных соединителей);  $\alpha_{рс}$  – затухание в сростках, дБ;  $n_{рс}$  – число разъёмных соединителей;



$\alpha_{pc}$  – затухание в разъёмных соединителях, дБ;  $\alpha_t$  – допуск на температурные изменения затухания оптического волокна, дБ;  $\alpha_v$  – эксплуатационный запас, дБ.

Минимальное количество сростков на регенерационном участке определено как

$$n_{cp} = \frac{L}{L_{стр}} - 1, \quad (2)$$

где  $L_{стр}$  – строительная длина кабеля, км.

Максимально допустимая длина регенерационного участка определяется чувствительностью системы передачи и рассчитана по формуле

$$L_y = \frac{\mathcal{E}_{max} - \alpha_z - n_{pc}\alpha_{pc} - \alpha_t}{\alpha_{св} + \frac{\alpha_{сс}}{L_{стр}}}, \quad (3)$$

где  $L$  – длина кабеля, км;  $\mathcal{E}_{max}$  – максимальная чувствительность аппаратуры передачи,  $\mathcal{E}_{max} = 35$  дБ·м;  $\alpha_z$  – эксплуатационный запас в ВОЛС, необходимый для компенсации потери мощности сигнала,  $\alpha_z = 6 \dots 10$  дБ;  $n_{pc}$  – число разъёмных соединителей,  $n_{pc} = 2$ ;  $\alpha_{pc}$  – затухание в разъёмных соединителях,  $\alpha_{pc} = 0,3$  дБ;  $\alpha_t$  – допуск на температурные изменения затухания оптического волокна, дБ;  $\alpha_{св}$  – коэффициент затухания в световодах (для кабеля марки ОКЛК-01-16-0,2/18),  $\alpha_{св} = 0,2$  дБ/км;  $\alpha_{сс}$  – затухание в сварных соединениях (сростках),  $\alpha_{сс} = 0,05$  дБ;

Расчеты показали, что распределение энергетического потенциала  $P$ , дБ·м на ВОЛС Минск – Молодечно – Гудогай составило от  $-5$  до  $-18$  дБ·м.

Длина регенерационного участка проектируемой ВОЛС:

$$L_y = \frac{35 - 6 - 2 \cdot 0,3}{0,2 + \frac{0,05}{5}} = 135,238 \text{ км.}$$

Таким образом, на расстоянии не более 135 км должны быть установлены оптические усилители EDFA.

Произведем расчет количества оптических усилителей:

$$n_{EDFA} = \frac{L}{L_y}. \quad (4)$$

Подставляя в (4) значения  $L$  и  $L_y$ , получаем

$$n_{EDFA} = \frac{150,1}{135,238} = 1,11.$$

*Расчёт дисперсии.* Расчет элементарного кабельного участка (ЭКУ) по дисперсии производится при проектировании новых линий связи с целью определения расстояний, через которые устанавливаются регенераторы.

Полное значение дисперсии равно сумме хроматической и поляризационной модовой дисперсии и вычисляется по формуле

$$T_D = \tau_{chr} + \tau_{pmd}, \quad (5)$$

где  $\tau_{chr}$  – полное значение хроматической дисперсии для ВОЛС;  $\tau_{pmd}$  – полное значение поляризационной модовой дисперсии для ВОЛС.

Значение полной хроматической дисперсии на направлении Минск – Молодечно – Гудогай составляет  $\tau_{chr} = 3,5 \cdot 0,08 \cdot 150,1 = 42,028$  пс. Для вычисления поляризационной модовой дисперсии  $\tau_{pmd}$  линии связи, состоящей из нескольких участков, выполняют процедуру статистического суммирования.

Приведенные расчеты подтверждают перспективность использования ВОЛС для передачи данных в системе АСК ПС для Белорусской железной дороги. Строительство ВОЛС путем размещения оптоволоконного кабеля на опорах ВСЛ АБ существенно удешевляет стоимость проектируемой линии.

## ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ МОДУЛЬНОЙ ТОРМОЗНОЙ СИСТЕМЫ

*Е. В. БЫКОВСКИЙ*

*ЗАО «Струнные технологии», г. Минск, Республика Беларусь*

Ключевой системой, обеспечивающей безопасность функционирования транспорта и выполнения грузопассажирских перевозок, является тормозная система подвижного состава. В рамках настоящего исследования обоснована концепция модульной тормозной системы (МТС), которая предназначена для регулирования снижения скорости подвижного состава, его удержания на одном месте на длительное время. Отличия (преимущества) предлагаемой МТС подвижного состава от классической (рисунок 1) заключаются в следующих аспектах [1].

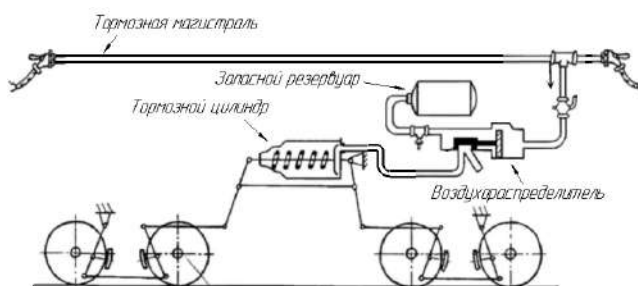
1 Использование источника тормозной силы. В классической схеме используется сжатый воздух, в предлагаемой схеме тормозное усилие создаётся за счёт заранее сжатой мощной пружины, в то время как усилие от пружины регулируется через угол наклона рычага.

2 Компоновка подвижного состава. В классической схеме компоненты тормозной системы установлены по всему вагону, вследствие чего компоновка усложняется. В предлагаемой схеме тормозной механизм установлен над каждым колесом либо парой колёс тележек вагона; при этом не нужно протягивать тормозную магистраль через все вагоны.

3 Быстродействие системы. В классической схеме во время торможения необходимо время, чтобы воздух из запасного резервуара отодвинул золотник воздухораспределителя и попал в тормозной цилиндр, после чего необходимо время для создания давления на преодоление возвратной пружины и создание тормозной силы. В предлагаемой схеме МТС изменение тормозной силы происходит быстрее за счёт поворота рычага на определённый угол.

4 Безопасность системы. В классической схеме компоненты системы работают комплексно (сообща); если какой-то один из компонентов выходит из строя, то вся тормозная система или один из её контуров становятся неработоспособными. В предлагаемой тормозной системе тормозные механизмы устанавливаются над каждым колесом и работают независимо друг от друга; в случае выхода из строя одного из тормозных механизмов остальные продолжают работать.

а)



б)

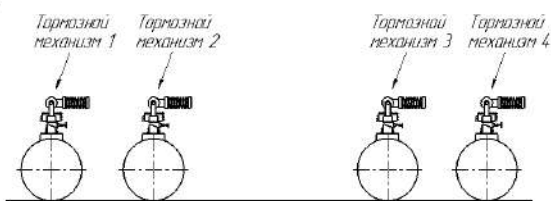


Рисунок 1 – Классическая (а) и предлагаемая (б) схемы тормозной системы подвижного состава

На Рисунок 2 показана схема предлагаемого тормозного механизма. Тормозной механизм в МТС представляет собой поворотный рычаг, на котором установлена сжатая мощная пружина 1, создающая тормозное усилие. Сама пружина одной стороной упирается в рычаг 2, а другой стороной упирается в шток 3, где тот, в свою очередь, имеет свободное прямолинейное перемещение вдоль оси пружины. Шток пружины 3 соединяется к вертикальному штоку 5 через шарнирное соединение 4. Максимальный угол поворота рычага составляет 90 градусов, а производится поворот от шагового электродвигателя 10. Чтобы компенсировать уменьшающуюся высоту колодок из-за износа, используется клин 6 между колодкой 7 и вертикальным штоком 5. В процессе эксплуатации системы, клин 6 всё глубже выдвигается, прижимая изношенную колодку 7 вниз к колесу 8, а вертикальный шток, на котором крепится рычаг, подпирается вверх до упора так, чтобы ось крепления рычага 9 и ось шарнирного соединения пружинного штока 4 были соосны.

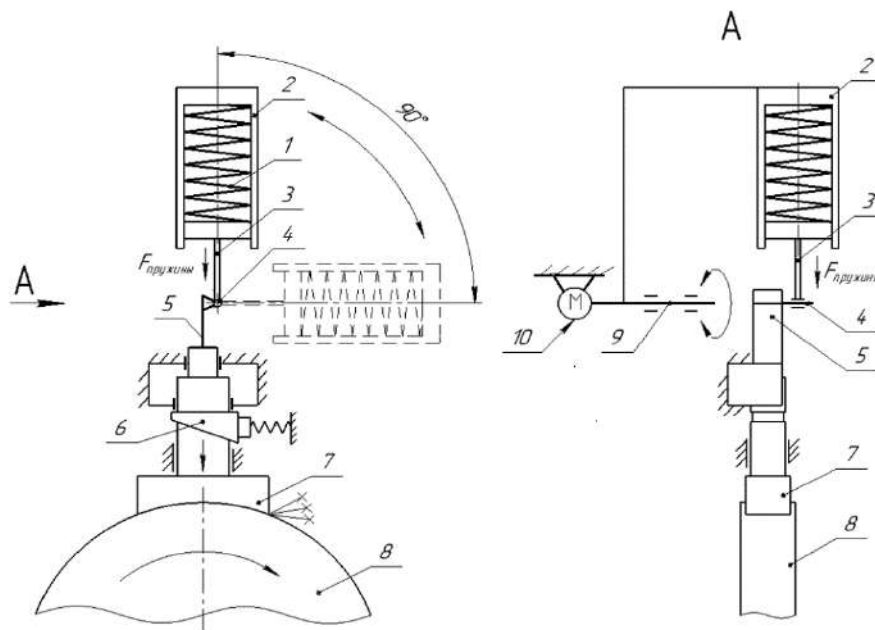


Рисунок 2 – Схема предлагаемого тормозного механизма МТС

При растормаживании рычаг с пружиной располагается перпендикулярно штоку с колодкой, и усилие на колодку равняется нулю (рисунок 3, а). При повороте рычага угол между штоком и рычагом уменьшается, и усилие от пружины на колодку увеличивается (рисунок 3, б). При максимально повернутом рычаге усилие от пружины параллельно пути движения штока, и на колодку приходит-ся максимальное усилие от пружины (рисунок 3, в).

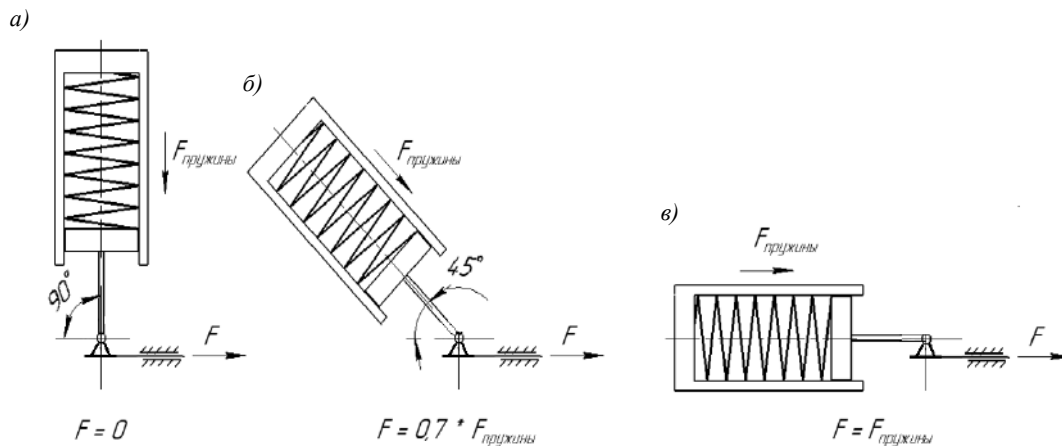


Рисунок 3 – Работа тормозного механизма:  
 а – усилие на колодку равно 0; б – усилие на колодку равно 0,7 от усилия пружины;  
 в – усилие на колодку равно усилию пружины

Таким образом, использование МТС позволяет упростить компоновку подвижного состава, увеличить скорость создания тормозного усилия по сравнению с классической воздушной системой, отказаться от рабочего тела, у которого есть возможность утечки в виде сжатого воздуха, тем самым сделав систему более безопасной. Рассмотренная концепция тормозной системы может найти применение как в железнодорожном транспорте, так и в автомобильном (грузовые автомобили).

#### Список литературы

1 Галай, Э. И. Тормозные системы железнодорожного транспорта. Конструкция тормозного оборудования : учеб. пособие / Э. И. Галай, Е. Э. Галай. – Гомель : БелГУТ, 2010. – 315 с.

## АНАЛИЗ СПОСОБОВ ОЧИСТКИ ДЕТАЛЕЙ И УЗЛОВ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ ОТ КОРРОЗИОННЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ. СРАВНЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

*С. М. ВАСИЛЬЕВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

*А. А. СЕВРУК*

*Белорусская железная дорога, г. Гомель*

Качество ремонта грузовых вагонов остается одной из сложнейших проблем, а ремонт и испытание тормозного оборудования – одного из важнейших узлов, отвечающих за безопасность движения – в особенности.

Могилевское вагонное депо специализируется на ремонте хоппер-минераловозов и хоппер-цементовозов. В последнее время депо освоило ремонт полувагонов как одного из наиболее востребованных подвижных составов на Белорусской железной дороге. При этом условия ремонта приближены к заводским. Проводятся деповской ремонт, капитальный ремонт, капитальный ремонт повышенного объема, включающий смену элементов: крыши, обшивки, обвязки с применением окраски в дробеструйно-окрасочном комплексе. Правильная очистка обеспечивает оптимальную производительность, внешний вид и долговечность деталей.

В данной статье рассмотрены различные методы очистки деталей вагонов, сферы их применения, преимущества и особенности.

Необходимость разработки наиболее эффективных методов очистки деталей и узлов грузовых вагонов от коррозионных и других повреждений, выработка решения по совершенствованию существующих способов очистки являются наиболее важными задачами в настоящее время для проведения качественного ремонта, а также сохранения, использования полного ресурса подвижного состава в течение жизненного цикла. Примеры состояния деталей грузовых вагонов при поступлении их в плановые виды ремонта представлены на рисунке 1.

а)



б)



в)



г)



Рисунок 1 – Состояние деталей вагонов, поступающих в ремонт:  
а – тормозной цилиндр 188-Б полувагона; б – рабочая камера 295М.001 полувагона;  
в – рабочая камера 295М.001 цементовоза; г – главная часть 270.023 цементовоза

При выборе метода очистки деталей и узлов грузовых вагонов преимущество за современными методами, которые соответствуют правилам и нормам безопасности, требованиям охраны труда и охраны окружающей среды.

Определенные методы очистки (химическая, электрохимическая и ультразвуковая) требуют соответствующей вентиляции, средств индивидуальной защиты и особых мер по утилизации отходов. Сравнение методов очистки по основным технологическим параметрам представлено в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнение методов очистки

Метод очистки	Воздействие на поверхность деталей и узлов	Технологичность процесса	Безопасность и экологичность процесса	Стоимость
Химическая, электрохимическая и ультразвуковая	Не повреждает поверхность	Низкая/Средняя	Требуется специальная защита оператора и утилизация токсичных растворителей. Ядовитые испарения. Источник загрязнения окружающей среды. Большие затраты электроэнергии	Низкая/Средняя/Высокая
Дробеструйная	Повреждает поверхность	Низкая/Средняя	Требуется специальная защита оператора, загрязненные отходы (дробь, удаляемый материал и т. д.)	Низкая/Средняя
Очистка сухим льдом	Деликатное воздействие на поверхность	Низкая/Средняя	Загрязненные отходы (удаляемый материал). Шумный процесс	Средняя/Высокая
Лазерная	Не повреждает поверхность	Средняя/Высокая	Низкое количество отходов в виде испаряемого материала	Высокая стоимость аппаратуры. Низкая стоимость эксплуатации

**Дробеструйная очистка деталей.** Метод работы заключается в очистке покрытия металла абразивными частицами при помощи кинетической энергии. Сильная струя воздуха направляет частицы на поверхность материала с огромной скоростью, которая может достигать 730 м/с. Для обработки используют специальное оборудование, где до высокой скорости разгоняют частицы, а затем направляют на поверхность. Оборудование, применяемое для очистки, приведено на рисунке 2.

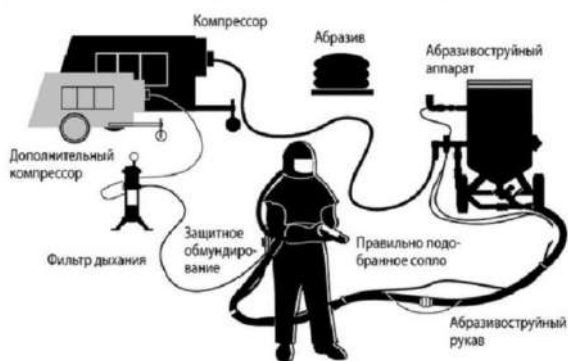


Рисунок 2 – Оборудование для дробеструйной очистки деталей

Так как метод подразумевает использование абразивных частиц, существуют различные виды, применение которых зависит от обрабатываемого материала. В Могилевском вагонном депо в качестве абразивного материала для очистки кузовов вагонов применяется стальная дробь, которая хорошо устраняет грязь и ржавчину и повышает физические свойства металла. Данный абразив отлично справляется с удалением ржавчины, окалины и налета, а также хорошо подготавливает поверхность к дальнейшему нанесению на нее лака, краски, эмали и других покрытий.

Применение данного метода очистки хорошо подходит для очистки кузова вагона в целом в закрытом участке. Однако при проведении депоовского ремонта этот метод не подходит, так как полной очистки кузова вагона не требуется. Здесь необходимы точечные методы очистки тормозных приборов перед ремонтом как снимаемых с вагона с дальнейшей передачей их в контрольный пункт автотормозов, так и не снимаемых (например, рабочая камера).

Кроме этого, существуют недостатки такого метода очистки:

- установка не позволяет произвести очистку деталей в некоторых труднодоступных местах, а сами процессы очистки имеют низкий уровень автоматизации, необходимо постоянное присутствие оператора;
- трудоемкость очистки дроби от очищаемого материала для повторного использования;
- риск повреждения деталей из-за высокого давления;

– толщина стенки обрабатываемых деталей не должна быть менее 3 мм, в противном случае рельеф покрытия на металле после такой очистки может быть не ровным.

**Очистка сухим льдом.** Технология является инновационным методом очистки без повреждения поверхности. Принцип заключается в струйном распылении гранул сухого льда под высоким давлением. Сухой лед представляет собой твердую форму двуокиси углерода  $\text{CO}_2$ . Гранулы вылетают из сопла с высокой скоростью и, попадая на поверхность, сбивают загрязнения.

Сухой лед – это твердое агрегатное состояние углекислоты.  $\text{CO}_2$  – это бесцветный газ, без вкуса и запаха, также содержится в атмосфере. Температура твердой формы –  $-78,33\text{ }^\circ\text{C}$ . Особенность этого вещества в том, что оно переходит из твердого состояния в газообразное, минуя жидкое агрегатное состояние. Этот процесс называется сублимацией. Производят сухой лед из жидкой углекислоты с помощью ее прессования при высоком давлении около 300 атм.

Процесс очистки сухим льдом происходит при выходном давлении от 7 до 14 бар. За счет давления сжатого воздуха гранулы разгоняются до скоростей, близких к скорости звука. Сейчас в большинстве случаев для очистки применяют стандартное магистральное давление в диапазоне 2,0–6,9 бар. Поток гранул с высокой скоростью, попадая на поверхность, создает большое механическое воздействие. При этом частицы сухого льда, попадая на поверхность, имеющую температуру, большую, чем температура агрегатного состояния сухого льда, начинают сублимироваться. Поэтому происходит расширение гранул сухого льда. При расширении в 700 раз частицы сухого льда оказывают сильное очищающее воздействие. При ударе гранулы взрываются, создавая высокоскоростной поток снега, который смывает, словно струей воды, ржавчину и наслоения с обрабатываемой поверхности (рисунок 3, а).

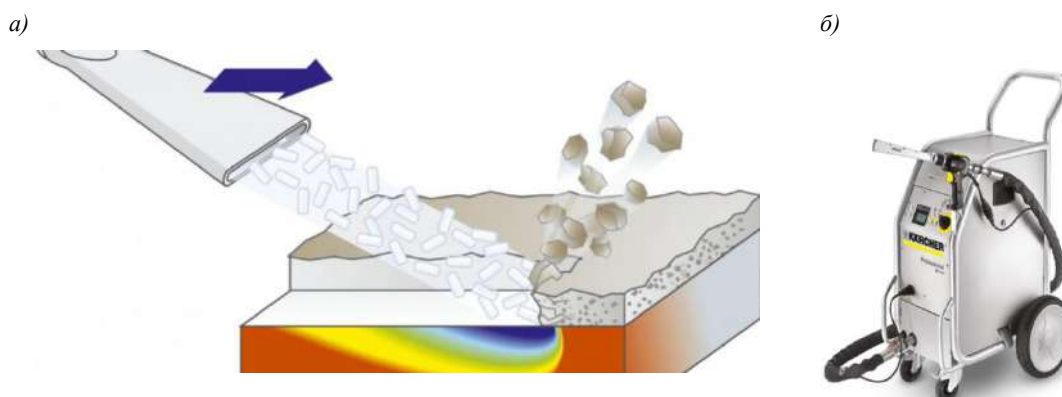


Рисунок 3 – Процесс очистки сухим льдом (а) и общий вид установки для струйной обработки сухим льдом (б)

Технология очистки сухим льдом позволяет проводить работы, не прерывая производственных процессов, т. е. сокращает до минимума периоды простоя оборудования, тем самым способствуя снижению затрат и увеличению прибыли.

Благодаря высокому качеству процесса очистки и уменьшению времени простоя оборудования, отсутствию демонтажа сокращаются до минимума затраты на техническое обслуживание оборудования, отпадает необходимость в применении химических продуктов и растворителей. Всё это позволяет сократить сроки окупаемости инвестиций.

По сравнению с абразивной очисткой у данной технологии существуют и плюсы, и минусы. К плюсам относится, то что сухой лед не повреждает поверхность, и после очистки остаются только загрязнения. После абразивной же обработки, остается еще и сам материал абразива, который надо тоже утилизировать. Сам материал абразива дешевле и доступнее, чем сухой лед. Но при этом требуются демонтаж и последующая обработка поверхности, что ведет к дополнительным затратам, хотя эффективность и быстрота очистки сухим льдом превосходит абразивную очистку.

Еще одним преимуществом является мобильность оборудования (рисунок 3, б), которое генерирует и подает под давлением гранулы сухого льда. Непосредственно сами бластеры – установки для очистки – не больше обычных моек. Они, как правило, комплектуются колесами и ручками для удобства транспортировки, весят от 30 до 100 кг. Бластеры работают от готового сухого льда, который предварительно загружается в специальный контейнер.

**Принцип лазерной очистки.** Лазерная абляция, или световая абляция, – это процесс удаления материалов с твердых поверхностей путем облучения их лазерным лучом. При низком лазерном потоке материал нагревается и испаряется или сублимируется поглощенной лазерной энергией. При высоком лазерном потоке материалы обычно превращаются в плазму.

Луч, излучаемый лазером, поглощается слоем загрязнителя на обрабатываемой поверхности. При поглощении большой энергии образуется быстро расширяющаяся плазма и возникают ударные волны. Ударные волны разбивают загрязняющие вещества и удаляют их.

Схема процесса лазерной очистки (рисунок 4) предельно проста: излучение импульсного лазера фокусируется на поверхности детали. Причем размер пятна должен быть таким, чтобы плотность мощности излучения за время импульса приводила к быстрому повышению температуры поверхностного слоя до температуры его разрушения (испарения или сублимации). Ориентировочная величина такой плотности мощности составляет 107–1010 Вт/см<sup>2</sup> и более.

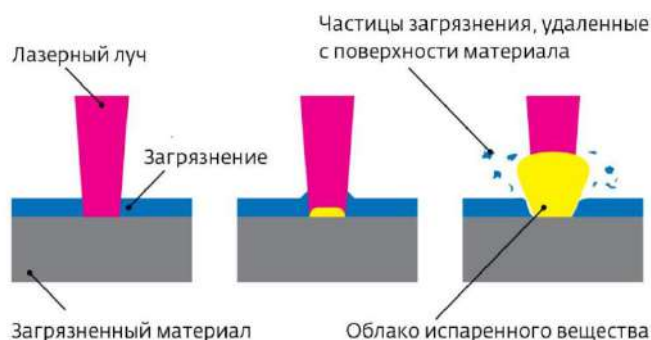


Рисунок 4 – Схема процесса лазерной очистки

– высокая скорость обработки рабочих поверхностей.

**Сравнение лазерной очистки и очистки сухим льдом.** Очистка сухим льдом широко используется в промышленном производстве. Она применяется для удаления ржавчины и краски. Обработка сухим льдом является важной частью промышленной очистки.

Лазерная очистка – самый передовой и новый промышленный метод очистки, разработанный 17 лет назад. В последние четыре года она также часто применяется для удаления краски и ржавчины, загрязнений маслом, а также чистки от нагара, например пресс-форм заготовок, и в автомобилестроении.

Очистка сухим льдом в основном сравнивается с традиционными химическими чистящими средствами. Большинство преимуществ, которыми она обладает, относятся к экологичности и качеству очистки поверхности.

Как новый промышленный метод очистки лазерная очистка компенсирует недостатки очистки сухим льдом и имеет более широкий спектр применения. Можно сказать, что это модернизированная и улучшенная версия очистки, лучшая версия очистки сухим льдом.

Как новая технология, заменяющая традиционную очистку, лазер имеет очевидные преимущества перед традиционными методами:

- отсутствие шума и загрязнения окружающей среды;
- отсутствие механических напряжений;
- нулевая потеря прецизионных приборов;
- отсутствие ущерба для здоровья операторов.

Помимо вышеперечисленных преимуществ самым важным элементом лазерной очистки является стоимость: стартовая цена машины лазерной очистки минимальной мощности составляет более 10 000 дол., а мощного очистного оборудования – зачастую десятки тысяч.

Однако рынок имеет глубокие деловые контакты и долгосрочную инерцию использования старого метода очистки. Три-четыре мощных производителя лазерной очистки всё же не могут закрыть и вытеснить такую огромную сеть покрытия, как индустрия очистки сухим льдом (при этом первоначальная инвестиционная стоимость этой технологии непомерно высока).

Хотя лазерная очистка имеет преимущества, требуется время, чтобы рынок принял её. В связи с быстрым развитием индустрии лазерной очистки считается, что она будет известна и принята рын-

При фокусировке излучения в пятно диаметром порядка 0,2 мм для достижения такой плотности мощности достаточно использовать импульсный волоконный лазер со средней мощностью всего 10 Вт. Преимуществами способа:

- высокое качество зачистки;
- автоматическое отключение фокусирующего луча после окончания зачистки;
- наличие функции защиты от выхода излучения за пределы заготовки;
- возможность работы с комбинированными материалами;

ком в ближайшие несколько лет и станет наиболее эффективным методом очистки для замены традиционной чистки песком, химией или сухим льдом.

Исходя из полученных данных можно сделать вывод о том, что при использовании данного метода очистки элементов тормозного оборудования происходит быстрая окупаемость оборудования и, как следствие, экономия капитальных средств (при ремонте) собственников подвижного состава (в частности, Белорусской железной дороги) на покупке нового тормозного оборудования. Также немаловажным фактором является возможность применения установки на подвижном составе при выполнении очистки кузовов, поврежденных коррозией.

#### Список литературы

- 1 Лазерная очистка в машиностроении и приборостроении / В. П. Вейко [и др.]. – СПб. : НИУ ИТМО, 2013. – 103 с.
- 2 Лазерная очистка экономически эффективна и надежна [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://photonica.pro/2019/08/01/lazernaya-ochistka-ekonomicheski-effektivna-i-nadezhna>. – Дата доступа : 10.08.2023.
- 3 Вейко, В. П. Лазерная очистка поверхностей металлов: физические процессы и применение / В. П. Вейко, Т. Ю. Мутин [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://cyberleninka.ru/article/n/lazernaya-ochistka-poverhnostey-metallofvizicheskie-protsessy-i-primeneniye/viewer>. – Дата доступа : 18.07.2023.
- 4 Технологии лазерной очистки поверхностей [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.rnlt.su/ru/lazertehnologii/laser-ochistka>. – Дата доступа : 12.07.2023.

УДК 629.463.62.002.7

### КРЕПЛЕНИЕ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ГРУЗОВ ПРИ ТРАНСПОРТИРОВКЕ РАЗЛИЧНЫМИ ВИДАМИ ТРАНСПОРТА

*И. А. ВОРОЖУН, А. В. ВОРОЖУН*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В настоящее время в Республике Беларусь при подготовке груза к транспортированию необходимо руководствоваться межгосударственным стандартом ГОСТ 26653–2015 «Подготовка генеральных грузов к транспортированию. Общие требования». За введение этого стандарта помимо Беларуси проголосовали Армения, Казахстан, Киргизия, Россия и Таджикистан. Этот стандарт устанавливает общие требования по подготовке генеральных грузов к транспортированию в прямом и смешанном сообщениях автомобильным, железнодорожным, воздушным и водными видами транспорта. Генеральные грузы – это различные штучные грузы, например металлопродукция, крупногабаритные и тяжеловесные грузы, железобетонные изделия и т. п. Действие стандарта распространяется как на международные, так и на внутренние перевозки. В приложениях стандарта приведены нормативные динамические нагрузки на соответствующем виде транспорта, а также технические характеристики материалов с повышенным коэффициентом трения.

На каждом виде транспорта существует понятие крупногабаритного груза. Так, при автомобильных перевозках транспортное средство с грузом или без груза считается крупногабаритным, если его размеры превышают хотя бы один из следующих показателей: по высоте 4,0 м от поверхности дороги, по ширине 2,5 м, по длине 20 м для автопоезда с одним прицепом (полуприцепом) и 24 м для автопоезда с двумя и более прицепами, а также если груз выступает за заднюю точку габарита транспортного средства более чем на 2 м. Для того чтобы не превысить указанные показатели при перевозке труб большого диаметра, автотранспортное средство оборудуют турникетными устройствами. Для перевозки длинномерных труб предлагается использовать автопоезд, включающий тягач и прицеп-ропуск. На тягаче и прицепе-ропуске установлены поперечные балки с ложементами для размещения труб, причем на прицепе-ропуске ложементы закреплены жестко, а на тягаче с возможностью перемещения – в поперечной плоскости. Продольные перемещения труб при неустановившихся режимах движения (трогании с места, торможении) ограничиваются канатами, закрепленными на торцах труб и поперечных балках. В трубовах применяются легкоъемные сменные подкладки, обеспечивающие быструю переналадку под трубы другого типоразмера, и гибкие прокладки, исключающие взаимное соприкосновение труб. Однако такое крепление не всегда может исключить смещения верхних ярусов труб при резком торможении. Это, в свою очередь, может стать причиной повреждения торцевой поверхности, форма которой изначально делается



такой, чтобы обеспечить герметичное соединение труб при их укладке. Опыт разработки схем крепления металлопроката на автотранспортных средствах показал, что здесь имеются существенные отличия по сравнению с креплением грузов в вагонах. Оказалось, что даже при одинаковых размерах кузова автомобиля в плане, кольца для крепления грузов находятся в разных местах. Поэтому разработать единую схему размещения и крепления грузов, пригодную для применения на различных автомобилях, невозможно.

При перевозке труб морским транспортом необходимо проектирование специализированной тары. Для расчета крепления этой тары на палубе необходимо учитывать следующие факторы: фактическую массу тары; подверженность внешнему воздействию моря и ветра; напряжения, возникающие в системе крепления, корпусе судна, люковых закрытиях и таре; условия устойчивости судна. Как правило, груз укладывают на палубу в определенное количество рядов и ярусов, образуя тем самым блоки. Взаимное месторасположение тары должно быть таким, чтобы оно обеспечивало достаточный доступ для судового / берегового персонала, производящего крепление либо инспекцию тары. Следует отметить и разработку нового средства крепления контейнеров с грузом на судне. Его конструкция предусматривает наличие элемента, который фиксирует, можно ли повторно использовать крепление, нет ли у него пластического деформирования. Это может снизить риск повреждения груза при повторном использовании разработанного средства крепления.

Размещение и крепление грузов на железнодорожном подвижном составе регламентируется техническими документами. Для перевозки груза, способ размещения и крепления которого не предусмотрен техническими документами, грузоотправитель обязан разработать чертежи размещения и крепления груза, а также выполнить расчеты в соответствии с требованиями, изложенными в этих документах. Способы размещения и крепления грузов на открытом подвижном составе, не предусмотренные техническими документами, должны подвергаться экспериментальной проверке: испытанию на соударение вагонов (ударным испытаниям), поездным испытаниям и опытным перевозкам. После проведения испытания на соударения вагоны подвергаются поездным испытаниям. Для быстрой остановки применяют экстренное торможение поезда. Существующая методика расчета крепления грузов учитывает не все факторы, действующие на груз при перевозке. Поэтому силы, действующие как на перевозимый груз, так и на элементы их крепления, могут быть определены с недостаточной степенью точности. При определении параметров креплений расчеты выполняют как для случая соударения вагонов, так и для экстренного торможения, причем чаще всего ограничиваются вариантом соударения вагонов.

Выполненный анализ показал, что к настоящему времени большое количество исследований направлено на разработку методик расчета устройств одноразового пользования для крепления груза на железнодорожном транспорте. В меньшей степени исследований выполнено в области разработки многооборотных устройств крепления груза, характерных для массовых перевозок. На автомобильном транспорте крепление груза осуществляется, в основном, стяжными ремнями. Причем груз удерживается от смещения под действием инерционных сил в основном силами трения, т. е. автомобиль и перевозимый груз рассматриваются как единое целое. Перевозка труб для строящихся магистральных трубопроводов относится к массовым перевозкам. В связи с этим особый интерес представляет разработка конструкции многооборотного устройства для крепления труб большого диаметра на железнодорожных и автомобильных платформах.

Следует отметить, что на территории Евросоюза действуют европейские стандарты EN 12 640 и EN 12 642 в которых транспортное средство рассматривается как часть системы крепления груза. В то время как большинство автотранспортных средств, эксплуатируемых на территории Российской Федерации, не соответствует указанным стандартам ни по прочностным характеристикам кузова, ни по наличию необходимых точек крепления груза. Следовательно, их нельзя рассматривать как часть системы крепления груза. Отсутствие правила по закреплению некоторых видов грузов не только вызывает проблемы при осуществлении международных перевозок, но и повышает статистику дорожно-транспортных происшествий, связанных с неправильным закреплением грузов.

Размещение и крепление грузов на железнодорожном подвижном составе может осуществляться в соответствии с требованиями местных, а также временных технических условий. Металлические трубы большого диаметра широко используются в промышленности. Транспортирование таких труб потребителям осуществляется в полувагонах и на платформах. Так, на заводе-изготовителе загружают в полувагоны по четыре стальных трубы диаметром 1420 мм с полиэтиленовым

защитным покрытием и закрепляют за верхние увязочные устройства полувагона двумя проволочными обвязками. Для предохранения защитного покрытия труб верхнего яруса под проволочные обвязки укладывают подкладки («коврики») из деревянных брусков, соединенных между собой металлической лентой и гвоздями. Загруженные трубами полувагоны формируются в маршрутные поезда на станции отправления и не подлежат роспуску с сортировочных горок. Следует отметить разработки по пакетированию труб на заводах-изготовителях, предусматривающие элементы крепления пакетов на транспортном средстве, аналогичные креплениям контейнеров. Применение заводского способа пакетирования труб позволит уменьшить затраты на выполнение погрузочно-разгрузочных работ особенно при неоднократной смене используемого вида транспорта.

Разработка внутриконтинентальных интермодальных грузовых единиц с расширенной грузопригодностью является наиболее перспективным направлением, которое может резко увеличить объем евразийских контейнерных перевозок. По своей конструкции и функциональным возможностям они должны обеспечивать размещение и крепление в них леса, пиломатериалов, нефтегазовых труб, металлопроката, а также интермодальную перевозку сырьевых грузов и грузов малой степени переработки в страны Европы и в порты по железным дорогам колеи 1520 и 1435 мм с перегрузкой на стыках дорог с фитинговых платформ колеи 1520 мм на фитинговые платформы колеи 1435 мм, внутренним водным транспортом на баржах, на конечных участках – автотранспортом, а на обратном пути использоваться для перевозки внутри них универсальных контейнеров стандарта ISO и европейских сменных кузовов с грузами большей степени переработки.

УДК 629.4.077.5: 629.423.1

## **ДОПУСКАЕМАЯ ДЛИНА ПОЕЗДА ПРИ ВЕДЕНИИ ЭЛЕКТРОВОЗОМ БКГ1 ИЗ УСЛОВИЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТОРМОЗНОЙ СИСТЕМЫ СЖАТЫМ ВОЗДУХОМ**

*Э. И. ГАЛАЙ, П. К. РУДОВ, Е. Э. ГАЛАЙ, В. И. КОНОВАЛОВ  
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

На Белорусской железной дороге эксплуатируются двухсекционные электровозы БКГ1, имеющие мощность в длительном режиме 9600 кВт, что позволяет водить поезда повышенного веса и повышенной длины. Электровоз снабжен двумя роторно-винтовыми компрессорными установками SL24-11 производительностью 2400 л/мин каждая.

Компрессорная установка должна обеспечивать производство сжатого воздуха в необходимом количестве, достаточном для торможения поезда, пополнения утечек из тормозной системы и для потребления на служебные нужды локомотива.

Максимальное количество вагонов в поезде в этом случае можно определить из равенства общего часового расхода воздуха в поезде и вырабатываемого компрессорными установками электровоза за это же время.

Общий часовой расход воздуха в поезде, который должен подаваться компрессором при частых торможениях,

$$Q_{об} = Q_{утс} + Q_{утл} + Q_{тор} + Q_{др}, \quad (1)$$

где  $Q_{утс}$  – расход на утечки из магистрального воздухопровода и других приборов тормозной системы состава, л/ч;  $Q_{утл}$  – расход на утечки из питательной магистрали локомотива, л/ч;  $Q_{тор}$  – расход на торможение, л/ч;  $Q_{др}$  – другой расход (свисток, песочницы, тифон), л/ч.

Расходы на утечки из тормозной сети  $Q_{утс}$  и на торможение  $Q_{тор}$  зависят от количества вагонов в поезде. Утечки рассчитывали из условия допускаемого снижения давления в тормозной магистрали на 0,02 МПа за одну минуту [1] с учетом объема магистрального трубопровода  $V_{тм}$  (принят для четырехосного крытого вагона 13,7 л [2]), запасного резервуара и рабочих объемов воздухораспределителя.

При расчете расхода воздуха на торможение учитывали объем тормозной сети за вычетом объема рабочей камеры, где при торможении практически сохраняется зарядное давление. Среднюю

величину снижения давления в тормозной сети принимали равной 0,08 МПа, а среднее количество регулировочных торможений в час для наиболее неблагоприятных случаев в условиях эксплуатации на Белорусской железной дороге пневматическим тормозом принимали равным четырем.

Расходы  $Q_{\text{утл}}$ ,  $Q_{\text{др}}$  не зависят от количества вагонов.

В качестве исходных данных для расчета расхода на утечки из питательной магистрали электропоезда принимали объем главных резервуаров 2000 л и допустимую величину снижения давления в главных резервуарах на 0,05 МПа за 6,5 минут [1]. В результате получено  $Q_{\text{утл}} = 9230$  л/ч.

Расход воздуха на работу песочниц определяли по формуле

$$Q_{\text{п}} = \frac{\Delta p_{\text{грп}} t_{\text{п}}}{p_0 t_3} V_{\text{гр}} N, \quad (2)$$

где  $\Delta p_{\text{грп}}$  – величина снижения давления в главных резервуарах при отключенных компрессорах за время  $t_3$  при включении песочниц, МПа;  $t_{\text{п}}$  – среднее время разового включения песочниц, с;  $V_{\text{гр}}$  – объем главных резервуаров, л;  $N$  – количество включений песочниц в час;  $p_0$  – атмосферное давление, МПа.

На основании эксплуатационных данных при ведении поезда массой более 6000 т на неблагоприятном профиле пути песочницы электропоезда БКГ1 включаются 60–90 раз. Время включения песочницы составляет 2–10 с. Экспериментально установлено, что при включении песочниц на время  $t_3 = 10$  с давление в главных резервуарах снижается на величину  $\Delta p_{\text{грп}} = 0,02$  МПа. Принимая усредненные значения  $t_{\text{п}}$  и  $N$ , получили расход воздуха на песочницы равным 18000 л/ч. Расход воздуха на остальные нужды принимали 4000 л/ч. Тогда общий расход воздуха, не зависящий от количества вагонов, составил 31230 л/ч.

Продолжительность включения роторно-винтового компрессора SL24-11 может составлять 100 % без потери его работоспособности. Учитывая временное отключение компрессоров при прохождении нейтральных вставок, а также возможное снижение производительности компрессора в эксплуатации из-за несвоевременного включения, можно принять продолжительность включения компрессора 90 %. В этом случае за 1 час две компрессорные установки электропоезда БКГ1 подают в главные резервуары объем воздуха  $Q_{\text{к}} = 2 \cdot 2400 \cdot 0,9 \cdot 60 = 259200$  л/ч.

Максимальное количество вагонов в поезде, рассчитанное из равенства  $Q_{\text{к}} = Q_{\text{об}}$ , 146 единиц.

В эксплуатации возможны случаи начала отпуска тормозов после полного служебного торможения при минимально допустимом автоматическим регулятором давления в главных резервуарах. В этом случае магистральный воздухопровод (без запасных резервуаров и рабочих объемов воздухораспределителей) должен зарядиться до рабочего зарядного давления за счет использования перепада давления в главных резервуарах электропоезда при неработающих компрессорах [3].

Максимальное количество вагонов в поезде по этому условию может быть определено из уравнения

$$\Delta p_{\text{гр}} V_{\text{гр}} = \Delta p_{\text{пст}} V_{\text{тм}} m, \quad (3)$$

где  $\Delta p_{\text{гр}}$  – допустимый перепад давления в главных резервуарах, при минимально допустимом автоматическим регулятором давления в главных резервуарах 0,75 МПа и зарядном давлении в магистрали 0,55 МПа,  $\Delta p_{\text{гр}} = 0,75 - 0,55 = 0,20$  МПа;  $\Delta p_{\text{пст}}$  – величина снижения давления в тормозной магистрали при полном служебном торможении,  $\Delta p_{\text{пст}} = 0,15$  МПа [1];  $m$  – количество вагонов в поезде.

Исходя из уравнения (3), максимальное количество вагонов равно 195.

Восстановление полного зарядного давления в запасных резервуарах длинносоставных грузовых поездов должно быть обеспечено после [1]:

- полного служебного торможения в течение не более 3 мин с использованием перепада давления в главных резервуарах в 0,2 МПа;
- экстренного торможения в течение не более 5 мин с использованием перепада давления в главном резервуаре от 0,90 МПа до 0,55 МПа.

Для расчета максимального количества вагонов из этих условий составим уравнение баланса расхода воздуха

$$Q_k t_{от} + \frac{\Delta p_{гр}}{P_0} V_{гр} = m \left( \frac{\Delta p_{тм}}{P_0} (V_{тм} + V_{зм}) + \frac{\Delta p_{утс}}{P_0} (V_{тм} + V_{зр} + V_{вр}) t_{от} + \frac{\Delta p_{утл}}{P_0 t_{л}} V_{гр} t_{от} + \frac{\Delta p_{зр}}{P_0} V_{зр} \right), \quad (4)$$

где  $t_{от}$  – расчетное время отпуска тормозов и подзарядки запасного резервуара до полного зарядного давления;  $\Delta p_{тм}$  – величина снижения давления в тормозной магистрали. При полном служебном торможении  $\Delta p_{тм} = \Delta p_{пст} = 0,15$  МПа, при экстренном торможении  $\Delta p_{тм} = 0,5$  МПа [3];  $V_{зм}$  – объем золотниковой и магистральной частей воздухораспределителя;  $\Delta p_{утс}$  – допускаемое снижение давления в тормозной системе вагона в течение 1 мин через неплотности при отсутствии ее питания,  $\Delta p_{утс} = 0,02$  МПа [1];  $V_{зр}$  – объем запасного резервуара вагона,  $V_{зр} = 78$  л;  $V_{вр}$  – общий объем всех камер воздухораспределителя, для воздухораспределителей № 483  $V_{вр} = 12$  л;  $\Delta p_{утл}$  – допускаемое снижение давления в питательной магистрали локомотива за время  $t_{л} = 6,5$  мин при отключенных регулятором давления компрессорах,  $\Delta p_{утл} = 0,05$  МПа [1];  $\Delta p_{зр}$  – величина снижения давления в запасных резервуарах при полном служебном и экстренном торможениях.

Величину  $\Delta p_{зр}$  находили из условия изменения давления в запасном резервуаре и тормозном цилиндре по изотермическому закону. При этом расход воздуха на торможение определяли в зависимости от величины среднего давления в тормозных цилиндрах при соответствующем режиме воздухораспределителя и величины среднего значения нормативного выхода штока.

Также учитывали, что при отпуске тормозов после служебного и экстренного торможений компрессор работает непрерывно (продолжительность включения 100 %). После подстановки в уравнение (4) известных данных получили:

- при полном служебном торможении: для состава из груженых вагонов  $m = 137$  вагонов; для состава из порожних вагонов  $m = 156$  вагонов;
- при экстренном торможении: для состава из груженых вагонов  $m = 125$  вагонов; для состава из порожних вагонов  $m = 134$  вагонов.

Расчеты максимального количества вагонов выполнены с учетом наиболее неблагоприятных условий ведения поезда (максимальные допускаемые утечки сжатого воздуха из тормозной системы вагонов, из питательной магистрали локомотива, наибольший расход воздуха и т. д.).

Максимальное количество вагонов в поезде ограничено условием восстановления полного давления в запасных резервуарах после полного служебного и экстренного торможений и составляет 125 вагонов для груженого состава и 134 вагона для порожнего состава.

#### Список литературы

- 1 Правила технического обслуживания тормозного оборудования и управления тормозами железнодорожного подвижного состава : утв. 6-7.05.2014. – М. : Совет по ж.-д. трансп. гос-в – участн. Содр-ва, 2014. – 268 с.
- 2 Тормозное оборудование железнодорожного подвижного состава : справ. / В. И. Крылов [и др.]. – М. : Транспорт, 1989. – 487 с.
- 3 **Казаринов, В. М.** Автотормоза / В. М. Казаринов. – М. : Транспорт, 1974. – 240 с.

УДК 629.463.62.002.7

## ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕВОЗКИ ДЛИННОМЕРНЫХ ГРУЗОВ НА СЦЕПЕ ВАГОНОВ

*М. Г. ГЕГЕДЕШ, А. В. ВОРОЖУН*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Значительную часть транспортируемых грузов составляют длинномерные, например, металлопрокат и железобетонные изделия. Динамика таких грузов при транспортировке отличается для случаев погрузки на один вагон, сцеп вагонов или сочлененные вагоны. Наибольшие динамические нагрузки возникают при перевозке длинномерных грузов на сцепе вагонов за счет провисания меж-

ду опорными устройствами и возможности смещения осей вагонов друг относительно друга при движении по кривому в плане или профиле пути.

Для удержания подобных грузов от их относительного перемещения в процессе перевозки используют такие специализированные устройства, как фитинговые упоры [1, 2]; упругие, гравитационные и комбинированные турникетно-крепежные устройства (ТКУ) [3, 4], а также иные конструкции, которые необходимо разрабатывать и испытывать на прочность для каждого отдельного вида грузов. Их использование на современных вагонах позволяет увеличить массу перевозимого груза и его длину без увеличения повреждаемости грузов и вагонов в процессе перевозки.

Цель представленной работы – исследование особенностей транспортировки длинномерных грузов на сцепе вагонов, обусловленных их динамическим поведением.

В работе [5] рассмотрены закономерности колебаний длинномерных грузов и установлены оптимальные параметры амортизирующих устройств путем математического моделирования динамической системы «железнодорожная платформа – турникет – длинномерный груз» с учетом динамики столкновения. Защита длинномерного груза осуществляется путем дополнительной подвески. Снижение вертикальных ускорений возможно за счет снижения жесткости рессорной подвески нагруженных тележек. Авторы работы указывают на то, что увеличение жесткости межвагонного соединения приводит к увеличению ускорения и движения турникетного устройства; увеличение нагрузки на турникет увеличивает степень его износа, поскольку сцепка платформы полностью нагружена.

Авторы [6] отмечают, что исследуемый длинномерный груз испытывает продольно-изгибные колебания при его транспортировке с размещением на сцепе из двух вагонов-платформ. На основе аналитического и компьютерного моделирования динамической нагруженности штабеля определена нагруженность платформ сцепа и рассчитаны динамические показатели системы «длинномерный груз – сцеп вагонов», учет которых важен для обеспечения безопасности перевозки и сохранности грузов.

Авторами работы [7] представлены результаты расчетов, полученные в ходе компьютерного моделирования устройства крепления рельсов при их перевозке на сцепе из двух платформ. Моделирование выполнялось с использованием инженерного пакета MSC ADAMS. Отмечено что, отсутствие в рельсах отверстий для болтовых соединений обуславливает сложность их увязки в ярусах. Результаты моделирования показывают, что средства крепления рельсов подвержены значительным деформациям при переходных режимах движения подвижного состава.

Авторы [8] рассматривают моделирование продольной динамики длинных поездов. Одной из целей данной статьи является оценка влияния сил сопротивления на результаты моделирования, т. е. на скорости и силы в поезде, путем сравнения различных законов движения и сопротивления изгибу. В [8] рассматриваются динамическое моделирование продольного движения длинных грузовых поездов, а именно сопротивления движению и изгибу, и системы сцепления. Первый способ, в котором от одного моделирования к другому менялся только обычный закон сопротивления, показал, что моделирование сопротивлений движения может оказать существенное влияние на результаты моделирования с точки зрения как скорости, так и сил в поезде. Поэтому необходимо правильно выбрать закон сопротивления движению, возможно, используя закон, полученный на конкретных рассматриваемых транспортных средствах. Второй способ, в котором использовались три различных закона сопротивления изгибу, не показал существенных различий. Больших расхождений не возникло даже при увеличении длины кривых пути.

В работе [9] авторами представлены особенности транспортировки длинномерных грузов на вагонах сочлененного типа, отличающихся от обычных опиранием секций на одну общую тележку. В таких вагонах шарнирное соединительное устройство является составной несъемной частью несущей конструкции вагона. Оно соединяет две секции вагона и передает нагрузки от их опор на общую тележку. Например, для перевозки крупногабаритных железобетонных конструкций можно использовать 6-осные сочлененные вагоны модели 13-470-01, а также 2-платформенные вагоны модели 13-470. При этом для закрепления длинномерных конструкций применяются турникетно-крепежные устройства. Однако в нормативной литературе не приведена информация об алгоритме выборе места установки турникетных опор, которое позволяет обеспечить одинаковые нагрузки на тележки.

Таким образом, анализ имеющихся исследований демонстрирует недостаточную изученность явлений, связанных с динамическим взаимодействием длинномерного груза со сцепом вагонов. Кроме того, проблемы, связанные с вертикальными колебаниями таких грузов, не нашли отражения в нормативных документах, регламентирующих их транспортировку. Развитие теории транспортировки длинномерных грузов требует создания новых математических и компьютерных моделей, учитывающих перемещение таких грузов относительно вагонов при переходных режимах движения.

#### Список литературы

- 1 **Васильев, С. М.** Совершенствование подвижных турникетно-крепежных устройств с целью установки на современные типы грузовых вагонов / С. М. Васильев, А. А. Железняков, Л. П. Целковикова // *Механика. Исследования и инновации.* – 2019. – Вып. 12. – С. 29–34.
- 2 **Петрачков, С. А.** Компьютерное моделирование длинномерных грузов на сцепе из двух платформ / С. А. Петрачков, М. Г. Гегедеш // *Вестник БелГУТа: Наука и транспорт.* – 2022. – № 2(45). – С. 117–120.
- 3 **Васильев, С. М.** Математическое моделирование динамических воздействий на длинномерные грузы и опорные вагоны / С. М. Васильев // *Вестник БелГУТа: Наука и транспорт.* – 2006. – № 1–2 (12–13). – С. 30–36.
- 4 Research of the operation of the turnstile support-fastening device during the transportation of a long-dimensional heavy load / J. Musayev [et al.] // *Vibroengineering Procedia.* – 2023. – Vol. 49. – P. 80–85.
- 5 The influence of resistant force equations and coupling system on long train dynamics simulations / N. Bosso [et al.] // *Journal of Rail and Rapid Transit.* – Vol. 236 (1). – P. 35–47.
- 6 **Шатунов, О. В.** Динаміка зчепу вагонів-платформ під час перевезення довгомірного вантажу / О. В. Шатунов, А. О. Швець // *Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту.* – 2020. – № 4 (88). – С. 114–131.
- 7 **Мозгрин, С. В.** Эффективность организации перевозок длинномерных грузов на фитинговых платформах с различной длиной погрузочных площадок / С. В. Мозгрин, Г. Е. Писаревский // *Вестник ВНИИЖТ.* – 2019. – Т. 78 (4). – С. 203–209.
- 8 Mathematical and computer models in estimation of dynamic processes of vehicles / A. Assemkhanuly [et al.] // *Journal of Theoretical and Applied Information Technology.* – 2019. – Vol. 97, no 10. – P. 2803–2820.
- 9 **Чаганова, О. С.** Особенности крепления грузов на сочленённых вагонах-платформах / О. С. Чаганова, Т. И. Быстренкова, Е. В. Меньшова // *Проблемы безопасности на транспорте : материалы X Междунар. науч.-практ. конф. (Гомель 26–27 ноября, 2020 г.) : в 5 ч. Ч. 5 / под общ. ред. Ю. И. Кулаженко.* – Гомель : БелГУТ, 2020. – С. 143–145.

УДК 629.4.03:621.311

## ВЗАИМНОЕ ВЛИЯНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ РАСХОД ЭНЕРГОРЕСУРСОВ ЗА ПОЕЗДКУ

*А. П. ДЕДИНКИН*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В структуре расходов Белорусской железной дороги доля затрат на энергоресурсы для тяги поездов составляет примерно 16 %. С целью планирования, учета, контроля, а также рационального использования энергоресурсов на тягу поездов важно обеспечить эффективный механизм прогнозирования их расхода. Расчет задания по расходу энергоресурсов на поездку необходим для оценки качества работы локомотивной бригады, а также теплотехнического состояния тягового подвижного состава. Наличие эффективного механизма расчета позволяет реализовывать мероприятия по стимулированию рационального потребления энергоресурсов на тягу поездов среди работников локомотивного хозяйства, а также избегать их перерасхода путем своевременного доведения локомотива или дизель(электро)-поезда до надлежащего теплотехнического состояния. Спецификой данной задачи является то, что, определить некоторые факторы, оказывающие существенное влияние на расход энергоресурсов за поездку, возможно только после непосредственного ее совершения.

К группе эксплуатационных факторов, оказывающих постоянное влияние на расход энергоресурсов за поездку, относят среднее значение коэффициента полезного действия локомотива или дизель(электро)-поезда, его техническое состояние и т. д. К группе переменных факторов относят такие показатели, как перевозочная работа, масса состава, пробег, участковая и техническая скорости движения, осевая нагрузка, время и число стоянок, число осей, количество предупреждений об ограничении скорости движения, величина нагона и т. д. Использование статистических методов оценки влияния эксплуатационных факторов на расход энергоресурсов за поездку предполагает их тщательный предварительный анализ, а также оценку взаимного влияния. Исключение из исследования факторов, имеющих между собой существенную степень влияния, позволяет более точно оценить воздействие остающихся факторов на расход энергоресурсов за поездку.

Для прогнозирования расхода энергоресурсов за поездку выполнены исследования и построены многочисленные регрессионные модели. Во избежание потери точности создаваемых моделей прогнозирования расхода энергоресурсов за поездку определены факторы, имеющие высокую степень взаимной корреляции между собой с целью возможного исключения некоторых из них. Высокой принято считать корреляцию, характеризующуюся коэффициентом  $r \geq 0,75$ . Для этого построены матрицы парных коэффициентов корреляции (корреляционные матрицы), приведенные в таблицах 1–4. Рассмотрены следующие эксплуатационные факторы:

- средняя масса состава  $Q$ , т;
- средняя осевая нагрузка состава поезда  $q_{o(ср)}$ , т/ось;
- средняя техническая скорость движения  $v_T$ , км/ч;
- коэффициент участковой скорости  $k_{уч}$ ;
- количество предупреждений об ограничении скорости  $n_{огр}$ ;
- нагон  $t_{наг}$ , мин.

**Таблица 1 – Значения парных коэффициентов взаимной корреляции факторов (серия 2ТЭ10У(М))**

Коэффициент	$e$	$Q$	$q_{o(ср)}$	$v_T$	$k_{уч}$	$n_{огр}$	$t_{наг}$
$e$	1	–	–	–	–	–	–
$Q$	-0,37374	1	–	–	–	–	–
$q_{o(ср)}$	-0,24868	0,77749	1	–	–	–	–
$v_T$	-0,44052	0,05303	-0,03594	1	–	–	–
$k_{уч}$	0,10539	0,05804	0,01283	-0,08235	1	–	–
$n_{огр}$	-0,03340	0,02379	0,01469	0,09159	0,01378	1	–
$t_{наг}$	–	–	–	–	–	–	1

**Таблица 2 – Значения парных коэффициентов взаимной корреляции факторов (серия 2М62К, 2М62УК)**

Коэффициент	$e$	$Q$	$q_{o(ср)}$	$v_T$	$k_{уч}$	$n_{огр}$	$t_{наг}$
$e$	1	–	–	–	–	–	–
$Q$	-0,34355	1	–	–	–	–	–
$q_{o(ср)}$	-0,17011	0,54850	1	–	–	–	–
$v_T$	-0,02334	-0,27211	-0,26094	1	–	–	–
$k_{уч}$	-0,02906	0,14565	-0,06003	0,22866	1	–	–
$n_{огр}$	-0,00030	-0,03841	-0,04224	0,02112	0,00213	1	–
$t_{наг}$	–	–	–	–	–	–	1

**Таблица 3 – Значения парных коэффициентов взаимной корреляции факторов (серия ТЭП70)**

Коэффициент	$e$	$Q$	$q_{o(ср)}$	$v_T$	$k_{уч}$	$n_{огр}$	$t_{наг}$
$e$	1	–	–	–	–	–	–
$Q$	-0,40821	1	–	–	–	–	–
$q_{o(ср)}$	-0,14787	0,08431	1	–	–	–	–
$v_T$	-0,35216	0,09031	0,19100	1	–	–	–
$k_{уч}$	0,01113	0,00444	-0,02465	-0,07007	1	–	–
$n_{огр}$	-0,03949	0,04711	0,03943	0,16179	-0,01625	1	–
$t_{наг}$	-0,07140	0,04760	0,07621	0,22745	-0,16813	0,11410	1

**Таблица 4 – Значения парных коэффициентов взаимной корреляции факторов (серия ДР1А)**

Коэффициент	$e$	$Q$	$q_{o(ср)}$	$v_T$	$k_{уч}$	$n_{огр}$	$t_{наг}$
$e$	1	–	–	–	–	–	–
$Q$	-0,11066	1	–	–	–	–	–
$q_{o(ср)}$	-0,10919	0,99997	1	–	–	–	–
$v_T$	-0,54826	-0,04907	-0,05016	1	–	–	–
$k_{уч}$	0,25167	-0,12214	-0,12164	-0,25245	1	–	–
$n_{огр}$	-0,05195	-0,03615	-0,03598	0,09065	-0,02813	1	–
$t_{наг}$	0,01548	-0,02096	-0,02096	0,10988	-0,05660	0,02598	1

Как видно из таблиц 1–4, в рассматриваемом перечне эксплуатационных факторов наибольшую степень корреляции с функцией отклика (удельным расходом дизельного топлива за поездку) имеют факторы:  $Q$  (масса состава, т),  $q_{o(ср)}$  (осевая нагрузка, т/ось),  $v_t$  (техническая скорость движения, км/ч). Между собой в наибольшей степени коррелированы факторы: масса состава и осевая нагрузка (в грузовом и пригородном движениях). Во всех видах движения статистически мала связь между удельным расходом дизельного топлива и коэффициентом участковой скорости  $k_{уч}$ , количеством предупреждений об ограничении скорости движения  $n_{огр}$ .

Следует отметить, что при построении, к примеру, регрессионных моделей расхода топлива на полученных данных, приемлемым будет включение в них всех рассматриваемых эксплуатационных факторов ввиду невысокой степени взаимной корреляции между ними практически во всех рассматриваемых случаях. Полученные данные возможно использовать как для прогнозирования расхода дизельного топлива и электрической энергии для подразделений локомотивного хозяйства, так и для заданий по расходу энергоресурсов на поездку локомотивной бригаде.

УДК 629.4.015:004.94

## МОДЕЛИРОВАНИЕ СДВИГА ВАГОНОВ, РАЗМЕЩЕННЫХ НА СТАЦИОННЫХ ПУТЯХ

*О. В. ДЕМЬЯНЧУК*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Для закрепления подвижного состава на станционных путях используются тормозные башмаки [1, 2], потребное количество которых, определенное в соответствии с Методическими рекомендациями по расчету норм закрепления подвижного состава тормозными башмаками [3], в некоторых случаях оказывается завышенным, также возможны случаи ухода вагонов при недостаточном их закреплении. Белорусским государственным университетом транспорта были проведены эксперименты по определению силы, необходимой для сдвига железнодорожных составов при разных погодных условиях. В некоторых случаях сила, необходимая для сдвига одного и того же состава при одинаковом количестве тормозных башмаков, отличалась в несколько раз.

Результаты исследований, выполненных на основе разработки аналитических и одномерных компьютерных моделей, не позволили объяснить причину значительного разброса значений сдвигающих сил. В программном комплексе MSC.ADAMS была разработана модель железнодорожного состава, включающего вагоны различного типа (хопперы, полувагоны и цистерны) с разным уровнем загрузки, соединенные упругими связями. Анализ влияния параметров модели на динамику железнодорожного состава при его сдвиге показал, что коэффициенты жесткости поглощающих аппаратов автосцепки, а также величины зазоров в межвагонных соединениях не оказывают значительного влияния на силу, необходимую для сдвига состава. Величины сдвигающих сил, определенные по результатам моделирования, в зависимости от типа разработанной модели и ее параметров могут иметь незначительные отклонения как в меньшую, так и в большую сторону по сравнению со значениями, установленными аналитическим расчетом [4].

Для определения причин появления значительных отличий сдвигающих сил выполнен анализ динамики сдвигаемого при малых скоростях подвижного состава в среде программного комплекса MSC.ADAMS, для чего разработана упрощенная модель железнодорожного вагона, в которой кузов взаимодействует с двумя тележками через цилиндрические шарниры. В работе [5] установлено, что поворот кузова вокруг вертикальной оси может приводить к значительному увеличению сил трения при значении коэффициента трения между колесами и рельсами, соответствующему малой влажности (коэффициент трения  $f = 0,3$ ).

В данной работе выполнено моделирование сдвига вагона в случае разных погодных условий, при которых коэффициент трения может быть уменьшен до 0,1. При приложении силы, линия действия которой смещена в поперечном направлении по отношению к продольной оси вагона на 200 и 400 мм, были получены зависимости сдвигающей силы от значений коэффициента трения (рисунок 1). Установлено, что величина поперечного смещения линии действия сдвигающей силы практически не влияет на максимальное значение данной силы, при котором происходит остановка вагона после начала движения. При уменьшении коэффициента трения от 0,3 до 0,1 значение сдвигающей силы уменьшается в два раза.



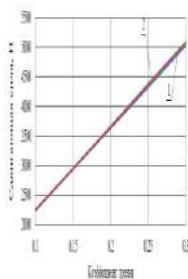


Рисунок 1 – Зависимость сдвигающей силы от величины коэффициента трения при смещении линии действия силы на 200 мм (кривая 1); на 400 мм (кривая 2).

Также выполнено моделирование сдвига сцепа из двух вагонов. Установлено, что у вагона, на который непосредственно действует сдвигающая сила, также наблюдается поворот кузова вокруг вертикальной оси. Второй вагон совершает движение, близкое к поступательному, поскольку угол отклонения его автосцепного устройства в поперечном направлении незначителен. Максимальная сдвиговая сила, при которой происходит остановка вагонов после начала движения, составила 12,6 кН. У первого вагона через 1 с после начала действия данной силы происходит резкое увеличение действующей на рельс поперечной силы от нуля до 280 кН, после чего она снижается и принимает постоянное значение 7,2 кН (рисунок 2). Для второго вагона такой эффект наблюдается через 0,5 с, при этом максимальное значение силы составило 350 кН, затем происходит ее уменьшение до 10,2 кН.

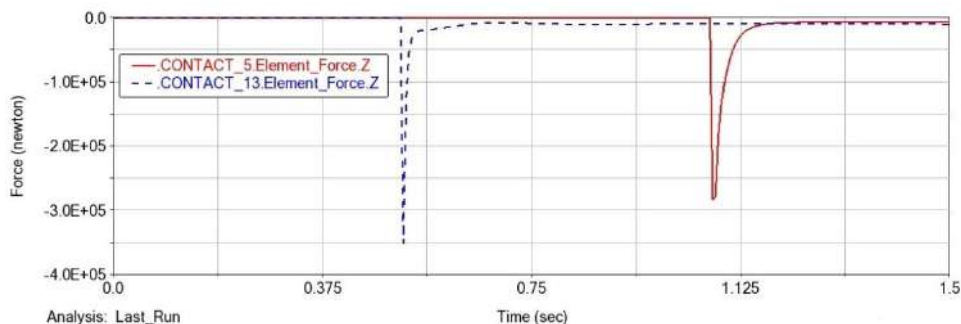


Рисунок 2 – Зависимость величины контактной силы от времени

Учитывая, что при расчетах использована упрощенная модель тележки, реальные значения величин сдвигающих сил могут несколько отличаться от полученных при моделировании, но качественно результаты не изменятся.

Таким образом, результаты моделирования для случая сдвига вагона при размещении его на за-масленных рельсах показали, что уменьшение максимальной сдвиговой силы не пропорционально уменьшению коэффициента трения. Приведенные расчеты подтверждают, что значительное увеличение сдвигающей силы связано с поворотом тележек вокруг вертикальной оси. Однако гарантированно обеспечить такой поворот сложно. Поэтому при совершенствовании норм закрепления подвижного состава следует рассматривать самый неблагоприятный случай, при котором центры масс вагонов и их тележек перемещаются вдоль оси железнодорожного пути.

#### Список литературы

- 1 Anti-Runaway Prevention System with Wireless Sensors for Intelligent Track Skates at Railway Stations / C. Jiang [et al.] // Sensors. – 2017. – Vol. 17, is. 12. – P. 29–55.
- 2 Improvement of accident prevention measures in cases of spontaneous derailment of railway rolling stock / A. Yusupov [et al.] // E3S Web of Conferences. – 2023. – Vol. 365. – Article 05010. – 12 p.
- 3 Методические рекомендации по расчету норм закрепления подвижного состава тормозными башмаками на станционных путях станций Белорусской железной дороги. – Минск : Белорусская железная дорога, 2021. – 59 с.
- 4 Демьянчук, О. В. Анализ влияния параметров модели на динамику железнодорожного состава при его сдвиге / О. В. Демьянчук // Актуальные вопросы физики и техники : сб. материалов. XII Республ. науч. конф. студентов, магистрантов и аспирантов, посвящ. 80-летию со дня рождения профессора Максименко Николая Васильевича (Гомель, 20 апреля 2023 г.). – Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2023. – С. 179–182.
- 5 Демьянчук, О. В. Анализ динамики закрепленного на пути вагона с учетом поворота кузова вокруг вертикальной оси / О. В. Демьянчук, А. О. Шимановский // Механика. Исследования и инновации. – 2022. – Вып. 15. – С. 83–91.

## ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ ТОКОПРИЕМНИКОВ

*Д. В. ДОРОЩУК*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Одной из самых распространённых причин повреждения контактной сети является эксплуатация неисправных или неотрегулированных токоприёмников электроподвижного состава (ЭПС). Для снижения числа аварий при эксплуатации токоприёмников и повышения надёжности системы электроснабжения необходима эффективная автоматизированная система диагностики состояния токоприёмников.

К числу наиболее эффективных методов автоматической диагностики относится дистанционный контроль параметров токоприёмников, проходящих через контрольный пункт. Данный метод позволяет контролировать состояние всех токоприёмников, выходящих из депо или поступающих на линию. Дистанционный способ диагностики позволяет осуществлять контроль непосредственно в режиме эксплуатации без необходимости остановки подвижного состава и без участия обслуживающего персонала.

Для дистанционной диагностики основных геометрических параметров токоприёмников могут применяться системы компьютерного зрения. Для измерения значений статического нажатия возможно применение электромеханических датчиков, размещаемых на контактной сети в зоне контрольного пункта.

Системы диагностики токоприёмников, основанные на принципе анализа визуальных данных, разрабатываются за рубежом. Например, в шведской компании Sensys разработана система автоматического мониторинга, предназначенная для регистрации изображения приближающегося токоприёмника при помощи цифрового фотоаппарата. На основании полученных снимков происходит определение исправности токосъёмных пластин токоприёмника.

Основной проблемой в реализации подобных систем является сложность в реализации алгоритмов распознавания изображений токоприёмников и обнаружения дефектов в автоматическом режиме без участия оператора.

Существенную сложность при видеорегистрации проходящих токоприёмников создает высокая скорость движения электроподвижного состава. Движение с высокой скоростью затрудняет получение четкой картины диагностируемого объекта, что, в свою очередь, значительно усложняет обработку данных.

Непрерывный режим работы диагностического комплекса требует обеспечения необходимого уровня освещенности токоприёмника в любое время суток. Применение прожекторов в темное время суток не представляется возможным, поскольку свет от мощного прожектора ослепляет машинистов проходящих локомотивов.

Основной целью комплекса, предназначенного для автоматического контроля технического состояния токоприёмников, является повышение надежности эксплуатации устройств электроснабжения путем автоматизированной диагностики исправности токоприёмников при проходе контрольных пунктов.

Специалистами лаборатории в Швеции предложена конструкция стационарного комплекса для контроля технического состояния проходящих токоприёмников, состоящая из вертикальной, горизонтальной и фронтальной видеокамер, источника инфракрасного освещения, датчика прохода ЭПС, блока контроля и управления, компьютера для хранения и обработки видеоинформации. При проходе ЭПС через контрольный пункт датчик прохода подаёт сигнал в блок управления, который запускает процесс записи видеоинформации. Данные с видеокамер поступают в устройство хранения и обработки информации с отметкой времени произведенной записи, после чего выполняется автоматическая оценка технического состояния токоприёмника. При обнаружении отклонений параметров токоприёмника от нормативных на пульт диспетчера подается предупреждающий сигнал и изображение токоприёмника с указанием причины срабатывания системы. Для работы в темное время суток пункт оснащается источником инфракрасного освещения.

Предлагаемая автоматизированная система оценки состояния токоприёмников позволяет выполнять непрерывный контроль технического состояния токоприёмников, проходящих через кон-

трольный пункт. В автоматическом режиме выполняются регистрация времени и скорости прохода ЭПС, распознавание номера локомотива, сохранение данных видеосъемки, определение типа токоприемника и оценка технического состояния. Измерение геометрических параметров и определение технического состояния контактных пластин токоприемников выполняется при помощи специализированных алгоритмов распознавания образов. Основным преимуществом данной системы является бесконтактный способ измерения, позволяющий выполнять регистрацию без влияния на исследуемый объект персонала.

Горизонтальная камера оценивает величину отжатия контактного провода в момент прохода токоприемника, что позволяет оценить величину силы контактного нажатия токоприемника на основании известной жесткости подвески. При малых скоростях движения ЭПС (до 30 км/ч) сила нажатия токоприемника на контактный провод близка к величине статического нажатия, которая, в свою очередь, зависит от регулировки токоприемника. В случае значительного отклонения силы нажатия токоприемника от нормативного статического нажатия при малых скоростях движения можно сделать вывод о неправильной регулировке токоприемника. При движении с более высокой скоростью отжатие подвески контактной сети зависит от типа токоприемника, но используемые алгоритмы позволяют определить отклонения статического нажатия от нормы и в этом случае.

Вертикальная камера позволяет оценить состояние износа токосъемных пластин на полозах токоприемника по форме и структуре изображения контактной поверхности. Система позволяет определить наличие подгаров и сколов на контактных элементах, их количество и размер по отношению к общей площади контактной поверхности.

С помощью фронтальной камеры определяются геометрическое положение и форма токоприемника. Профиль токоприемника должен вписываться в допустимые габариты. Путем сравнения профиля токоприемника с шаблонными изображениями выявляются механические повреждения полоза и системы подвижных рам. При приближении электроподвижного состава фронтальная камера регистрирует изображение ЭПС, на котором при помощи системы распознавания символов определяются номер и марка локомотива.

Для анализа изображений применяется многошаговый алгоритм, позволяющий выделить значимые элементы и сравнить итоговое изображение с набором шаблонов. В случае совпадения изображения шаблона с рабочим изображением определяется тип токоприемника. Для нахождения механических повреждений системы подвижных рам и полозов токоприемника производится вычисление отклонений изображения токоприемника от шаблона. По величине отклонения можно определить вероятность наличия дефекта токоприемника.

Анализ современных систем диагностики состояния токоприемников позволил выявить основные направления совершенствования и развития систем бесконтактного контроля подвижного состава. Современные системы строятся на базе микропроцессорной техники, благодаря чему снижается их энергопотребление, расширяются их функциональные возможности вплоть до использования систем искусственного интеллекта.

На железных дорогах Европы наметилась тенденция применения унифицированных решений, единых стандартов. Широко используются стандарты спутниковой системы глобального позиционирования – GPS. Бортовые устройства локомотивов снабжают приемниками GPS, что позволяет с высокой точностью определять координаты и скорость их движения. Поскольку повышение скоростей движения требует получения более оперативной информации о состоянии подвижного состава, то существует тенденция развития систем и средств ранней диагностики состояния различных систем и элементов подвижного состава.

Внедрение таких систем позволит сократить количество повреждений токоприемников и контактной подвески, снизить эксплуатационные расходы, связанные с ремонтом контактной сети и задержками поездов, что особенно важно в условиях создания скоростных линий и международных транспортных магистралей. Повреждения контактной сети приводят к значительному экономическому ущербу, связанному с задержками поездов и необходимостью проведения ремонтных работ. Если в результате применения нового технического средства предотвращен отказ оборудования и необходимость в проведении ремонтных работ отсутствует, то рассчитать экономический эффект сложно, так как основой расчета являются затраты на восстановление работоспособности оборудования. Диагностирование состояния устройств токосъема позволяет снизить как ущерб от повреждений, так и необходимость оценки такого ущерба.

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РЕКУПЕРАТИВНОГО ТОРМОЖЕНИЯ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

*В. А. ЗАГОРЦЕВ, Н. С. ЧУЕШКОВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Современный электрический подвижной состав (ЭПС) с преобразователями, построенными на базе силовых IGBT-транзисторов, который предназначен для эксплуатации на электрифицированных участках железных дорог, в качестве регулирующего торможения обычно применяет рекуперативное. Это актуально для ЭПС с асинхронным тяговым приводом, эксплуатируемым на Белорусской железной дороге – грузовых электровозов БКГ1, БКГ2 и пассажирских электропоездов серии ЭП (швейцарской фирмы Stadler).

Как известно, при рекуперативном торможении электрическая энергия, вырабатываемая тяговыми электродвигателями, поступает с токоприёмника электрического локомотива в контактную сеть. При этом ее потребителями могут выступать другие локомотивы, работающие в режиме тяги в зоне питания тяговой подстанции и нетяговые потребители, получающие питание от тяговой сети. В случае избытка рекуперированной электроэнергии или при отсутствии потребителей происходит ее поступление в систему внешнего электроснабжения из тяговой сети.

Электрическое (рекуперативное) торможение не является основным видом тормоза на электроподвижном составе, тем не менее его применение дает достаточно весомые преимущества: снижение расхода электрической энергии на тягу поездов, повышение скорости движения поездов по участку (за счет точного регулирования скорости движения на спусках), повышение безопасности движения поездов (торможение электродвигателями не расходует воздух, необходимый для пневматической тормозной системы, и позволяет гарантированно остановить поезд в случае необходимости), снижение износа тормозных колодок и др.

Для возможности применения рекуперативного торможения электрическим подвижным составом, кроме всего прочего, необходимо чтобы уровень напряжения на токоприемнике рекуперированного ЭПС был выше, чем уровень напряжения в контактной сети. Следовательно, применение рекуперативного торможения повышает среднее значение напряжения в контактной сети на участках электроснабжения и влияет на их пропускную способность.

Наличная пропускная способность системы тягового электроснабжения расчетного участка представляет собой наибольшее число поездов, которое может быть пропущено в каждом направлении движения исходя из нагрузочной способности силового оборудования тяговых подстанций, напряжения на токоприемниках ЭПС и температуры нагрева проводов контактной сети [1].

Для оценки влияния рекуперативного торможения на пропускную способность участков электроснабжения были выполнены тяговые и электрические расчеты для двух железнодорожных участков Белорусской железной дороги: Осиповичи – Минск, электрифицированный по системе тягового электроснабжения (СТЭ) 1×25 кВ и Гомель – Жлобин, электрифицированный по СТЭ 2×25 кВ. Расчет пропускной способности выполнялся в режиме нагрузки при параллельном графике [1], когда осуществлялся пропуск пакета из четырех поездов (один поезд максимальной (критической) массы 7500 т и три поезда средней массы 4500 т) и потока поездов средней массы во встречном направлении с интервалом 10 мин для двух типов локомотивов: ВЛ80<sup>С</sup> и БКГ1. При этом на электровозах БКГ1 применялось рекуперативное торможение.

По результатам расчетов было установлено, что провозная способность участка при постоянном межпоездном интервале зависит от напряжения в контактной сети. При уменьшении напряжения происходит снижение средней массы поездов, следующих по данному участку. Применение рекуперации на ЭПС позволяет уменьшить негативный эффект от снижения напряжения, и, как следствие, массы поездов оказываются выше, чем для тех же условий, но без применения рекуперации.

На электрифицированных участках с очень интенсивным движением, как правило, почти вся рекуперированная энергия потребляется электровозами или электропоездами, работающими в режиме тяги. При критичном заполнении графика движения поездов (выше 90 %) рекуперация стано-

вится абсолютно необходимой по условиям обеспечения перевозок. Таким образом, эффективность рекуперации зависит от регулирования графика движения поездов [2].

Как известно, для обеспечения устойчивого режима рекуперации необходима надежная передача вырабатываемой электроэнергии в систему тягового электроснабжения (СТЭ), при этом возможны два основных случая ее утилизации: энергия рекуперации будет потребляться в границах СТЭ или (в случае отсутствия потребителей) возвращаться в систему внешнего энергоснабжения.

Возврат энергии рекуперации в сеть внешнего энергоснабжения носит случайный характер, при этом сама энергия рекуперации имеет низкое качество (из-за несимметрии токов и напряжений, связанных с особенностью работы систем тягового электроснабжения однофазного переменного тока), поэтому продавать ее не представляется возможным. Наиболее рационально использовать эту энергию исключительно в границах СТЭ для нужд тяги поездов и нетяговых потребителей, что требует оптимизации графика движения поездов и, возможно, расположения в зоне питания накопителей электрической энергии [3, 4].

Для оценки эффективности использования электроэнергии, вырабатываемой ЭПС при рекуперативном торможении, и процента ее потребления на тягу поездов были выполнены тяговые и электрические расчеты для указанных выше участков Белорусской железной дороги. Расчеты выполнялись по следующей методике:

- для выбранных участков железной дороги были выполнены тяговые расчеты с применением рекуперативного торможения электровозами БКГ1 и определен возврат электрической энергии за поездку;

- было составлено 30 случайных суточных графиков движения для каждого из участков с заданными размерами движения и типами поездов (грузовые критической массы 7500 т и средней массы 4500 т);

- для рассматриваемых электрифицированных участков (Осиповичи – Минск 1×25 кВ и Гомель – Жлобин 2×25 кВ) выполнялись электрические расчеты по составленным ранее графикам движения поездов, по результатам которых определялось количество электроэнергии рекуперации, возвращаемой в систему внешнего электроснабжения (за расчетные сутки);

- для составленных суточных графиков движения поездов исходя из результатов единичных тяговых расчетов было определено общее количество электроэнергии, рекуперированной ЭПС на рассматриваемых участках, за каждые сутки, и по итогу определялась полезная доля энергии рекуперации, потребленная именно на тягу поездов.

Как показали расчеты, значение полезной доли энергии рекуперации, потребляемой на тягу поездов, лежит в пределах от 48,5 до 64,6 % от общей энергии рекуперации для СТЭ 2×25 кВ и от 62,4 до 74,9 % для СТЭ 1×25 кВ. То есть значительная часть (более половины) электроэнергии, возвращаемой ЭПС при работе в режиме рекуперативного торможения, потребляется другими поездами на этом участке; около 25–50 % возвращается в систему внешнего электроснабжения. При этом общий процент рекуперации электроэнергии в систему внешнего энергоснабжения по результатам электрических расчетов за расчетные 30 суточных графиков движения составил 5,6 % для СТЭ 2×25 кВ и 6,8 % – для СТЭ 1×25 кВ.

#### Список литературы

1 Инструкция по расчету наличной пропускной способности железных дорог : утв. 10.11.2010 г. № 128. – М., 2010. – 305 с.

2 Никифоров, М. М. Методика оценки потенциала энергоэффективности применения рекуперативного торможения / М. М. Никифоров, А. Л. Каштанов, В. А. Кандаев // Известия Транссиба : сб. науч. ст. – Омск : ОмГУПС (ОмИИТ), 2012. – № 1(9). – С. 72–78.

3 Загорцев, В. А. Способы улучшения качества электрической энергии в системах с тяговой нагрузкой / В. А. Загорцев, А. С. Терлякович // Проблемы безопасности на транспорте : материалы XII Междунар. науч.-практ. конф. (Гомель, 24–25 ноября, 2022 г.) : в 2 ч. Ч. 1 / под общ. ред. Ю. И. Кулаженко. – Гомель : БелГУТ, 2022. – С. 119–121.

4 Могила, В. С. Анализ качества напряжения в точках общего присоединения / В. С. Могила, В. А. Загорцев // Проблемы безопасности на транспорте : материалы VII Междунар. науч.-практ. конф. / под общ. ред. В. И. Сенько. – Гомель : БелГУТ, 2015. – 343 с.

## ОЦЕНКА РЕСУРСА И СТОИМОСТИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ЛОКОМОТИВА С УЧЁТОМ ВНЕСЕНИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ПРИ МОДЕРНИЗАЦИИ

*Н. С. ЗАЙНИДДИНОВ, О. Р. ХАМИДОВ*

*Ташкентский государственный транспортный университет, Республика Узбекистан*

Основная часть грузовых перевозок на дальние расстояния по территории Республики Узбекистан приходится на долю железнодорожного транспорта. В связи со строительством новых железнодорожных участков и ростом объёмов перевозок за последние годы поддержание требуемого количества локомотивов обретает большую значимость [1].

Для своевременного и безопасного выполнения объёмов грузовых и пассажирских перевозок требуется поддержание в исправном и работоспособном состоянии парка подвижного состава в соответствии с объёмами перевозок. Обновление парка локомотивов в Узбекистане и других странах СНГ сдерживается рядом факторов, в том числе и финансовыми возможностями. В такой ситуации одним из решений является модернизация локомотивов с продлением срока службы.

В связи с этим одной из задач Программы развития АО «Узбекистон темир йуллари» является модернизация существующей материально-технической базы железнодорожного транспорта, которая предусматривает и модернизацию подвижного состава с продлением эксплуатационного ресурса и улучшением технико-экономических характеристик. В рамках данной программы кроме приобретения современных локомотивов были модернизированы 90 секций тепловозов серии ТЭ10 с заменой дизеля Д100 на более экономичные дизели типа Д49. Согласно данному проекту тепловозы были модернизированы на базе УП «Узтемирйулмаштаъмир». Кроме установки дизеля проведен ряд работ по созданию благоприятных условий локомотивной бригады, а также оснащению тепловозов современными устройствами безопасности движения.

Подобного рода модернизацию можно проводить с промышленными и маневровыми локомотивами, так как парк данных видов локомотивов Республики Узбекистан, как и многих стран СНГ, тоже морально устарел и требует принятия неотложных мер по оздоровлению.

В настоящее время эксплуатируется большое количество локомотивов, которые отработали свой нормативный срок службы. Возможные непредвиденные ситуации, которые могут произойти с их несущими конструкциями, напрямую влияют на безопасность движения, а также могут привести к экономическим потерям.

Из-за ограниченности финансовых средств на приобретение большого количества новых локомотивов взамен отработавших назначенный срок, считается целесообразным проведение обследования их несущих конструкций для обоснования возможности продления их срока службы. В такой ситуации одной из задач является оценка остаточного ресурса локомотивов [3, 4].

Вопрос оценки остаточного ресурса тягового подвижного состава становится актуальным в области обеспечения безопасности движения поездов и требует изучения возможности определения его величины.

На техническое состояние и ресурс несущих конструкций эксплуатируемых локомотивов влияет ряд факторов: характеристика материала конструкции; коэффициент запаса прочности с учётом жизненного цикла конструкции; интенсивность эксплуатации, а также случайный характер знакопеременных нагрузок, статические, квазистатические и динамические нагрузки в различных направлениях, воздействующие в процессе эксплуатации.

Для оценки эффективности проводимых мероприятий модернизации требуется также оценка стоимости жизненного цикла локомотива (Life Cycle Cost – LCC) с учетом проводимых работ при модернизации. Выполняемая модернизация подвижного состава также является составляющей жизненного цикла, то есть должны учитываться все расходы на протяжении всего жизненного цикла локомотива [2].

При оценке жизненного цикла в данном случае рассматриваются различные варианты модернизации исходя из условий эксплуатации и оснащённости ремонтных предприятий под устанавливаемые современные агрегаты. Кроме капиталоемкости при проведении работ по замене выбранных узлов и агрегатов разрабатываются компоновка и комплектация для модернизации, что также учи-

тывается при оценке жизненного цикла. Кроме данных затрат необходимо учитывать такие затраты на продленный срок эксплуатации, как межремонтные пробеги, расход при ремонтных работах, а также расход на энергоресурсы и расходные материалы.

Опыт железнодорожных компаний различных стран показывает, что были применены варианты замены дизеля на двух дизельные варианты, а также замены на модульные блоки [5].

В Республике Узбекистан для маневровых работ основной парк состоит из тепловозов ТЭМ-2 и ЧМЭ-3. Основная часть этих тепловозов находятся на стадии истощения назначенного ресурса и может быть модернизирована с продлением срока полезного использования.

Для оценки остаточного ресурса рамных конструкций проводится моделирование напряженно-деформированного состояния, в соответствии с которой создана конечно-элементная модель рамных конструкций и проведены расчёты на прочность.

Методом конечных элементов проведены расчёты на статические нагрузки, нагрузки при различных режимах эксплуатации. Созданная конечно-элементная модель рамы тепловоза и рамы тележки приведена на рисунках 1, 2.

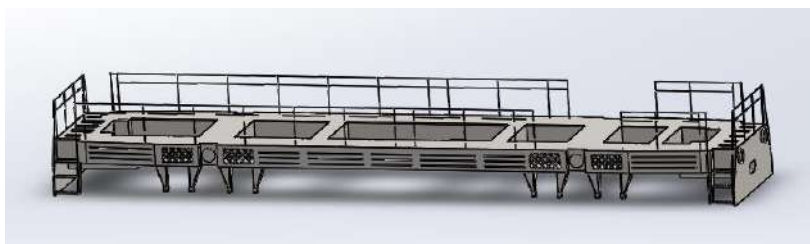


Рисунок 1 – Рама тепловоза ЧМЭ3

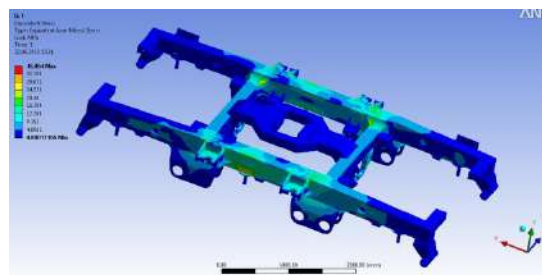
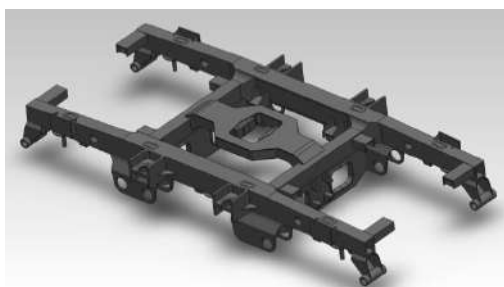


Рисунок 2 – Рама тележки тепловоза ЧМЭ3

Рассматриваются различные варианты модернизации, при которых производятся следующие основные работы по дизель-генераторной установке: 1) замена дизеля на современный дизель с поддизельной рамой, что увеличивает межремонтные пробеги тепловоза; 2) установка нового трубопровода водяной системы с переделкой блока охлаждения и установкой дополнительного расширительного бака горячего контура с заменой секций холодильника; 3) установка нового трубопровода масляной системы с заменой штатного оборудования; 4) наличие водомасляного охладителя, самоочищающегося фильтра и насоса маслопрокачивающего – приводит к экономии масла; 5) наличие системы автоматического регулирования теплоносителей (САРТ), предназначенной для более стабильного и устойчивого поддержания тягового дизеля; 6) усиление рамных конструкций при необходимости – продлевает срок эксплуатации; 7) оборудование кабины машиниста унифицированными пультами управления; 8) улучшение условий труда локомотивных бригад благодаря новым, более эргономичным пультам управления; 9) интегрированное в пульт устройство отображения комплексной системы диагностики; 10) замена громоздкого штатного контроллера на электронный, с применением схемы бесконтактного управления электрооборудования локомотива; 11) повышение надежности за счет применения современных компонентов и технологий. Кроме того, проводятся работы по установке устройств автоматизированного контроля расхода топлива, замене электроприводов вспомогательного оборудования, установке современных систем сигнализации и связи.

Таким образом, для улучшения показателей парка локомотивов, обеспечения перевозочного процесса исправными локомотивами, отвечающими современным требованиям экономичности, удобствами для локомотивных бригад, шумности и экологичности, а также безопасности движения

необходимо принятие мер по своевременному оздоровлению парка, так как железнодорожная отрасль требует опережающего развития, что является залогом стабильности на перспективу транспортного сектора. В данной ситуации модернизация локомотивов является одним из вариантов, позволяющих поэтапно пополнить парки современными локомотивами.

#### Список литературы

1 Нормы для расчета и оценки прочности несущих элементов, динамических качеств и воздействия на путь экипажной части локомотивов железных дорог колеи 1520 мм. – М. : ВНИИЖТ, 1998. – 145 с.

2 О методике определения стоимости жизненного цикла и лимитной цены подвижного состава и сложных технических систем железнодорожного транспорта : утв. распоряжением ОАО «РЖД» 27 декабря 2007 г., № 2459Р. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://jd-doc.ru/2007/dekabr-2007/12704-gasrogyazhenie-oao-rzhd-ot-27-12-2007-n-2459r>. – Дата доступа : 10.09.23.

3 **Оганьян, Э. С.** Расчёты и испытания на прочность несущих конструкций локомотивов: учебное пособие / Э. С. Оганьян, Г. М. Волохов. – М. : Учеб.-метод. центр по образованию на ж.-д. трансп., 2013. – 326 с.

4 **Насыров, Р. К.** Оценка остаточного ресурса несущих конструкций локомотивов промышленного транспорта / Р. К. Насыров, Н. С. Зайниддинов // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2009. – № 3. – С. 115–125.

5 **Бабел, М.** Теоретические основы и методология выбора объёмов и технологий модернизации тепловозов по критерию стоимости жизненного цикла : дис. ... д-ра техн. наук : 05.22.07 / М. Бабел ; Всерос. науч.-исслед. ин-т ж.-д. трансп. МПС РФ. – М., 2014. – 48 с.

УДК 006.015.8: 625.1

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПОДХОДОВ К ОЦЕНКЕ СООТВЕТСТВИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ПРОДУКЦИИ

*В. С. ЗАЙЧИК, З. Ю. ТРЕТЬЯК*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В соответствии с законодательством допуск в эксплуатацию подвижного состава, его составных частей, а также объектов инфраструктуры на территории стран ЕАЭС разрешается только при наличии документов об оценке соответствия требованиям безопасности, которые устанавливаются основополагающими техническими регламентами ТР ТС 001/2011 «О безопасности железнодорожного подвижного состава», ТР ТС 002/2011 «О безопасности высокоскоростного железнодорожного транспорта» и ТР ТС 003/2011 «О безопасности инфраструктуры железнодорожного транспорта». Данные технические регламенты введены в действие с августа 2014 года, т. е. к настоящему времени накопился достаточно большой опыт их применения, на основании которого можно делать выводы о практическом применении этих документов. На основании данного опыта в рамках широкого обсуждения специалистами Российской Федерации, Республики Беларусь и Казахстана было выработано изменение № 1, которое также вступило в действие и позволило устранить большую часть наиболее острых проблем.

Так, были гармонизированы подходы и устранены несовпадения между процедурами, введенными в технических регламентах. Теперь при сертификации технически сложной продукции по ТР ТС 003/2011 необходимо предоставление документов о соответствии на составные части, что ранее требовалось, например, в ТР ТС 001/2011. Кроме того, по аналогии с ТР ТС 001/2011 в ТР ТС 003/2011 установлены четкие требования и формы подтверждения соответствия для каждого наименования части инфраструктуры. Также устранены разночтения и разграничены сферы применения между техническими регламентами и Типовыми схемами оценки соответствия, введенными в действие Решением Совета Евразийской экономической комиссии № 44 от 18.04.2018.

Также изменением № 1 значительно сокращено количество схем сертификации, используемых для подтверждения соответствия на железнодорожном транспорте. Для использования оставлены только те схемы, которые являются актуальными для выпуска именно железнодорожной продукции и гарантирующие в итоге проведения работы по подтверждению соответствия обеспечения безопасности жизнедеятельности человека, окружающей среды, а также безопасности движения. Так, может быть проведена сертификация серийно выпускаемой продукции и установочной серии (схема 1с), партии продукции (схема 3с), единичного изделия (схема 4с) и заранее оговоренного объема реализации (выпуска) продукции малыми партиями в ограниченный период времени (схема 10с).



Дополнительно для сертификации рельсового скрепления введена схема 11с, которая полностью учитывает специфику данного вида продукции. Среди новых решений в части технической реализации процесса оценки соответствия изменен порядок проведения периодической оценки при незначительном перерыве в производстве, актуализированы перечни документов, предоставляемых с заявкой на сертификации и декларированием, а также решен еще ряд моментов, которые вызывали затруднения при работе органов по сертификации.

Вместе с тем главным и несомненным достижением на пути гармонизации подходов к сертификации и декларированию железнодорожной продукции явилась разработка и введение подробного перечня международных и региональных (межгосударственных) стандартов, в результате применения которых на добровольной основе обеспечивается соблюдение требований технических регламентов (далее – перечень). Данный документ разработан в полном соответствии с требованиями Евразийской экономической комиссии, но при этом по своей структуре он позволяет как органам по сертификации, так и заявителям легко определить номенклатуру показателей по каждому конкретному виду железнодорожной продукции. Несмотря на некоторые шероховатости в установлении показателей, наличие единого перечня позволяет гарантировать единство применяемых требований на пространстве от Бреста до Владивостока, что, безусловно, облегчает как проектирование и разработку, так и производство и ввод в эксплуатацию (включая процессы оценки соответствия).

Однако после устранения основных выявленных проблем проявились проблемы второго плана, которые необходимо также устранить во избежание двойных трактовок и дискриминации заявителей. К таким факторам, в частности, относится относительная жесткость перечня стандартов. В соответствии с процедурами ЕАЭС внесение изменений занимает от полугода до года, причем вне зависимости от причин, по которым вносится изменение (введение новой версии стандарта под тем же или иным обозначением, принятие абсолютно новых стандартов и т. д.). В связи с этим возникает довольно абсурдная ситуация, при которой органы при наличии новых требований по безопасности их применение по юридическим причинам полностью зависит от заявителя. Орган по сертификации может либо потребовать от заявителя предоставить обоснование безопасности с обоснованием применения новых стандартов, либо использовать при работе старые версии документов, включенные в перечень. При этом решающее значение имеет авторитет органа по сертификации и самого эксперта-аудитора в глазах заявителя. Очевидно, что для устранения данной коллизии необходимо ввести в перечень норму следующего содержания: «При применении данного перечня стандартов необходимо использовать версии международных, региональных (межгосударственных), национальных (государственных) стандартов, изданные взамен с отменой и действующие на момент регистрации документа о соответствии».

Также со стороны заявителей поступают обоснованные претензии о необходимости многократного повторения дорогостоящих испытаний при повторном подтверждении соответствия, что обусловлено требованиями технического регламента о пятилетнем сроке использования результатов испытаний. При этом ряд таких испытаний зависит только от проектных и конструкционных решений и не зависит от стабильности конкретного производства. Примером является стойкость к воздействию климатических и механических факторов электрооборудования. При изготовлении изделий данной группы с достаточной степенью качества (которое контролируется при сертификации широким спектром иных требований) выполнение заложенных в конструкторской документации параметров по вышеуказанным требованиям будет обеспечено автоматически. В связи с этим предлагается по ряду видов продукции проводить такие испытания только при первичном подтверждении соответствия, а при последующих подтверждениях соответствия в графе «Дополнительная информация» сертификатов и деклараций указывать информацию регистрационных данных первичных документов о соответствии.

Еще одним аспектом, который требует решения, является наличие по ряду позиций требований, параллельно установленных нормативными документами различных стран. Такая ситуация обусловлена сложившейся практикой производства, например, в Российской Федерации и Казахстане, и является неприемлемой с точки зрения конкуренции и открытости экономического пространства ЕАЭС. Однако сближение позиций технических специалистов идет достаточно медленно, а для работы органов по сертификации необходимо иметь возможность выдачи сертификатов уже в настоящее время. Самым ярким примером такого положения является применение пункта 97 ТР ТС 001/2011, который выполняется при выполнении требований как ГОСТ 2.601–2013 «Единая система конструкторской документации. Эксплуатационные документы», так и ГОСТ Р 2.601–2019 с аналогичным названием. При этом данные стандарты в части, относящейся к пункту 97 ТР ТС 001/2011, имеют

абсолютно идентичный текст, однако оба присутствуют в перечне, и в настоящее время нет однозначного ответа, можно использовать тот или иной документ либо надо руководствоваться обоими. Гораздо более сложная ситуация, например, в части продукции вагоностроения, где используемые стандарты Российской Федерации и Казахстана требуют применять различные (а в некоторых случаях взаимоисключающие) требования. Для решения необходимо де-факто ввести в перечень стандартов возможность выбора, обозначив его союзом «или» между соответствующими строками.

Описанные выше решения, а также ряд более мелких решений технического характера были внесены специалистами Органа по сертификации Учреждения образования «Белорусский государственный университет транспорта» в рабочую группу по разработке и актуализации перечня стандартов к техническим регламентам в области железнодорожного транспорта, созданной при Министерстве транспорта Российской Федерации. В настоящее время проходит стадия обсуждения с перспективой введения данных изменений до конца 2023 года, что позволит сделать процедуру подтверждения соответствия железнодорожной продукции еще более прозрачной для всех участников процесса.

УДК 629.4.015

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЛОКОМОТИВОВ В УСЛОВИЯХ ВОСТОЧНОГО ПОЛИГОНА

*В. Н. ИГИН*

*Дирекция тяги – филиал ОАО «РЖД» (ЦТ), г. Москва, Российская Федерация*

По поручению Президента Российской Федерации В. В. Путина от 17 сентября 2015 г. в соответствии с решением Восточного экономического форума, № Пр-1891 «Об обеспечении приоритетного финансирования задач социально-экономического развития Дальнего Востока, ОАО «Российские железные дороги» реализует проект «Модернизация железнодорожной инфраструктуры с развитием пропускных и провозных способностей».

В связи с предполагаемой в 2023 году перспективой роста грузооборота на Восточном полигоне до 173 млн тонн, нужна оценка готовности локомотивной тяги к выполнению намеченного плана.

Эффективность показателей перевозок предвидится холдингом в стратегии развития тяжеловесного движения за счет увеличения количества поездов массой 7100 т.

Действенной мерой реализации названной стратегии служит системное обновление парка локомотивов. В прошедшем 2022 году из закупки свыше 500 локомотивов, 205 поставлено на дороги Восточного полигона (в т. ч. 130 электровозов 3ЭС5К, 30 единиц 2ЭС5К и 15 тепловозов 3ТЭ25К2М). В 2023 году ожидается закупка 661 ед. локомотивов [1].

Для оценки готовности парка новых локомотивов с целью эффективной реализации принятой стратегии следует учесть и оценить:

- риски при эксплуатации локомотивов исполнения «У» для умеренного климата, согласно ГОСТ Р55364–2012 «Электровозы. Общие технические требования» и 31187-2011 «Тепловозы магистральные. Общие технические требования», в условиях холодного климата «ХЛ», в соответствии с ГОСТ 16350–80 и ГОСТ 15150–69.

- перспективу улучшения качественных показателей их использования, согласно распоряжению ОАО «РЖД» от 11.11.2009 № 2293 «О показателях состояния и использования тягового подвижного состава» новых серий локомотивов, например, 2ЭС5К и 2ТЭ25А, в сравнении со «старыми», в частности, ВЛ80 и 2ТЭ10В/И;

- наличие нормативных тягово-энергетических характеристик новых серий локомотивов 2ЭС10, 2ЭС7, 3ЭС6, 2ТЭ25А, 2ТЭ25 К<sup>2М</sup> и 3ТЭ25К<sup>2М</sup>, утвержденных холдингом, в соответствии с ПТЭ РФ № 250 от 23.06.2022, глава 1, п. 1.

В этой связи целью настоящей работы стала оценка соответствия поставляемых локомотивов субарктическим условиям внешней среды Восточного полигона.

Локомотивный парк ОАО «РЖД», несмотря на широкий спектр объявленных, согласно ТЗ, ТУ и РЭ, климатических условий: от I<sub>2</sub> холодного (Х) до П<sub>10</sub> умеренного (У), представлен электровозами и тепловозами исполнения «У» для эксплуатации в зонах умеренного климата [2].

Характеристикой климатического района эксплуатации локомотива согласно ГОСТ 16350–80 «Климат СССР. Районирование и статистические параметры для технических целей» служат температура  $t$  и относительная влажность воздуха  $U$ .

Параметры и показатели внешней среды определены рядом стандартов, в частности, ГОСТ 31187–2011 «Тепловозы магистральные. Общие технические требования». Дополнительно рассмотрены показатели нормальных условий по ГОСТ 10150–2014 «Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Общие технические условия», ГОСТ 2582–2013 «Машины электрические вращающиеся тяговые» и ГОСТ 15150–1969 «Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды» как части конструкции локомотивов.

Анализ стандартных климатических факторов доказал, что их показатели заметно расходятся. Разница значений температуры наружного воздуха колеблется от 10 до 20 °С, относительной влажности – от 15 до 50 %, атмосферного давления – от 20 до 50 мм рт. ст.

Несмотря на очевидную разницу показателей внешней среды  $t$ ,  $U$  и  $P$ , корректировка объявленной мощности  $N_e$  дизель-генераторной установки в эксплуатации значений тягово-энергетических параметров тепловозов, вопреки рекомендациям ГОСТ 10150–2014, не производится. Ожидаемым результатом станет значительное, до 10 % и выше, различие между объявленными и фактическими показателями, в частности, мощности  $N_e$  дизеля.

Заметное различие также имеется между стандартными и реальными климатическими показателями внешней среды Байкало-Амурской и Транссибирской магистралей.

К примеру, средняя температура июля – самого теплого месяца в году – на полигоне Байкало-Амурской магистрали, в частности, на станции Тында (17,8 °С), ниже 20 °С, по ГОСТ 31187-2011 «Тепловозы магистральные. Общие технические требования». Одновременно, в отличие от назначенных стандартами, положительных температур от 15 до 20 °С, среднегодовая температура в Нерюнгри – минус 6,1 °С, т. е. отрицательная. При этом ни один из названных показателей, как условие для сравнения параметров локомотивов, ни по количественному признаку, ввиду заниженной (менее +20 °С) пороговой среднемесячной температуры, ни по качественному признаку, из-за наличия отрицательной (вместо положительной) среднегодовой температуры, не является «нормальным». Более того, из ежегодных абсолютных минимумов января – самого холодного месяца в году – температура воздуха, на полигоне Байкало-Амурской и Транссибирской магистралей – ниже –50 °С выходит за интервал экстремальных температур от –45 до –50 °С и соответствует условиям холодного климата (X).

Из этого следует, что локомотивы исполнения «У», для умеренного климата (У) работают преимущественно в холодном климате (X), т. е. не по назначению.

Неустранимыми последствиями от эксплуатации локомотивов исполнения «У» в холодной (X), вместо умеренной (У) климатической зоны, являются:

- повышенная склонность к парафинизации дизельного топлива (ГОСТ 305-2013) при использовании зимней марки (З), не говоря уже о несезонной летней марке (Л);
- повышенный износ, в частности, зубчатой передачи тягового редуктора ЗЭС5К из-за полусухого трения вследствие обводнённости смазочных материалов;
- снижение безотказности тяговых электродвигателей, в частности, НБ-514Б и АД917 из-за пробоя изоляции обмотки вследствие интенсивного её старения по причине резкого (от 180 до –60 °С) перепада температур;
- падение ниже 15–20 % значения объявленной мощности ДГУ тепловоза из-за нехватки надувочного воздуха вследствие низких (от –50 до –30 °С) температур внешней среды и атмосферного давления (от 680 мм рт. ст.);
- понижение вплоть до нулевых значений коэффициента сцепления колеса с рельсом, из-за повышения увлажнённости точки их контакта, вследствие естественного расширения диапазона точки росы от +14 до –9,3 °С;
- рост (от 5 % и выше) расхода энергоносителей локомотивов в ожидании работы, для обеспечения температурного режима их функционирования.

Обсуждение этой проблемы состоялось 1 февраля 2023 г. в дирекции тяги ОАО «РЖД» с участием заместителя генерального директора ОАО «РЖД» – начальника Дирекции тяги. Позднее, 26 августа 2023 г., решение проблемы получило развитие на пленарном заседании международного железнодорожного салона «Пространство 1520» в г. Санкт-Петербурге.

#### Список литературы

- 1 **Валинский, О. С.** О перспективах развития российских железных дорог / О. С. Валинский // Локомотив. – 2023. – № 7. – С. 2–5.
- 2 **Игин, В. Н.** Восточный полигон диктует условия тяге / В. Н. Игин // Локомотив. – 2021. – № 12. – С. 6–8.

## ВОПРОСЫ КЛАССИФИКАЦИИ И НАСТРОЙКИ ПРИБОРОВ УПРАВЛЕНИЯ ТОРМОЗАМИ

*А. В. ИСАЕВ, А. С. ПОЛЯКОВА, А. А. ЧЁГИНА*

*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Российская Федерация*

*П. М. ТАГИЕВ*

*АО МТЗ ТРАНСМАШ, г. Москва, Российская Федерация*

*К. В. ЕМЕЛЬЯНОВ*

*ОАО «РЖД», г. Москва, Российская Федерация*

В настоящее время к приборам управления тормозами относятся краны машиниста и связанные с ними устройства коммутации пневматических цепей, а также регуляторы давления. К приборам торможения принято относить воздухораспределители, запасные резервуары, тормозные цилиндры, авторежимы и реле давления. Однако, по мнению авторов, в современных условиях целесообразно относить к приборам управления тормозами не только краны машиниста (КМ), но и воздухораспределители (ВР), электровоздухораспределители (ЭВР) и блоки хвостовых вагонов (БХВ) по следующим причинам.

*Во-первых*, по сложности конструкции указанные приборы выделяются среди всего остального тормозного оборудования.

*Во-вторых*, воздухораспределители «осуществляют мониторинг» состояния тормозной сети поезда и при выходе параметра тормозной магистрали (температура изменения давления или величина этого изменения) сами «принимают решение» не только произвести торможение, но и подать управляющий сигнал (дополнительная разрядка ТМ) другим воздухораспределителям.

*В-третьих*, управление тормозами может осуществляться не только изменением давления в тормозной магистрали (ТМ) посредством крана машиниста, но и непосредственным воздействием на ВР как вручную (переключение режимов, принудительный отпуск), так и по электрической цепи и радиоканалу.

*В-четвертых*, БХВ в середине и хвосте поезда, получив управляющий сигнал, производит разрядку ТМ определенным темпом и на определенную величину, т. е. непосредственно управляет торможением.

Это вполне сочетается и со значением слова «управление» [1]: «управление – система приборов, приспособлений, посредством которых управляют действием чего-либо (машины, механизма, какого-либо устройства)».

По мнению авторов данной статьи, для приборов управления тормозами возможны следующие варианты классификаций:

1) по типу чувствительных элементов:

- клапанно-диафрагменные;
- клапанно-поршневые;
- золотниково-поршневые;
- смешанные.

2) по конструктивному решению:

- сосредоточенные;
- блочные;
- распределенные.

Помимо этого, воздухораспределители (вне зависимости от конструктивного исполнения) можно разделить на двухобъемные и трехобъемные. К первым относятся лишь тройной клапан системы Вестингауза и ВР № 292 при его одиночной работе (в настоящее время такой вариант применяется лишь на пассажирских вагонах узкой колеи 750 мм). Ко вторым относятся практически все ВР, включая блок пассажирского воздухораспределителя «292+305».

Краны машиниста также возможно классифицировать:

- по способу управления: *временные* (№ 334, 395, 4ВК, Zb-03, Fb-11) и *угловые* (№ 326, 254);
- по качеству управления: *неуниверсальные* (№ 334 – лишь непитающие перекрыши, № 326 – лишь питающие перекрыши) и *универсальные* (№ 395).

В современных условиях как для кранов машиниста, так и для воздухораспределителей применяется распределенная схема с клапанно-диафрагменными чувствительными элементами. Такая схема дает следующие преимущества:

- возможность реализации любого схемного решения тормозного оборудования, наиболее отвечающего техническому заданию;
- удобство компоновки (на пневмоплите или в специальном шкафу);
- хорошая ремонтпригодность благодаря удобному доступу к элементам приборов и малому весу элементов;
- возможность «тюнинга» тормозной системы в зависимости от местных условий эксплуатации.

Недостатками такой схемы является уязвимость от сжатого воздуха, не соответствующего ГОСТ 32202–2013. Однако данный недостаток устраняется при надлежащем техническом обслуживании компрессорных установок тягового подвижного состава.

В отношении «тюнинга» тормозной системы авторы считают необходимым отметить, что впервые об этом упоминал еще академик В. Г. Иноземцев [2, с. 223]. К сожалению, в современных условиях практически отсутствует возможность настройки воздухораспределителей блочного типа для конкретных условий эксплуатации. Однако такая задача успешно была решена на Октябрьской дороге в 1996 г. на головных вагонах электропоездов серии ЭТ2р. Эти вагоны были предназначены для совместной работы с промежуточными вагонами серий ЭР1 (ЭР2), но отличались от них электрической и пневматической схемами. В результате отпуск тормозов головного вагона происходил медленнее, чем промежуточных, что приводило к «оттяжкам». Поэтому ВР «292+305» вагонов ЭТ2р был «перенастроен» для выравнивания времени отпуска тормозов и исключения продольно-динамических реакций в составе электропоезда [3].

Лучше всего возможности настройки тормозной системы реализуются у распределённых тормозных систем. Такая система впервые появилась в России на вагонах метрополитена серии 81-720 «Яуза» в 1987–1992 гг. и на высокоскоростном электропоезде «Сокол» в 1999–2000 гг. С 2003 г. эта система применяется на вагонах метрополитена серии 81-740 «Русич».

За последние шесть лет специалистами АО МТЗ ТРАНСМАШ была разработана линейка модулей тормозного оборудования (МТО) для различных типов российских локомотивов: электровозов ЭП20, 2ЭС5, тепловозов 2ТЭ25А, 2ТЭ25КМ, 3ТЭ25К2М, ТЭМ28, ЧМЭ3М. Таким образом, современное тормозное оборудование всё больше уходит от классических терминов «кран машиниста» и «воздухораспределитель» к понятию «модуль».

Модули тормозного оборудования подразделяются на *поездные* и *локомотивные*.

Поездные МТО включают в себя приборы управления, устанавливаемые в пульт машиниста, и собственно тормозной модуль, размещаемый в машинном отделении локомотива. Как правило, такой модуль состоит из металлического каркаса с установленными в нем пневматическими панелями, резервуарами и трубопроводами. Пневматические панели представляют собой плиту-кронштейн, внутри которой выполнены пневматические связи.

Локомотивные МТО включают в себя только сам модуль, устанавливаемый в машинном отделении локомотива.

Современные модули тормозного оборудования, разработанные АО МТЗ ТРАНСМАШ, обладают всеми преимуществами распределенной схемы компоновки тормозного оборудования и имеют хороший потенциал для развития тормозных систем тягового подвижного состава. Элементы модулей легко заменяются, имеют небольшую массу, что значительно повышает надёжность и ремонтпригодность тормозного оборудования.

В то же время «классические» приборы управления тормозами пока еще остаются основными на «пространстве 1520» в силу простоты своей конструкции, отработанной технологии изготовления, высокой живучести и большого накопленного опыта эксплуатации и ремонта.

#### Список литературы

- 1 **Ефремова, Т. Ф.** Новый словарь русского языка. Толково-образовательный / Т. Ф. Ефремова. – М. : Рус. яз. – Т. 1 : А–О. – 1232 с.; Т. 2 : П–Я. – 1088 с.
- 2 **Иноземцев, В. Г.** Тормоза железнодорожного подвижного состава. Вопросы и ответы / В. Г. Иноземцев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Транспорт, 1986. – 287 с.
- 3 Тормозное оборудование электропоездов типа ЭТ. Повышение надежности за счет модернизации пневматической и электрической схем : отчет о НИР / ПГУПС ; рук. В. В. Стрекопатов. – СПб., 1999. – 32 с.

## ОСОБЕННОСТИ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ, СОПРОВОЖДАЮЩИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ТОКОСЪЕМНИКА С КОНТАКТНЫМ ПРОВОДОМ

*И. И. КАПЛЮК, А. О. ШИМАНОВСКИЙ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Компьютерное исследование с использованием программных средств инженерного анализа контактного взаимодействия «контактный провод – токосъемная вставка токоприемника электрического подвижного состава» представляет научно-практический интерес, т. к. при решении такого рода задач следует учитывать многофакторность, присущую данному контактному взаимодействию [1]. Это позволяет обобщить результаты экспериментальных исследований и предложить пути совершенствования конструкции электроподвижного состава.

Задача, связанная с компьютерным моделированием контактного взаимодействия токосъемной вставки токоприемника с питающим проводом электросети, предполагает несколько этапов последовательной разработки конечно-элементных моделей элементов соединения «контактный провод – токосъемная вставка», соответствующих реальным условиям. Математическая имитация сильно-точного скользящего контакта в рассматриваемом соединении сводится к рассмотрению трех основных видов процессов, которые в ходе решения связываются между собой (выходные результаты одной модели становятся входными данными для другой модели):

- движение пантографа с токосъемной вставкой относительно провода (динамические процессы);
- снятие электрического тока и передача электрической энергии от питающей сети к подвижному составу (электрические процессы);
- нагревание и распространение тепла в контактирующих элементах (тепловые процессы, вызванные трением в процессе движения и длительным воздействием электрического тока).

Возможные состояния моделей контакта «контактный провод – токосъемная вставка» определяются входными параметрами, к которым следует отнести: геометрию и свойства материалов тел, вступающих в контакт; физические величины, описывающие процессы взаимодействия и непосредственного контактирования тел, а также условия окружающей среды и налагаемые ограничения. Для описания объекта моделирования на каждом этапе используется соответствующий набор параметров. Выбор и задание граничных условий при математическом описании контакта «контактный провод – токосъемная вставка» осуществляется из учета нахождения оптимальной силы прижатия токосъемника к проводу в различных комбинациях сопутствующих процессов. Каждый блок моделирования при этом может быть усовершенствован.

Для апробации разработанных компьютерных моделей с целью сокращения времени расчетов на стадии создания геометрической модели контакта «контактный провод – токосъемная вставка» целесообразно учесть симметричность данной модели относительно вертикальной плоскости провода. Сам контактный провод достаточно смоделировать круглого сечения, не детализируя форму (определяемую креплением), внутреннее устройство и некоторый износ, возникающий в процессе эксплуатации, т. к. в зоне контакта провод имеет цилиндрическую форму. Также по длине провод желательно разбить на отдельные зоны: зону непосредственного контакта с токосъемной вставкой, зону ближайшего удаления от краев токосъемной вставки – и в случае необходимости (при движении со скоростью для исследования тепловых и электрических закономерностей) ввести дополнительные зоны дальнего удаления. Данное разбиение геометрии позволит удобнее сгенерировать конечно-элементную сетку. Контактную вставку также можно разбить на участки относительно удаления от контактного провода по длине и глубине токосъемной вставки.

При построении тестовой модели длина участка провода принята равной 10 см, его радиус 6,5 мм. В качестве модели угольной вставки с подкладкой приняты два прямоугольных параллелепипеда размерами 100×7×30 мм и 100×2×30 мм. Такое разделение использовано для создания более мелкой сетки конечных элементов в области соприкосновения тел. Также с целью создания мелкой сетки в области контакта провода с накладкой дополнительно выполнено рассечение провода и накладки плоскостью, расположенной на расстоянии 1 мм от плоскости симметрии. При решении контактной задачи, чтобы учесть скольжение провода, вызванное действием продольной силы, провод разбит на части так, чтобы центральная часть оказалась шире графитовой вставки [2].

Для определения механических напряжений в контакте без учета других явлений для угольной вставки задавались: модуль упругости – 10 ГПа, коэффициент Пуассона – 0,24, плотность материала – 1760 кг/м<sup>3</sup>.

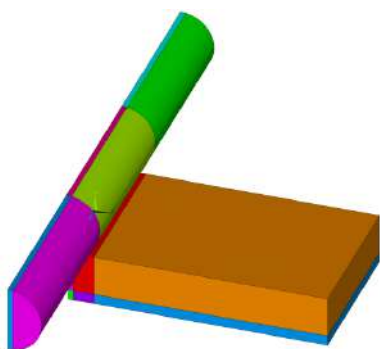


Рисунок 1 – Геометрическая модель системы «контактный провод – токосъемная вставка»

Для контактного провода из меди приняты следующие физические характеристики: модуль упругости – 100 ГПа; коэффициент Пуассона – 0,2; плотность материала – 5529 кг/м<sup>3</sup>. Контакт задан фрикционным. Коэффициент трения в контакте принят равным 0,06. Контактная пара принята фрикционной, несимметричной с формулировкой «Augmented Lagrange». Был назначен контакт между телами без отстранения. Коэффициент нормальной жесткости уменьшен в 10 раз до 0,01 по сравнению со значением по умолчанию, чтобы обеспечить более устойчивый контакт тел по всей поверхности контакта. Чтобы учесть свойства механического взаимодействия провода со вставкой сила натяжения провода принята равной 500 Н, а сила давления провода на вставку – 140 Н.

В качестве граничного условия введен запрет поперечного смещения вставки относительно провода, а также закреплены его концы. Решение выполнено для положения равновесия и при смещении токосъемной вставки относительно провода со скоростью 1 м/с.

При тепловом расчете приняты параметры: для угольной вставки коэффициент теплопередачи в контакте – 70 Вт/(м<sup>2</sup>·К); коэффициент теплового расширения –  $7,9 \cdot 10^{-6}$  1/К; коэффициент теплопроводности – 150 Вт/м·К; удельная теплоемкость – 708 Дж/кг·К. Для провода: коэффициент теплового расширения провода –  $16,7 \cdot 10^{-6}$  1/К; удельная теплоемкость – 383 Дж/кг·К; коэффициент теплопроводности – 380 Вт/м·К. Для нахождения плотности теплового потока, обусловленного кулоновым трением, коэффициент рассеивания энергии принят равным 1. Весовой коэффициент, учитывающий распределение тепла между контактной и целевой поверхностями, принят равным 0,5. Предполагалось, что при температуре 22 °С тепловые деформации отсутствовали. Указанная температура принята в качестве начальной [3].

Для электрического расчета удельное сопротивление токосъемной вставки принято 0,008 Ом·м, а материала провода –  $1,72 \cdot 10^{-8}$  Ом·м. К одному концу провода приложен входной поток электрического тока, равный 200 А, на выходной плоскости токосъемной вставки задано напряжение 0 В. Входными данными являлось распределение механических напряжений. Силой трения в контакте пренебрегали.

Тестирование разработанных конечно-элементных моделей показало, что получаемые с их помощью результаты достаточно точно соответствуют реализуемым на практике значениям.

#### Список литературы

- 1 Improving of the electrothermal characteristics of the contact line / A. Galkin [et al.] // Advances in Intelligent Systems and Computing. – 2020. – Vol. 1115. – P. 195–205.
- 2 Shimanovsky, A. Modeling of the pantograph–catenary wire contact interaction / A. Shimanovsky, V. Yakubovich, I. Kapliuk // Procedia Engineering. – 2016. – Vol. 134. – P. 284–290.
- 3 Каплюк, И. И. Моделирование контактного взаимодействия токосъемника и контактного провода с учетом тепловых процессов / И. И. Каплюк // Актуальные вопросы машиноведения. – 2018. – Вып. 7. – С. 46–48.

УДК 539.431, 539.422.24

## АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ НАКОПЛЕНИЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ МАТЕРИАЛОВ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

*В. В. КОМИССАРОВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Описание процессов накопления поврежденности и разрушения в различных процессах деформирования твердых тел, является важной и актуальной задачей. Знание кинетики указанных процессов дает ключ к достоверной оценке надежности объектов в заданных условиях эксплуатации, а также позволяет определить оптимальные условия его использования. Усталостные явления проис-

ходят из-за многообразных эксплуатационных факторов, в этой связи существуют различные научные направления, в рамках которых изучают закономерности многоциклового, малоциклового, термической, ударной, коррозионной усталостей, фреттинг-усталости, а также поверхностного усталостного изнашивания и их комплексного взаимодействия [3, 7]. В этой связи, а также из-за сложности описания механизмов поврежденности и разрушения, их комплексного характера эта тематика занимает в литературе особое место [4].

В работе представлен анализ публикаций [1–7], посвященных исследованиям в рамках континуальной теории поврежденности, а также по экспериментальным методам и подходам к описанию поврежденности и разрушения. Рассмотрены теории, в которых предложены и обоснованы меры поврежденности как эволюционирующие характеристики, описывающие деградацию свойств материала вследствие образования и развития системы микроповреждений при деформировании; исследуются особенности разрушения различных материалов при усталостном нагружении в зависимости от формы цикла нагружения, температуры и других параметров воздействия; макрофеноменологические теории поврежденности, в том числе использующие многоуровневый подход. В частности, многообразные эффекты взаимодействия повреждений многих типов не могут быть точно описаны и предсказаны, поэтому актуальным является нахождение поврежденности через взаимодействие опасных объемов, которое и содержит реальный комплекс необратимых повреждений (дефектов), порождаемых действием соответствующих полей напряжений (деформаций) [3]. Приведены также результаты исследований, развивающих подход с использованием скалярных мер поврежденности [4].

В общем случае модели накопления повреждений могут быть представлены в виде функции, связывающей степень повреждения материала с параметрами, характеризующими режим его нагружения и свойства материала. Примерами таких параметров могут быть количество циклов нагружения, температура, коррозионная активность среды и т. д.

Существует несколько основных типов моделей накопления повреждений, которые используются в зависимости от характера воздействия на материал и его свойств.

1 Линейная модель накопления повреждений (linear damage accumulation model). Эта модель предполагает, что повреждение материала происходит линейно с увеличением числа циклов нагружения или времени эксплуатации. Данная модель хорошо подходит для описания усталости материалов, но не учитывает эффектов, связанных с нелинейным характером накопления повреждений.

2 Модель, основанная на теории трещин (crack-based model). Этот подход используется для описания накопления повреждений в материалах с трещинами и учитывает влияние размеров трещин на процесс разрушения.

Данная модель обычно используется для анализа долговечности конструкций с учетом роста трещин и их взаимодействия.

3 Модель накопления повреждений с учетом параметра деградации (damage degradation model). В этой модели учитывается изменение (деградация) свойств материала со временем, что позволяет более точно описать процесс его разрушения.

4 Моделирование накопления повреждений с использованием фракталов (fractal damage modeling). Фрактальные методы позволяют учитывать эффекты самоподобия и масштабирования при описании накопления повреждений в материале. Они особенно полезны при анализе процессов усталости и разрушения композитных материалов.

Таким образом, можно заключить, что для оценки поврежденности несущих конструкций железнодорожного подвижного состава по критерию сопротивления усталости можно использовать различные подходы, в том числе, учитывающие характер эксплуатационных неисправностей.

В практическом плане выполнена первая попытка провести сравнительный анализ таких моделей. На основе полученных экспериментальных данных характеристик сопротивления усталости материалов несущих конструкций подвижного состава произведено построение расчетных кривых усталости (по различным моделям поврежденности) при мягком симметричном нагружении. Из полученных результатов установлено, что кривые усталости, рассчитанные по полученному уравнению для оценки поврежденности, практически совпадают с экспериментальными, в то время как зависимости, построенные по моделям Мэнсона и Лангера дают существенное отклонение расчетных величин от данных эксперимента.

Использование полученных зависимостей для прогнозирования долговечности конструктивных элементов в конечном итоге потребует установить соответствие между повреждаемостью стандартного образца и натурального элемента конструкции.



Для получения точного описания процесса разрушения необходимо учитывать все основные факторы, влияющие на накопление повреждений, и проводить их анализ с использованием современных методов моделирования. В этом направлении применительно к исследуемой области необходимо провести соответствующий объем дополнительных исследований. В конечном итоге получение верифицированных моделей поврежденности может обеспечить прогнозирование показателей прочности и долговечности ответственных, сложных в изготовлении и дорогостоящих деталей несущих конструкций железнодорожного подвижного состава, подверженных циклическим нагрузкам, и тем самым значительно сократить время и стоимость их проектирования и производства.

#### Список литературы

- 1 Разрушение. Т. 4 : Исследование разрушения для инженерных расчетов / Р. Н. Барнетт [и др.] ; под ред. Г. Либовица. – М. : Мир, 1977. – 400 с.
- 2 Коллинз, Дж. Повреждение материалов в конструкциях: анализ, предсказание, предотвращение / Дж. Коллинз. – М. : Мир, 1984. – 624 с.
- 3 Сосновский, Л. А. Статистическая механика усталостного разрушения / Л. А. Сосновский. – Минск : Наука и техника, 1987. – 288 с.
- 4 Волегов, П. С. Поврежденность и разрушение: обзор экспериментальных работ / П. С. Волегов, Д. С. Грибов, П. В. Трусов // Физическая мезомеханика. – 2015. – Т. 18, № 3. – С. 11–24.
- 5 Бондарь, В. С. Оценка ресурса элементов конструкций при повторных и длительных термомеханических воздействиях / В. С. Бондарь, Д. Р. Абашев // Упругость и неупругость : материалы Междунар. науч. симп. по проблемам механики деформируемых тел, посвящ. 110-летию со дня рождения А. А. Ильюшина, Москва, 20–21 января 2021 г. – М. : МГУ им. М. В. Ломоносова. Издательский дом (типография), 2021. – С. 184–195.
- 6 Бондарь, В. С. Математическое моделирование процессов деформирования и накопления повреждений при циклических нагружениях / В. С. Бондарь, В. В. Данилин, Д. А. Макаров // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. – 2014. – № 2. – С. 125–152.
- 7 Никушкин, Н. В. Критерий усталостного разрушения металлов при мало- и многоцикловом нагружении / Н. В. Никушкин, А. В. Кацура, Р. П. Васильев // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. акад. М. Ф. Решетнева. – 2006. – № 6(13). – С. 34–38.

УДК 539.431

### АПРОБАЦИЯ МЕТОДОВ УСКОРЕННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК СОПРОТИВЛЕНИЯ УСТАЛОСТИ ВАГОННЫХ СТАЛЕЙ

*В. В. КОМИССАРОВ, Е. С. ТАРАНОВА, В. В. ГАБРУСЕВА*  
*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

При проведении комплекса работ по продлению срока службы вагонов в ИЦ ЖТ БелГУТ выполнялись исследования по определению характеристик сопротивления усталости (СУ). Основные характеристики сопротивления механической усталости (МУ): предел выносливости  $\sigma_{-1}$ , абсциссу точки перелома кривой усталости  $N_{\sigma\sigma}$ , показатель наклона левой ветви кривой усталости  $m_{\sigma}$  и коэффициенты уравнения кривой усталости  $a$  и  $b$ , определяют по кривой МУ, которая представляет собой зависимость между амплитудой напряжений ( $\sigma_a$ ) и количеством циклов ( $N_{\sigma}$ ) до достижения предельного состояния испытываемого образца (ГОСТ 25.502–79) [1]. Для построения данной кривой и определения  $\sigma_{-1}$ , соответствующих вероятности разрушения 50 %, испытывают около 15 одинаковых образцов. В интервале напряжений, равных (0,95–1,05) от  $\sigma_{-1}$ , соответствующего вероятности разрушения 50 %, должны быть испытаны не менее трех образцов, при этом не менее половины из них не должны разрушаться до достижения базового числа циклов ( $N_B$ ). Испытания ведут непрерывно до достижения предельного состояния (ПС) или до  $N_B$  ( $10^7$ – $10^8$  циклов). Критерии ПС при МУ – появление усталостных макротрещин заданного размера либо разрушение образца. В пределах намеченной серии испытаний схема нагружения должна быть одинаковой, частота циклов нагружения должна быть постоянной.

Представленный способ определения характеристик сопротивления МУ дает наиболее точные результаты, но является весьма длительным и трудоемким процессом. Поэтому большой интерес представляют ускоренные методики, дающие возможность определить характеристики СУ за более короткое время и при испытании меньшего количества образцов. Все методы ускоренного определения предела выносливости можно разделить на четыре группы: расчетной оценки  $\sigma_{-1}$  по характе-

ристикам механических свойств металла (безобразцовые), ускоренной оценки (малообразцовые), расчетно-экспериментальной (малообразцовые, многообразцовые) и экспериментальные методы определения характеристик СУ (многообразцовые) [2].

В работе представлена попытка применения формулы Муратова Л. В. [3] для апробации методики ускоренного определения предела выносливости:

$$\sigma_{-1} = \frac{\sigma_1 \sqrt{N_1} - \sigma_2 \sqrt{N_2}}{\sqrt{N_1} - \sqrt{N_2}},$$

где  $\sigma_1$  и  $\sigma_2$  – напряжения определенные по кривой усталости и соответствующие им значения долговечности  $N_1$  и  $N_2$ . Данная методика относится к группе малообразцовых методов.

С целью оценки погрешности применения данной формулы произведена обработка всего комплекса испытаний реализованных для материалов вагонных конструкций. В процессе проведения работ экспериментально получено пять кривых МУ (одна из которых представлена на рисунке 1). Данные по всем кривым были обработаны по предложенной формуле. В качестве примера в таблице 1 представлены результаты для одной кривой МУ. Обработка выполнялась как по исходным для каждого образца данным (столбец 1), так и по результатам построения кривой МУ (столбец 2).

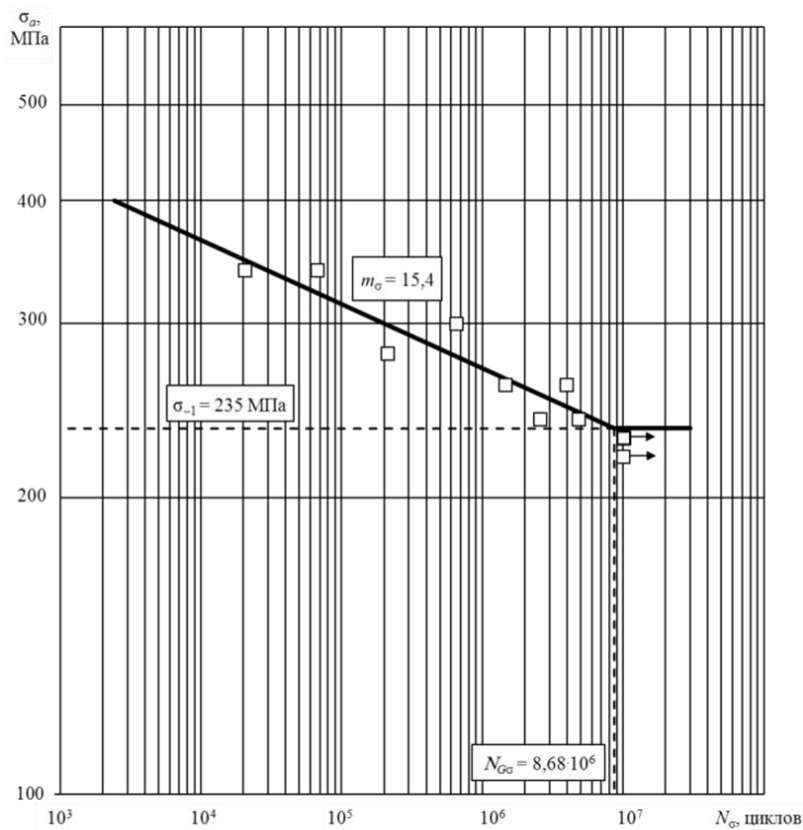


Рисунок 1 – Кривая механической усталости стали Ст4сп при чистом изгибе

Таблица 1 – Обработка результатов экспериментов ( $\sigma_{-1} = 235$  МПа) по формуле Муратова

$\sigma_a$ , МПа	$N_{\sigma}$ , цикл	$\sigma_{-1}$ , МПа	$\sigma_a$ , МПа	$N_{\sigma}$ , цикл	$\sigma_{-1}$ , МПа
столбец 1			столбец 2		
400	2430	232	340	67459	227
235	8676700		240	4828000	
300	202990	223	300	651253	205
235	8676700		240	4828000	
400	2430	237	340	67459	238
240	6276940		260	1456036	
300	202990	227	300	651253	179
240	6276940		260	1456036	
Среднее значение (точки на кривой)		230	Среднее значение (результаты испытаний)		212
Среднее расчетное значение $\sigma_{-1}$ ниже на 2 %			Среднее расчетное значение $\sigma_{-1}$ ниже на 10 %		

Полученные результаты при обработке представленной кривой МУ свидетельствуют о погрешности расчетных данных, не превышающей 10 % по сравнению с экспериментальными данными.

Выполненный в целом анализ (для пяти кривых МУ) показывает, что при получении  $\sigma_{-1}$  по ускоренной методике с использованием исходных для каждого образца данных дает погрешность от 3 до 15 %, а при обработке данных, получаемых по результатам построения кривой МУ, – от 2 до 13 %.

В результате можно констатировать, что ускоренное определение  $\sigma_{-1}$  для предварительной оценки характеристик СУ, а также в случае отсутствия возможности изготовления из материалов конструкции большого числа образцов позволяет получить достаточно точные значения. Эти значения, в свою очередь, могут быть также уточнены с использованием полностью эмпирических зависимостей

$$\sigma_{-1} = \frac{(\sigma_b - \sigma_t)}{075[\delta/\psi(7,5 - 4,167\delta/\psi) - 1]},$$

где  $\sigma_t$  – предел текучести, МПа;  $\delta$  и  $\psi$  – относительное удлинение и сужение после разрыва, %.

Результаты апробации методов ускоренного определения характеристик СУ вагонных стелей позволяют определить наиболее эффективные методы ускорения испытаний, а также оценить их влияние на точность и достоверность получаемых результатов. Кроме того, апробация методов ускоренного определения характеристик СУ вагонных стелей позволяет сократить время и затраты на проведение испытаний, что является важным фактором для производителей несущих конструкций железнодорожного транспорта.

#### Список литературы

- 1 ГОСТ 25.502–79. Расчеты и испытания на прочность в машиностроении. Методы механических испытаний металлов. Методы испытаний на усталость. – Введ. 1981–01–01. – 1979. – 25 с.
- 2 Трощенко, В. Т. Прочность металлов при переменных нагрузках / В. Т. Трощенко. – Киев : Наук. думка, 1978. – 176 с.
- 3 Муратов, Л. В. Энергия разрушения при циклических и статических нагрузках / Л. В. Муратов // Прочность металлов при переменных нагрузках. – М. : Изд-во АН СССР, 1963. – С. 111–118.

УДК 629.4.027.2

### РЕЗУЛЬТАТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА НЕСУЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ РАМЫ ТЕЛЕЖЕК ВАГОНОВ МЕТРОПОЛИТЕНА МОДЕЛИ 81-717.5 (81-714.5)

*Е. Н. КОНОВАЛОВ, В. В. КОМИССАРОВ, М. И. ПАСТУХОВ, В. В. БЕЛОГУБ,  
П. М. АФАНАСЬКОВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В результате анализа технического состояния несущих конструкций рам тележек (модель 81-717.5 (81-714.5)) вагонов Минского метрополитена после истечения их нормативного срока службы (16 лет) было установлено, что рамы тележек находятся в удовлетворительном состоянии, однако необходимо выполнить оценку их остаточного ресурса. Для достижения поставленной цели была разработана процедура определения остаточного ресурса рам тележек, учитывающая условия эксплуатации и фактические значения физико-механических характеристик материала, что позволило более адекватно оценить остаточный ресурс [1].

Процедура оценки остаточного ресурса рам тележек включает следующие этапы:

- изучение особенностей конструкции рам тележек, а также условий эксплуатации;
- контроль технического состояния рам тележек после длительной эксплуатации;
- виртуальные испытания (расчеты), позволяющие определить наиболее нагруженные зоны;
- проведение ходовых прочностных испытаний;
- определение физико-механических характеристик материала рамы тележки после длительной эксплуатации ( $\sigma_t$ ,  $\sigma_b$ ,  $\sigma_{-1}$ ,  $\delta$ ,  $\psi$ ,  $HB$ ,  $KCU$ );
- стендовые ресурсные испытания;
- численное определение ресурса несущей конструкции рамы тележки.

В качестве объекта исследования была отобрана рама тележки № 498-05, построенная в 2005 году, возраст которой на момент исследования составил 16 лет. Комплекс расчетов и натурных испытаний тележек выполнен специалистами ОНИЛ «ТТОРЕПС» и Испытательного центра железнодорожного транспорта.

При реализации вышеуказанной процедуры проведен анализ условий эксплуатации (скорости движения, среднесуточный пробег, количество циклов разгон-остановка). Разработана методика контроля технического состояния рам тележек, включающая проведение визуально-измерительного контроля, ультразвуковой толщинометрии и капиллярной дефектоскопии сварных швов и основного материала наиболее нагруженных зон рамы.

На следующем этапе были проведены виртуальные испытания. Расчет несущей конструкции рам тележек выполнен методом конечных элементов с использованием программного комплекса САПР SOLID WORKS Premium 2019 Research. Для расчета была создана конечно-элементная модель несущей конструкции рамы тележки вагонов метрополитена серий 81-717.5, 81-714.5. Элементы рамы имитировались объемными параболическими конечными элементами с тремя степенями свободы в каждом узле.

Проведенный комплекс расчетов на прочность позволил определить следующие области с повышенным уровнем напряжений: зоны сочленения второго шпинтона с боковой балкой рамы (снизу и сверху относительно рамы тележки); зоны сочленения второго кронштейна тормозной рычажной передачи (изнутри относительно рамы тележки). На рисунке 1 представлены распределения эквивалентных напряжений, Па, при режиме нагружения Пб в тележке модели 81-717.5 (81-714.5).

По результатам проведенных ходовых испытаний и выполненной расчетно-экспериментальной оценки установлено, что рама исследуемой тележки удовлетворяет действующим требованиям в части соответствия прочности по коэффициенту запаса сопротивления усталости (минимальное значение  $n = 3,9$ ).

Экспериментально показано, что предел выносливости материала рамы тележки составляет 235 МПа, а показатель наклона левой ветви кривой усталости – 15,4.

В процессе стендовых ресурсных испытаний не было обнаружено трещин в раме тележки при достижении расчетного числа количества циклов испытаний (от  $5 \cdot 10^5$  до  $10^7$ ), при этом величины амплитуд динамических напряжений в исследуемых зонах рамы в 1,2–2,0 раза превышали расчетный предел выносливости по амплитуде при базовом числе циклов.

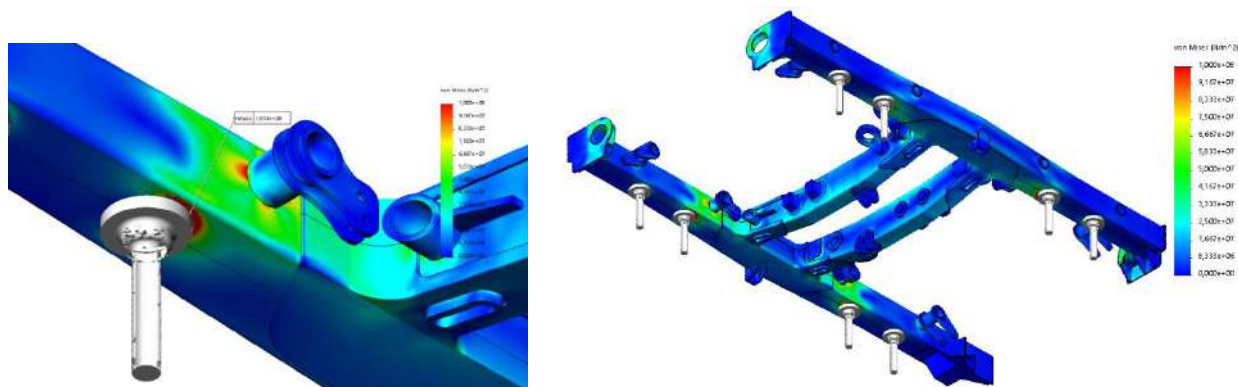


Рисунок 1 – Распределение эквивалентных напряжений в раме тележки

На основании полученных экспериментальных данных выполнено численное определение долговечности по критерию усталостной прочности для выбранной зоны  $T_p$  по формуле [2]

$$T_p = N_0 \frac{\left( \frac{\sigma_{a,N}}{[n]} \right)^m}{\sum_k \left[ K^k \sum_i (\sigma_{ai}^k)^m \cdot P_i^k \right]}$$

где  $N_0$  – базовое число циклов;  $\sigma_{a,N}$  – предел выносливости контрольной зоны несущей конструкции;

$[n]$  – допускаемый коэффициент запаса сопротивления усталости,  $[n] = 2,0$  [2];  $m$  – показатель степени в уравнении кривой усталости;  $K$  – число циклов за 1 год эксплуатации;  $\sigma_{ai}^k$  – амплитуды динамических напряжений, приведённые к симметричному циклу, эквивалентные экспериментально полученным несимметричным для различных эксплуатационных нагрузок и их диапазонов;  $P_i^k$  – частота возникновения амплитуд при соответствующих напряжениях;

На основании расчетно-экспериментальной оценки долговечности по критерию усталостной прочности образца рамы тележки № 498-05 вагона метрополитена можно сделать заключение, что наиболее нагруженные зоны тележки, определенные по результатам расчетной оценки и ходовых испытаний, обеспечивают остаточную долговечность не менее 4 лет.

#### Список литературы

1 Прогнозирование остаточного ресурса тележек пассажирского вагона после длительной эксплуатации / П. М. Афанасьев [и др.] // Актуальные вопросы машиноведения. – 2019. – Вып. 8. – С. 220–226.

2 **Пуято, А. В.** Расчетно-экспериментальная методика оценки остаточного ресурса металлоконструкции вагона дизель-электростанции после длительной эксплуатации / А. В. Пуято, Е. Н. Коновалов // Механика. Научные исследования и учебно-методические разработки. – 2014. – Вып. 8. – С. 173–178.

3 Нормы для проектирования, расчета и оценки прочности и динамики механической части вагонов метрополитена колеи 1520 мм / СТО СДС ОПЖТ. – М., 2010. – 120 с.

УДК 629.45

### АНАЛИЗ И ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ ВАГОНОВ ЭЛЕКТРОПОЕЗДА ЭГЭ2Тв «ИВОЛГА-4.0» ПРИ СОУДАРЕНИЯХ

*С. Д. КОРШУНОВ, А. А. СМИРНОВ, Д. И. ГОНЧАРОВ, Д. И. РОМАШОВ*  
*АО НО «Тверской институт вагоностроения» (АО НО «ТИВ»), Российская Федерация*

ОАО «Тверской вагоностроительный завод» (ОАО «ТВЗ») изготовил электропоезд типа ЭГЭ2Тв (Электропоезд городской экспресс, 2-й тип, Тверской) постоянного тока напряжения 3 кВ, с коммерческим названием «Иволга-4.0». Поезд предназначен для перевозки пассажиров со скоростями до 160 км/ч и эксплуатации на путях Московского железнодорожного узла. Проект по разработке и постановке на производство нового электропоезда выполнен совместно с обособленным подразделением ООО «ТМХ Инжиниринг» г. Санкт-Петербург.

Создание нового железнодорожного подвижного состава продиктовано необходимостью повышения экономической эффективности пассажирских перевозок внутригородским электрифицированным рельсовым транспортом, а также обеспечения современного уровня комфорта перевозки пассажиров.

Электропоезд состоит из следующих моделей вагонов: головного модели 62-4557, моторного модели 62-4560, немоторного с оборудованием модели 62-4558 и немоторного без оборудования модели 62-4559. В зависимости от участка эксплуатации составность электропоезда может варьироваться. Отличительными особенностями новой модели в сравнении с рядом аналогов является установка дополнительных дверей для пассажиров (три уширенных дверных проема с каждой стороны вагона), с учетом результатов расчетов, испытаний и опыта эксплуатации подобных электропоездов; использование пневмоподвешивания, способствующего как более высокой плавности хода, так и стабильному уровню сцепления вагонов.

Кузова вагонов имеют существенные конструктивные отличия от серийных пассажирских вагонов: не имеют хребтовой балки в средней части, в боковых стенах в каждом вагоне предусмотрены по три уширенных дверных проема с каждой стороны, ширина кузова – 3,5 м вместо 3,105 м, как у пассажирских вагонов локомотивной тяги. Вагоны имеют повышенную вместимость и большое количество дополняющего комфорт пассажиров оборудования. С учетом требований активного образа жизни вагоны оборудованы устройствами велопарковки. В связи с изложенным требования к габаритно-весовым параметрам кузовов и их несущей способности приобретают первостепенное значение [1–4].

В связи с установкой в вагоны дополнительных дверей для пассажиров, конструкцией силопередающих элементов металлоконструкции кузовов, а также другими отличительными особенностями от эксплуатируемых в настоящее время электропоездов, необходимо провести исследования на соответствие их требованиям безопасности на железнодорожном транспорте. Все модели вагонов электропоезда последовательно подвергались предварительным, приёмочным и сертификационным испытаниям, большинство из которых проведены аккредитованным испытательным центром АО НО «ТИВ». Общий объем испытаний включает в себя:

- прочностные статические испытания металлоконструкций кузовов вагонов при воздействии нормативных квазистатических нагрузок;
- прочностные испытания на соударения нормативными нагрузками;
- определение собственных частот вертикальных изгибных колебаний кузовов вагонов при максимальной нагрузке;
- определение развесовки вагонов при поколесном взвешивании;
- ходовые прочностные и динамические испытания;
- ходовые и стационарные тормозные испытания; электротехнические, климатические испытания и другие виды испытаний вагонов.

Экспериментальная оценка показателей прочности проведена специалистами АО НО «ТИВ» при предварительных прочностных статических испытаниях металлоконструкций кузовов вагонов, а также при испытаниях на соударения.

Основная задача заключалась в реализации испытательных нагрузок на кузова вагонов электропоезда, предусмотренные нормативами. На первом этапе для экспериментальной оценки прочности металлоконструкции кузовов вагонов были разработаны схемы расстановки тензорезисторов и приспособления для реализации нагружений [1–4]. Выбор зон исследования основан на анализе конструкторской документации и результатов прочностных расчетов от действия нормативных нагрузок. На основании полученных результатов прочностных статических испытаний и соударений вагонов нормативными нагрузками фактические значения экспериментальных напряжений в металлоконструкции кузова как по отдельным испытательным нагрузкам, так и по их сочетаниям по расчетным режимам не превышали допускаемых значений. Проведенные испытания на соударения нормативными нагрузками показали достаточную прочность несущих конструкций кузовов вагонов и креплений внутреннего и внешнего оборудования вагонов.



Рисунок 1 – Испытания на соударения

По нормативным требованиям первая собственная частота изгибных колебаний кузова в вертикальной плоскости при наибольшей расчетной населенности вагона и в порожнем состоянии должна быть соответственно не ниже 8 и 10 Гц с целью обеспечения нормативных требований к плавности хода. Экспериментально определённые значения первой собственной частоты изгибных колебаний кузовов головного, моторного и немоторных вагонов соответствуют нормативным значениям. Ходовые испытания вагонов поезда с целью определения ходовых качеств вагонов электропоезда ЭГЭ2ТВ проводились на магистральных путях Белореченского скоростного испытательного полигона АО «ВНИИЖТ».

Проведенные экспериментальные исследования показали, что по основным показателям прочности, полученным по результатам соударений и прочностных статических испытаний, вагоны электропоезда ЭГЭ2Тв модели 62-4556 «Иволга-4.0» соответствуют нормативным требованиям.

#### Список литературы

1 Скачков, А. Н. Расчетно-экспериментальная оценка прочностных и динамических качеств вагонов электропоезда «Иволга» / А. Н. Скачков, С. Л. Самошкин, С. Д. Коршунов // Труды РГУПС. – 2020. – № 1 (50). – С. 92–100.

2 Скачков, А. Н. Исследование прочности кузовов вагонов электропоезда нового поколения / А. Н. Скачков, С. Л. Самошкин, С. Д. Коршунов // Мир транспорта. – 2019. – Т. 17, № 1. – С. 70–85.

3 Прочностные статические испытания и оценка прочности металлоконструкции кузова вагона электропоезда нового поколения / С. Д. Коршунов [и др.] // Подвижной состав XXI века: Идеи. Требования. Проекты : материалы XIII Междунар. науч.-техн. конф. – СПб. : ПГУПС, 2018. – С. 90–95.

4 Методика расчетно-экспериментальных исследований кузовов современного подвижного состава / С. Д. Коршунов [и др.] // Известия ПГУПС. – 2016. – № 4. – С. 38–47

УДК 629.454

### ОТРАБОТКА НЕСУЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ КУЗОВА ДВУХЭТАЖНОГО ВАГОНА НОВОЙ МОДИФИКАЦИИ ПРИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЯХ НА ПРОЧНОСТЬ

*С. Д. КОРШУНОВ, А. А. СМИРНОВ, Д. И. ГОНЧАРОВ, Д. И. РОМАШОВ*  
*АО НО «Тверской институт вагоностроения» (АО НО «ТИВ»), Российская Федерация*

Опытный образец новой модификации двухэтажного пассажирского вагона модели 61-4465 исполнения 08 с перспективой серийного выпуска в ближайшие годы изготовлен ОАО «Тверской вагоностроительный завод» (ОАО «ТВЗ»). Отличительная особенность металлоконструкции базового кузова вагона (в сравнении с серийно выпускаемыми) – замена профиля зарубежного производства на отечественный, в частности, применение стандартных профилей 14П в нижней обвязке рамы и 20П ГОСТ 8240 из отечественных сталей в подоконной зоне первого этажа. Также изменен профиль верхней обвязки в зоне соединения боковых стен с крышей кузова. Кроме того, на вагоне планируется установить новую тормозную систему отечественного производства, которая представлена российскими производителями – компаниями «Транспневматика» и «Технопроект» – и призвана заменить оборудование немецких компаний.

Кузов представляет собой несущую цельнометаллическую сварную оболочку с вырезами для окон, дверей и люков, подкрепленную продольными и поперечными элементами жесткости. Металлоконструкция рамы кузова вагона состоит из продольных и поперечных балок (хребтовая балка на консольных частях и в переходной зоне, боковые продольные балки, шкворневые балки, поперечные балки). Хребтовая балка в консольных частях выполнена из двух швеллеров № 30В, в переходной зоне имеет коробчатое сечение из листового проката. Шкворневые балки переменного коробчатого сечения. Для постепенного включения в работу боковых продольных балок, пола и оболочки кузова за шкворневой балкой как продолжение хребтовой балки установлена система балок и раскосов, распределяющая силовой поток от продольных нагрузок. Для лучшей передачи продольной нагрузки листы настила пола в средней части рамы выполнены со сплошной гофрировкой и подкреплены рядом поперечных балок. Металлоконструкция пола второго этажа состоит из набора поперечных балок коробчатого сечения (межэтажные перекрытия), опирающихся на кронштейны, которые установлены на продольном профиле боковой стены, имеющем в зоне установки кронштейнов коробчатое сечение. Боковые стены являются несущими элементами кузова и представляют собой конструкцию, в которой наружная плоская обшивка подкреплена перфорированными продольными и поперечными элементами жесткости. Стойки и раскосы переходной зоны металлоконструкции кузова вагона выполнены из специального профиля. Крыша кузова изготовлена из гофрированного листа, подкрепленного дугами Z-образной формы и продольными элементами жесткости. Для несущих элементов рамы кузова использована низколегированная сталь 09Г2С и её аналоги, для обшивки и каркаса кузова – коррозионно-инертная сталь [1].

Для постановки продукции на производство вагон должен пройти целый ряд испытаний (сертификационных, приёмочных, типовых, предварительных), основной объем которых выполняет аккредитованный испытательный центр Тверского института вагоностроения. Он обеспечивает как испытания, так и расчеты на прочность и устойчивость кузовов, а также наиболее ответственных узлов вагонов в

рамках постановки на производство и сертификацию. В основной объем испытаний вошли прочностные статические, испытания на соударение, контроль развесовки и габарита и другие виды проверок.

Отработка несущей способности металлоконструкции нового кузова двухэтажного вагона модели 61-4465.08 проводилась по результатам прочностных статических испытаний. Целью проведения испытаний являлись определение и анализ напряжений в несущих элементах металлоконструкции кузова вагона при действии нормативных нагрузок, предусмотренных нормативными документами, и сравнение полученных напряжений с допускаемыми значениями. Испытания проводились в цехе опытно-экспериментальных исследований АО НО «ТИВ» в стенде для прочностных статических испытаний железнодорожного подвижного состава, способном реализовать как продольные нагрузки растяжения и сжатия, так и вертикальные нагрузки. Испытательное оборудование прошло аттестацию, измерительные приборы были поверены в установленном порядке. Кузов вагона устанавливался в стенд для испытаний, производилась разметка мест под установку тензорезисторов. Количество точек измерения напряжений, а также схемы их расположения устанавливались с учетом степени новизны и ответственности элементов конструкции объекта испытаний, расчетов на прочность, опыта эксплуатации и проведенных ранее испытаний подобных объектов [2]. Затем производилась зачистка мест установки тензорезисторов, обезжиривание и наклейка. Далее проводился монтаж измерительной схемы и оборудования для реализации комплекса испытательных нагрузок. Выполнялась адресация, отладка и тарировка измерительных схем с регистрирующей аппаратурой. Перед проведением испытаний на кузове реализовывались контрольные ступенчатые нагружения. Напряженно-деформированное состояние (микродоформации) несущих элементов кузова вагона определялось методом тензометрии с использованием микропроцессорной многоканальной тензометрической системы ММТС-64.01.

При испытаниях кузов вагона подвергался воздействию следующих нормативных квазистатических нагрузок, каждая из которых прикладывалась к кузову не менее трех раз [3]:

- продольной нагрузке сжатия 2,5 МН, приложенной к задним упорам хребтовой балки;
- продольной нагрузке растяжения 1,5 МН, приложенной к передним упорам хребтовой балки;
- вертикальной нагрузке тара кузова, равной силе тяжести порожнего оборудованного экипированного кузова вагона с учетом веса металлоконструкции;
- вертикальной нагрузке брутто кузова, равной силе тяжести оборудованного экипированного кузова вагона с максимальной полезной нагрузкой с учетом веса металлоконструкции;
- нагрузке при поднятии экипированного вагона (без тележек) на двух домкратах по диагонали;
- нагрузки при поднятии вагона за концевую балку по середине (без тележек).

Значения массы тара и брутто кузова, а также их распределение по кузову при испытаниях вертикальными нагрузками приняты в соответствии с расчетами на прочность и развесовки вагона. Оценка прочности металлоконструкции кузова вагона проводилась путем анализа и сравнения полученных экспериментальных напряжений с допускаемыми значениями.

В результате испытаний кузова вагона получены значения фактических напряжений в основных несущих элементах кузова как при воздействии отдельных испытательных нагрузок (продольные нагрузки растяжения и сжатия, вертикальные нагрузки (тара и брутто)), так и их сочетаниях по расчетным режимам. При анализе результатов наблюдалась удовлетворительная сходимость расчетных и экспериментальных значений напряжений в основных несущих элементах кузова. Наибольшие значения напряжений зафиксированы в переходных зонах продольных балок рамы кузова, при этом они не превышали допускаемых значений.

На основании полученных положительных результатов комплекса испытательных нагружений кузова вагона модели 61-4465.08 можно сделать вывод о соответствии несущей металлоконструкции кузова вагона нормативным требованиям прочности и рациональности принятых конструкторских решений.

#### Список литературы

1 Экспериментальная оценка статической прочности нового кузова двухэтажного пассажирского вагон / С. Д. Коршунов // Подвижной состав XXI века: Идеи, требования, проекты : материалы XVII Междунар. науч.-техн. конф. СПб. : ПГУПС, 2023. – С. 187–191.

2 Коршунов, С. Д. Комплексные испытания, оценка несущей способности и остаточного ресурса специализированного пассажирского вагона / С. Д. Коршунов, О. А. Ворон // Вестник РГУПС. – 2014. – № 1. – С. 8–12.

3 Методика расчетно-экспериментальных исследований кузовов современного подвижного состава / С. Д. Коршунов [и др.] // Известия ПГУПС. – 2015. – № 4. – С. 38–47.



## **ПРАКТИКА ПРИМЕНЕНИЯ ТРЕБОВАНИЙ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕГЛАМЕНТОВ ПРИ ПОДТВЕРЖДЕНИИ СООТВЕТСТВИЯ ПРОДУКЦИИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

*Ю. И. КУЛАЖЕНКО, В. С. ЗАЙЧИК, М. А. РОГОВЕНКО  
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Евразийский экономический союз включает в себя пять стран постсоветского пространства: Армению, Республику Беларусь, Казахстан, Кыргызстан и Российскую Федерацию. Деятельность ЕАЭС основана на «Договоре о ЕАЭС», приложение IX которого посвящено вопросам технического регулирования и, в частности, оценке соответствия. Данным приложением устанавливаются одинаковые для всех государств – членов ЕАЭС требования по подтверждению соответствия продукции требованиям технических регламентов.

В области железнодорожного транспорта на настоящий момент действуют три основных технических регламента: ТР ТС 001/2011 «О безопасности железнодорожного подвижного состава», ТР ТС 002/2011 «О безопасности высокоскоростного железнодорожного транспорта» и ТР ТС 003/2011 «О безопасности инфраструктуры железнодорожного транспорта». В настоящее время в эти технические регламенты внесены глобальные изменения, и работа регламентируется де-факто новыми редакциями данных документов. Дополнительно используется технический регламент ТР ТС 032/2013 «О безопасности оборудования, работающего под высоким давлением». Требования данных технических регламентов распространяются на указанные в них объекты технического регулирования, вне зависимости от страны происхождения. Выпуск в обращение перечисленных в технических регламентах объектов технического регулирования без документов об обязательном подтверждении соответствия не допускается.

Перечни железнодорожной продукции, подлежащей обязательному подтверждению соответствия, приведены в приложениях к соответствующим техническим регламентам. При этом подтверждение соответствия железнодорожной продукции может осуществляться в двух формах: посредством сертификации или декларирования. Например, сертификации подлежат вагоны пассажирские и грузовые, тяговый подвижной состав, электропоезда, а также такие комплектующие, как колесо-бандажная продукция, тяговые электродвигатели и генераторы, колеса зубчатые, подшипники, крупное литье, электрооборудование и т. д. Декларирование проводится в отношении вспомогательных электрических машин, кресел для машинистов и пассажиров, реле различного назначения, низковольтного электрооборудования, отдельных элементов тормозной системы и ряда других комплектующих. В настоящее время по желанию заявителя возможна замена декларирования на сертификацию. Обратная замена не допускается.

Следует отметить, что перечень продукции, подлежащей подтверждению соответствия, был серьезно откорректирован изменениями к регламентам. Практически устранены проблемы в плане отнесения продукции к области действия регламента. Для части продукции (например, триангелей, прокладок рельсового скрепления, щебня, автоматизированных систем оперативного управления технологическими процессами, таких как микропроцессорная централизация и т. д.) изменена форма подтверждения соответствия с декларирования на сертификацию. Кроме того, введены новые позиции, подлежащие сертификации, в отношении которых установлен переходный период до 08.04.2024. В течение этого периода данная продукция может выпускаться в обращение без подтверждения соответствия. Однако проводить подтверждение соответствия данной продукции можно и нужно уже в настоящее время.

При подтверждении соответствия требования к размещению производителя (на территории ЕАЭС или вне ее) не устанавливаются. Однако в соответствии с регламентами заявителем на сертификацию или декларирование в зависимости от схемы может быть зарегистрированное в соответствии с законодательством государств – членов ЕАЭС юридическое лицо (или физическое лицо в качестве индивидуального предпринимателя), являющееся изготовителем или продавцом (импортером) либо выполняющее функции иностранного изготовителя на основании договора, заключаемого с ним в части обеспечения соответствия поставляемой продукции требованиям технического регламента и в части ответственности за несоответствие поставляемой продукции требованиям

технического регламента. Следует также отметить, что в законодательной базе ЕАЭС отсутствуют требования по ограничению права заявителя обращаться только в орган того государства – члена ЕАЭС, резидентом которого он является. Заявитель имеет полное право выбирать из всех органов по сертификации, внесенных в соответствующий реестр ЕАЭС и имеющих соответствующую область аккредитации. Так, органом по сертификации в настоящее время выданы сертификаты и зарегистрированы декларации на продукцию производства более чем 120 предприятий из более чем 20 стран мира. Среди зарубежных производителей, которые получили сертификаты соответствия на свою продукцию в нашем органе по сертификации такие лидеры отрасли, как производитель путевой техники Тихвинский вагоностроительный завод, Муромский стрелочный завод, Новосибирский стрелочный завод (Российская Федерация), Plasser & Theurer (Австрия), компания по производству железнодорожной продукции CRRC (КНР), Siemens (Германия), Alstom (Франция), Stadler (Швейцария), General Electric (США), AZD Praha (Чехия), Крюковский вагоностроительный завод, Днепропетровский стрелочный завод, Интерпайп (Украина), Ташкентский завод по строительству и ремонту вагонов (Узбекистан) и ряд других предприятий. Но во всех случаях заявителем и впоследствии держателем документа о подтверждении соответствия являлись организации – резиденты Республики Беларусь, Российской Федерации или Республики Казахстан. При этом и в Республике Беларусь органом по сертификации БелГУТ проводились работы практически для всех предприятий, выпускающих железнодорожную продукцию. Это отечественные вагоностроительные и вагоноремонтные заводы из Минска, Гомеля, Могилева и Осиповичей, а также «Штадлер Минск» (Фаниполь), «Белтрибо» (Старые дороги), Брестский и Гомельский электротехнические заводы, Гомельский и Молодечненский электромеханические заводы, Гранит (Микашевичи), «Дорстроймонтажтрест» (Осиповичи), «Энергомаш» (Бобруйск), «Ольса» (Могилев), «Технолит» (Полоцк), «Амкодор-Эластомер» (Фаниполь), Барановичский завод автоматических линий, Барановичский автоагрегатный завод, Минский подшипниковый завод и еще ряд предприятий.

Неотъемлемой частью процедуры подтверждения соответствия являются испытания. За исключением незначительной части продукции, приведенной в приложении к ТР ТС 001/2011 и декларируемой на основании собственных доказательств, сертификационные испытания должны проводиться в аккредитованных испытательных лабораториях (центрах), внесенных в соответствующий Реестр ЕАЭС. Актуальная информация по данным испытательным лабораториям (а равно и по органам по сертификации) размещена на сайте ЕАЭС. Конкретные испытательные лаборатории, в которых проводятся испытания, устанавливаются органом по сертификации в решении по заявке на сертификацию железнодорожной продукции. При этом сертификационные испытания могут совмещаться с иными видами испытаний (приемочными и т. д.). Это особенно актуально для технически сложной железнодорожной продукции, такой как электропоезда, электровозы и т. д. Отбор образцов проводят представители органа по сертификации, как правило, в месте производства, с обязательным оформлением акта отбора образцов, в котором указываются основные идентификационные признаки продукции.

При испытаниях подтверждаются технические требования, определенные как непосредственно техническими регламентами, так и стандартами, приведенными в перечнях стандартов, в результате применения которых на добровольной основе обеспечивается соблюдение требований технических регламентов. Действующий в настоящее время перечень стандартов является несомненным достижением в процессе формирования документальной базы подтверждения соответствия. Он позволяет унифицировать подходы всех органов по сертификации к сертифицируемой продукции в части установления требований, устраняет избыточность данных требований, снимает споры и разногласия, которые могут возникать между заявителем и органом по сертификации. Кроме того, данный перечень позволяет производителям самим оценить возможность дальнейшего прохождения процедуры сертификации и установить ориентиры безопасности при проектировании новой продукции. Вместе с тем неприменение приведенных в перечне устанавливающих требования стандартов не может оцениваться как несоблюдение требований технического регламента. В случае неприменения или частичного применения стандартов заявитель должен предоставить доказательства соответствия продукции установленным иным требованиям в форме обоснования безопасности, которые должны содержать анализ рисков, сведения о минимально необходимых мерах по обеспечению безопасности и быть согласованными с железнодорожной администрацией. В этом случае орган по сертификации вправе заменить при оценке соответствия стандарты иными документами. Такой

подход позволяет проводить оценку инновационной продукции, продукции импортного производства и нестандартного оборудования.

В зависимости от схемы сертификации может также проводиться процедура анализа состояния производства, которая включает в себя оценку таких аспектов производства, как управление технологическими процессами и режимами, средствами технического оснащения, метрологическим оборудованием, нормативной документацией, несоответствиями, процедурами контроля и испытаний и т. д. Данная процедура проводится экспертами-аудиторами органа по сертификации на предприятиях-производителях вне зависимости от места их размещения с целью определения возможности стабильного выпуска сертифицируемой продукции. Для предварительной подготовки производства органом по сертификации БелГУТ практикуется запрос от предприятий анкеты-вопросника, который позволяет провести предварительную самооценку производства и значительно ускорить процесс сертификации, минимизировав количество несоответствий, выявленных командой по оценке. Здесь следует отметить, что согласно проведенным исследованиям количество несоответствий значительно сокращается с каждой последующей проверкой органа по сертификации. Предприятия, которые неоднократно проходят процедуру анализа состояния производства, зачастую получают акт анализа вообще без выявленных несоответствий, что говорит об эффективности проводимых работ по самооценке и оценке соответствия.

Наличие одобренного органом по сертификации документа о соответствии (зарегистрированной декларации либо сертификата) является исчерпывающим доказательством соответствия продукции требованиям технических регламентов и не требует предоставления в качестве доказательства иных дополнительных документов: протоколов испытаний, актов анализа состояния производства и т. д. Требования о предоставлении дополнительных документов со стороны потребителей или иных лиц являются неправомерными и не должны препятствовать свободному обращению продукции на рынке государств – членов ЕАЭС.

Непосредственно на саму продукцию должен наноситься Единый знак обращения продукции на рынке, который свидетельствует о том, что продукция, маркированная им, прошла все установленные в технических регламентах процедуры оценки соответствия и соответствует требованиям всех распространяющихся на данную продукцию технических регламентов ЕАЭС. В связи с этим при подтверждении соответствия продукции, в состав которой входят части, подлежащие подтверждению соответствия, заявитель обязан предоставить данные документы либо провести подтверждение соответствия данных составных частей одновременно с подтверждением соответствия основной сложной продукции. Единый знак обращения должен приводиться также в прилагаемых к продукции эксплуатационных документах, а также может наноситься на упаковку.

Все сертификаты и декларации регистрируются органом по сертификации в соответствующем реестре и находятся в свободном доступе в сети Интернет. В реестр вносятся также все данные, которые приведены в сертификате соответствия или декларации, что дает возможность как потребителям, так и соответствующим государственным органам (таможенной службе, контролирующим организациям и т. д.) получать информацию о подтверждении железнодорожной продукции требованиям технических регламентов в режиме реального времени.

Продукция, имеющая маркировку знаком обращения на рынке и сертификат соответствия либо декларацию о соответствии, может быть выпущена на рынок ЕАЭС, причем к ней не могут быть предъявлены какие-либо дополнительные требования в части выполнения процедур технического регулирования или в части проведения дополнительных процедур по оценке соответствия. Полученный сертификат соответствия требованиям технических регламентов либо зарегистрированная декларация могут быть предъявлены во всех государствах – членах ЕАЭС.

Процедура оценки соответствия является тем техническим решением, которое позволяет эксплуатировать на железной дороге современный и, самое главное, безопасный подвижной состав. Правильная организация работ по оценке соответствия со стороны заявителя и производителя (привлечение на ранних стадиях жизненного цикла представителей органов по сертификации, проведение испытаний в аккредитованных испытательных лабораториях, безусловное устранение выявленных несоответствий и т. д.) позволяет сократить не только финансовые, но и временные издержки, а в конечном итоге получить стратегическое преимущество в конкурентной борьбе на рынке транспортных услуг в глазах потребителя.

## УЧЕТ ВЛИЯНИЯ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРНОЙ УСТАНОВКЕ НА ТЯГОВО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЛОКОМОТИВОВ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ТЯГОВЫХ РАСЧЕТОВ

Д. Н. КУРИЛКИН

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

Одним из постоянных вопросов, периодически возникающих как при эксплуатации, так и при проектировании силовых установок тепловозов, является вопрос о влиянии переходных режимов работы силовой установки на тягово-энергетические свойства тепловоза. При этом необходимо учитывать два связанных аспекта данного вопроса: потенциальное увеличение расхода топлива и снижение мощности во время переходного процесса. И если необходимость учета влияния переходных процессов на эксплуатационный расход топлива не вызывает сомнения у большинства специалистов, которые предлагают различные методики такого учета [1–3], вопрос о влиянии переходных процессов на уровень тяговой характеристики и, соответственно, на точность расчета траектории движения поезда, ставится довольно редко [4–6].

Оценка влияния переходных процессов на расход топлива в маневровой работе выполнялась на основании результатов модернизации и опытно-промышленных испытаний тепловоза ТЭМ18, проведенных в 2021 году кафедрой «Локомотивы и локомотивное хозяйство» ПГУПС Императора Александра I для компании Eurasian Resources Group (ERG) (Республика Казахстан).

В ходе модернизации тепловоз серии ТЭМ18 был оборудован системой электронного управления топливоподачей дизеля ЭСУВТ.01.06-03 (ООО «ППП Дизельавтоматика»), унифицированной системой автоматического управления электрической передачей и электроприводом тепловоза УСТА и системой удаленного контроля параметров силовой установки АСК (без датчиков количества топлива в топливном баке) (АО «ВНИКТИ») [7].

Измерение расхода топлива осуществлялось средствами ЭСУВТ после ее тарировки с использованием весового расходомера при предварительных реостатных испытаниях. Контрольные замеры расхода показали, что погрешность измерения расхода топлива средствами системы ЭСУВТ не превышает 1 %.

Результаты обработки данных показали, что разница между фактическим и расчетным расходом топлива, не учитывающим переходные процессы, менее 1 %.

Оценка влияния переходных процессов на расход топлива в поездной работе выполнялась для тепловозов серии 2ТЭ116У по данным МСУ-ТП (рисунок 1).

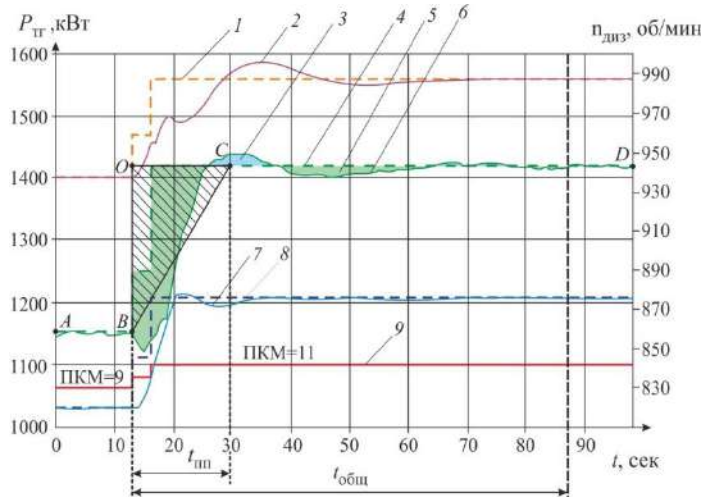


Рисунок 1 – Изменение параметров ДГУ тепловоза 2ТЭ116У при увеличении позиции контроллера машиниста:  
1 – положение реек ТНВД при установившемся режиме работы; 2 – фактическое положение реек ТНВД; 3 – область, в которой фактическая мощность ТГ больше установившейся; 4 – установившееся значение мощности ТГ; 5 – область, в которой фактическая мощность ТГ меньше установившейся; 6 – фактическое значение мощности тягового генератора; 7 – фактическая частота вращения вала дизеля; 8 – установившаяся частота вращения вала дизеля; 9 – изменение позиций контроллера машиниста;  
ABCD – расчетная характеристика изменения мощности дизеля

В качестве критерия сравнения показателей работы тепловозного ДГУ при наличии и в отсутствие переходных процессов может быть предложен безразмерный коэффициент, равный отношению удельного расхода топлива при реальном переходном процессе к удельному расходу топлива при идеальных переходных процессах при исключении режимов холостого хода. Расчет выполняется как при наборе, так и при сбросе позиций [8]. Была выполнена обработка измерительной информации подсистем диагностики 5 секций тепловозов серии 2ТЭ116У, накопленной в 57 поездках, выполненных этими секциями в условиях рядовой эксплуатации с поездами разного веса на участках Октябрьской ж. д.

Как показали результаты анализа, среднее увеличение расхода топлива от переходных процессов не превышает 0,7 %, при этом работа ДГУ уменьшается на 3-5%. Таким образом, широко распространенное мнение о существенном влиянии переходных процессов в ДГУ тепловоза на эксплуатационный расход топлива не соответствует действительности. Необходимо заметить, что аналогичные результаты были получены ведущим научным сотрудником АО ВНИИЖТ К. М. Поповым в результате обработки данных систем РПРТ на тепловозах ЧМЭЗ [9]. Соответственно, при выполнении тяговых расчетов как для поездной, так и для маневровой работы расход топлива должен считаться без учета переходных процессов.

Принимая во внимание заметное (3–5 %) снижение работы ДГУ, обусловленное конечным темпом изменения мощности в ПП, учет плавного характера изменения мощности ДГУ при изменении позиции контроллера может повысить точность определения силы тяги и расчета кривой скорости при выполнении тяговых расчетов. Предлагается реальную диаграмму изменения мощности дизель-генераторной установки в переходных процессах заменять на расчетную линейную, образующую ломанную линию *ABCD*. При этом работа ДГУ при изменении мощности по расчетной характеристике должна соответствовать работе при изменении мощности по реальной характеристике.

Как показали результаты расчета, математическое ожидание времени расчетного переходного процесса при наборе позиций составляет 11,3 с, а время переходного процесса при сбросе – 2,1 с. Существенной корреляции для различных начальных и конечных позиций контроллера не обнаружено.

*Данная работа была выполнена в рамках гранта ОАО «РЖД» на развитие научно-педагогических школ в области железнодорожного транспорта.*

#### Список литературы

- 1 **Костромин, А. М.** Оптимизация управления локомотивом / А. М. Костромин. – М. : Транспорт, 1979. – 119 с.
- 2 **Володин, А. И.** Топливная экономичность силовых установок тепловозов / А. И. Володин, Г. А. Фофанов. М. : Транспорт, 1979. – 126 с.
- 3 **Хомич, А. З.** Топливная эффективность и вспомогательные режимы тепловозных дизелей / А. З. Хомич. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Транспорт, 1987. – 271 с.
- 4 **Гриневич, В. П.** Использование программного комплекса «Тяга-прогноз» для поиска энергооптимальных режимов ведения поезда / В. П. Гриневич, Д. Н. Курилкин, Т. С. Авсиевич // Бюллетень результатов научных исследований. – 2022. – № 4. – С. 131–149.
- 5 Свид. 20222616927 Российская Федерация. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ. Программа выполнения тягово-энергетических расчетов «тяга-прогноз» ведения локомотивами поездов различной составности по энергооптимальным режимам / В. П. Гриневич, Д. Н. Курилкин, Т. С. Авсиевич, Л. М. Воронкова ; заявитель и правообладатель АО «Научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт подвижного состава» (АО «ВНИКТИ») (RU). – № 2022616055; заявл. 06.04.2022.
- 6 **Курилкин, Д. Н.** Совершенствование правил тяговых расчетов / Д. Н. Курилкин, В. П. Гриневич // Железнодорожный транспорт. – 2023. – № 2. – С. 39–43.
- 7 Влияние переходных процессов в силовой установке маневрового тепловоза на расход топлива в эксплуатации / В. В. Грачев [и др.] // Бюллетень результатов научных исследований. – 2022. – № 1. – С. 48–67.
- 8 Влияние переходных процессов дизель-генераторной установки тепловоза серии 2ТЭ116У на его эксплуатационные показатели / В. В. Грачев [и др.] // Локомотивы. XXI век : материалы Междунар. науч.-техн. конф., посвящ. 110-летию со дня рождения д. т. н., проф. Е. Я. Гаккель. – СПб. : ФГБОУ ВО ПГУПС, 2013. – С. 146–147.
- 9 **Попов, К. М.** Некоторые вопросы практического использования бортовых систем учета топлива тепловозов / К. М. Попов // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). – 2022. – Т. 81, № 4. – С. 370–382.

## СКОРОСТНОЙ ПОЕЗД «ЛАСТОЧКА»

*П. А. МАКСЮТКИН, С. В. ЗАВЬЯЛОВА*

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

«Ласточка» – семейство электропоездов, изготовленных на базе платформы Siemens Desiro специально для ОАО «Российские железные дороги». Они курсируют на многих маршрутах, включая межрегиональные и пригородные.

В 2009 году ОАО «Российские железные дороги» заказало компании Siemens разработку пригородного двухсистемного электропоезда, адаптированного к условиям России. Новые поезда планировалось использовать во время Зимних Олимпийских игр 2014 года для пригородных пассажирских перевозок в г. Сочи.

Появление именно двухсистемного поезда было вызвано особенностями электрификации железнодорожных линий в регионе проведения Олимпийских игр. Так, основная железнодорожная сеть, пролегающая на равнинных участках вдоль побережья Чёрного моря, электрифицирована постоянным током напряжением 3 кВ. Горный участок Адлер – Красная Поляна из-за крутизны уклонов электрифицирован переменным напряжением 25 кВ частоты 50 Гц. Двухсистемные электропоезда позволяли организовать пригородное железнодорожное сообщение на участках как с постоянным, так и с переменным током без остановки на станции стыкования.

29 декабря 2009 года ОАО «Российские железные дороги» и компания Siemens подписали контракт на поставку 38 электропоездов Siemens Desiro RUS серии ЭС1 (электропоезд Сименс, 1-й тип) с названием «Ласточка». Поставка должна была быть обеспечена до начала 2012 года. В Берлине 21 сентября 2010 года на выставке Innotrans-2010 дополнительно был подписан контракт на 16 электрических поездов. Первую серию «Ласточек» под рабочим названием ЭС1 Siemens изготовил на собственном заводе в немецком Крефельде: с 2011 по 2014 год в Россию отправались 54 электропоезда.

В соответствии с контрактом компания Siemens AG взяла обязательство организовать производство электропоездов в России, при этом не менее 80 % комплектующих и сборка электропоезда должны были производиться на отечественных предприятиях.

Специалисты и мастера компании Siemens AG на протяжении нескольких месяцев проводили тщательный аудит на десятках российских предприятий машиностроения. В результате решение пало на совместное предприятие компаний Siemens AG и группы «Синара» – ООО «Уральские локомотивы», расположенное в г. Верхняя Пышма недалеко от Екатеринбурга. В других городах были выделены места под создание основных комплектующих.

Особенностью изготовления панелей кузова «Ласточки» из экструдированного алюминиевого профиля является то, что он не подвержен коррозии, а особая конструкция панелей обеспечивает жесткость и легкость вагона, при этом имеет усиленную защиту. Это обусловлено увеличенными габаритами электропоезда. За счет такой конструкции поезд способен развивать свою высокую скорость до 160 км/ч. Элементы систем тяги и электроснабжения в электропоездах «Ласточка» распределены по всему составу. Большинство компонентов расположено под вагонами, а небольшая часть – на крыше. К ним относятся: токоприемники, системы безопасности, мощностные преобразователи, двигатели и тормозные устройства.

Допустимая температура эксплуатации электропоезда «Ласточка» ограничена рамками от –40 до +40 °С, также учитывается возможный морской климат, которому свойственна повышенная влажность. Для оборудования, размещенного на внешней части вагонов, действует температура в пределах –55...+50 °С. Электропоезд «Ласточка» оборудован системой самодиагностики, что повышает срок эксплуатации без проведения ремонта. Все переходы между отдельными вагонами изолированы от внешней среды, а их герметичность исключает попадание внутрь дождя, пыли, снега или холодного воздуха.

18 июня 2011 года руководители компаний Siemens AG, группы «Синара» и ОАО «РЖД» подписали соглашение о локализации создания и сборки электрических поездов «Ласточка». А уже 7 сентября 2011 года был подписан контракт на поставку электропоездов «Ласточка» российского производства, который предусматривал поставку 1200 вагонов разных типов и модификаций.

ОАО «РЖД» разместила заказ на поставку модели ЭС2Г (2-й тип, городской), предназначенный для использования на линиях с постоянным током. Специальная модификация с поручнями, местами для парковки велосипедов и колясок, багажными отсеками. Этот поезд отправился на Московское центральное кольцо (МЦК), сегодня на МЦК курсирует уже более 50 таких составов.

Сегодня «Ласточка» оснащена российской системой управления, появилась возможность варьировать количество вагонов в составе. В первых поездах нельзя было вмешаться в систему, что-то добавить. Теперь же «Ласточка» – универсальная базовая платформа, конфигурировать которую можно в зависимости от пожеланий заказчика, выпускать поезда различной составности – от трех до 10 и даже 12 вагонов.

«Уральские локомотивы» постоянно работают над совершенствованием электропоезда «Ласточка». С 2017 года ОАО «РЖД» проводит работы по внедрению автоматического режима ведения поездов (по состоянию на 2021 год на этом маршруте применяется режим GoA2, то есть полуавтоматическое управление). Автоведение поездов позволит сократить интервал следования поездов до четырех минут при увеличении провозной способности МЦК на 20 %.

Специалисты ОАО «РЖД», АО «НИИАС» и ООО «Уральские локомотивы» провели испытания ЭС2Г-113 со степенью автоматизации GoA3, по результатам внесли изменения в документацию и построили ЭС2Г-136, степень автоматизации которого возросла до уровня GoA3+. Здесь полностью автоматическое управление составом, когда машинист в кабине находится только для реагирования в случае возникновения нештатных ситуаций. Состав был направлен на испытания на ЭК ВНИИЖТ и на линию МЦК. Поезд двигался без пассажиров и в присутствии машиниста в кабине, но в автоматическом режиме.

ООО «НПО САУТ» создало блок управления движением, контрольный монитор, который устанавливается как в кабине состава, так и в центре дистанционного контроля и управления. При степени автоматизации до уровня GoA4 машинист в кабине отсутствует, а состав контролируется дистанционно машинистом-оператором. По техническому заданию ОАО «РЖД» планируется управление составом в трёх режимах: ручном, дистанционном и автоматическом.

Создание такого поезда запланировано в 2022 году, а его сертификация должна завершиться в 2023 году.

«Ласточками», созданными в России, сегодня полностью укомплектовано Московское центральное кольцо, они используются на пригородных и междугородних направлениях более чем в 50 регионах. А «Уральские локомотивы» не только вышли на полный цикл производства электропоездов, но и готовы увеличить объем их выпуска до 200 вагонов в год.

«Ласточка» – один из самых популярных внутри России электропоездов межрегионального и пригородного сообщений. Главными причинами его востребованности стали правильная адаптация к российским железным дорогам и обеспечение высокого уровня комфорта для пассажиров.

#### Список литературы

1 Двухсистемные электропоезда ЭС1 «Ласточка» – история, характеристики и фотографии [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://про-электропоезда.рф/trains-es1.htm>. – Дата доступа : 10.09.2023.

2 Россия, Урал, Верхняя Пышма. Как делают электропоезд «Ласточка» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://fishki.net/2470608-rossija-ural-verhnaja-pyshma-kak-delajut-jelektropoezd-lastochka.html> Р. – Дата доступа : 10.09.2023.

3 «Ласточка» спешит [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://digitalization.vedomosti.ru/lastochka.html>. – Дата доступа : 10.09.2023.

УДК 669.18

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ИНГРЕДИЕНТОВ НА ПРОЦЕСС ВУЛКАНИЗАЦИИ ЭЛАСТОМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ

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

*Ташкентский государственный транспортный университет, Республика Узбекистан*

В настоящее время в двигателях внутреннего сгорания применяют резинотехнические изделия со специфическими свойствами, полученные из композиционных полимерных материалов. Для

обеспечения соответствия этих резинотехнических изделий требованиям, предъявляемым к двигателям внутреннего сгорания современных транспортных средств, особое внимание уделяется разработке состава эластомерных композиций, улучшению их технологических показателей, формированию физико-механических, динамических, структурных и специальных свойств на основе заранее заданных требований.

Во многих странах осуществляются научно-исследовательские работы, направленные на разработку составов композиционных эластомерных материалов для получения резина-металл-текстильных изделий специального назначения двигателей внутреннего сгорания, а также разработка ингредиентов, входящих в состав композиций, исследование их физико-химических свойств и методы их модификации, создание состава композиций и технологии получения изделий на их основе.

В последние годы в Республике Узбекистан проведен ряд работ по локализации необходимых неметаллических комплектующих двигателей внутреннего сгорания, увеличению производства, совершенствованию технологического процесса, повышению качества и количества выпускаемой продукции, разработки сырья и созданию новых резервов.

Ученые проводят исследования по разработке технологии получения композиционных полимерных материалов и изделий со специфическими свойствами для двигателей внутреннего сгорания. Созданы каучуки и ингредиенты для получения резина-металло-текстильных изделий со специальными свойствами для двигателей внутреннего сгорания на основе эластомерных композиций, изучены их физико-химические свойства, разработан состав и технология производства композиций.

Также ведутся научные исследования по созданию нового поколения органических и неорганических ингредиентов с особыми свойствами и структурой для получения эластомерных композиций и резина-металл-текстильных изделий со специальными свойствами (по износу, теплу и холоду, горючим и смазочным материалам), применяемых в современных двигателях внутреннего сгорания.

Известно, что физико-механические и динамические свойства изделий на основе эластомерных композиций зависят от физико-химических свойств, состава и структуры ингредиентов, последовательности и количества добавок при приготовлении резиновой смеси. Поэтому было изучено влияние количества ингредиентов в смеси, последовательности их добавления в состав, на свойства эластомерных композиций. В результате исследований в стандартном составе бутадиен-нитрильного каучука были подобраны количество каучука и ингредиентов и последовательность смешения (таблица 1), основное внимание уделялось равномерному распределению ингредиентов между макромолекулами каучука [1].

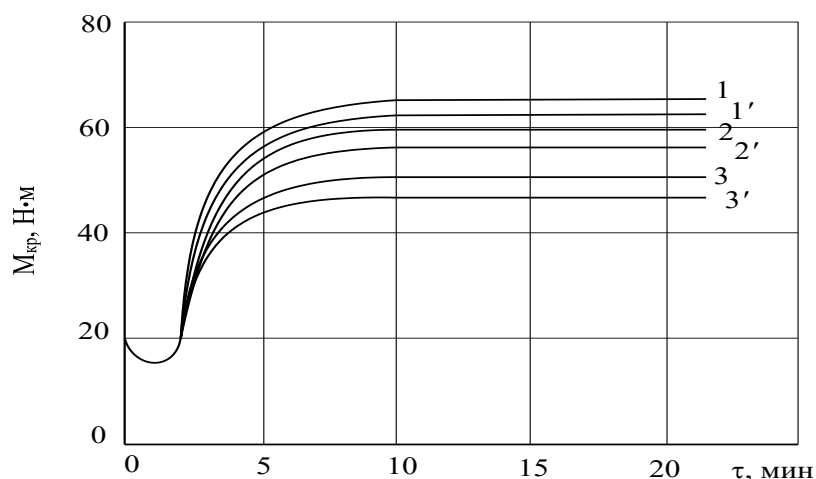
Исследования показали, что фурановые олигомеры совместно с улучшением технологических свойств резиновой смеси существенно изменяют кинетические показатели эластомерных композиций. При этом клейкость составляет до 2,2; 1,25 кг, пластичность – 0,55; 0,45 соответственно, а в аналогичных дозировках дибутилфталат эти показатели составляют: 1,8 и 1,2; 0,52 и 0,43. При введении фурановых олигомеров в композиции на основе наирита СКН-18 величина смеси возрастает, что объясняется взаимодействием функциональных групп олигомера с каучуком.

Кинетика связывания серы с макромолекулами каучука при вулканизации показывает, что образование вулканизационных сеток в смесях с выбранными выше вулканизирующими ингредиентами происходит достаточно интенсивно (рисунок 1) [2].

Таблица 1 – Последовательность смешивания и количество каучука и ингредиентов

Название каучука и ингредиентов	Количество каучуков и ингредиентов, мас. ч.			
	1	2	3	4
СКН-18	100,0	100,0		
СКН-40	–	–	100,0	100,0
Сера	2,0	2,0	1,5	1,5
Оксид цинка	5,0	5,0	5,0	5,0
Меркаптобензтиазол	1,5	1,5	0,8	0,8
Техуглерод П 803	20,40,60	–	20,40, 60	–
ВСПА	–	20,40,60	–	20,40,60
Стеариновая кислота	1,5	1,5	1,5	1,5
ДФФ	5,10,15	-	5,10,15	–
ФО	–	5,10,15	–	5,10,15





ФО и ДБФ 5 (1,11) и 15 (3,31) мас.ч. на 100 мас.ч. каучука, температуре вулканизации 428 К

Рисунок 1 – Кинетика вулканизации резиновых смесей на основе каучука СКН-40

Установлено, что вулканизирующие вещества и фурановые олигомеры способствуют максимальному поглощению атомов на различных поверхностях наполнителей и тем самым влияют на формирование более прочных вулканизационных структур.

#### Список литературы

1 Creation of special compositions based on butadiene-nitrile elastomers for diesels / S. Mamayev [et al.] // E3S Web of Conferences. – 2023. – Vol. 401. – P. 03028.

2 **Ibadullaev, A.** Radiation Resistance of Filled Elastomer Compositions / A. Ibadullaev, D. Nigmatova, E. Teshabaeva // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2021. – Vol. 808, no. 1. – P. 012043.

УДК 620.179.141.1:629.4.027.5

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗОНЫ ДОСТАТОЧНОЙ НАМАГНИЧЕННОСТИ ПРИ ТРАДИЦИОННОМ МАГНИТОПОРОШКОВОМ КОНТРОЛЕ ЦЕЛЬНОКАТАНОГО КОЛЕСА С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕКТРОМАГНИТА МЭД-120

*А. Г. ОТОКА*

*Белорусская железная дорога, г. Гомель*

*Р. В. ТРАЯКОВ*

*Белорусская железная дорога, г. Минск*

*О. В. ХОЛОДИЛОВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

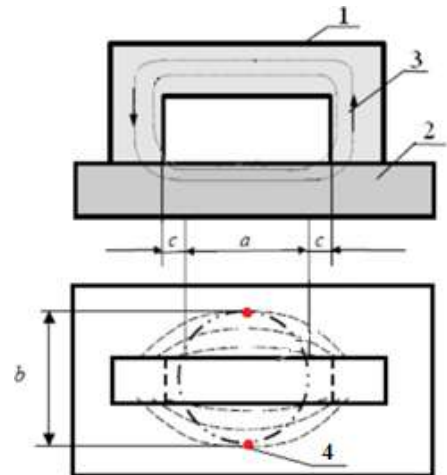
В железнодорожной отрасли с вводом нормативных документов [1, 2] появилась методика определения зоны достаточной (эффективной) намагниченности для портативного приставного электромагнита (включая неконтролируемую зону). До ввода вышеописанных документов на железной дороге действовал нормативный документ [3], который регламентировал уже рассчитанный шаг перемещения постоянного магнита или электромагнита МЭД-120 по цельнокатаному колесу, который составлял на практике 150 мм. При этом расстояние между полюсами электромагнита МЭД-120 учитывалось исходя из технических характеристик дефектоскопа и измерения тангенциальной составляющей  $H_t$  на поверхности цельнокатаного колеса, значение которой должно быть не менее 30 А/см. С появлением большого ряда измерителей магнитного поля различных производителей экспериментальным путем уже доказано, что такой шаг в 150 мм не обеспечивает 100%-ю выявляемость дефектов. При этом сегодня требуемая чувствительность на участке колеса колесной пары (тангенциальная составляющая магнитного поля  $H_t$ ) должна быть не менее 25 А/см.

Термин «зона достаточной намагниченности (ДН)» соответствует термину «область эффективного намагничивания» [4]. В данной работе нам хотелось оценить ориентировочные размеры этой области непосредственно для цельнокатаного колеса. К примеру, в работе [5] для электромагнита МЭД-120 показано, что область эффективной намагниченности примерно равна прямоугольнику с размерами 100×75 мм (измерена на пластине из стали 5 толщиной 15 мм при напряжённости поля  $H \geq 20$  А/см).

Для установления зоны ДН на поверхности колеса расстояние между полюсами назначалось максимальным (150 мм) в соответствии с действующими ТНПА [1, 2]. Электромагнит устанавливали на плоскую поверхность диска колеса, намагничивали участок колеса и измеряли тангенциальную составляющую  $H_t$  вблизи середины между полюсными наконечниками электромагнита. Значение  $H_t$  должно быть  $\geq 25$  А/см. После этого определяли ширину  $b$  зоны ДН (рисунок 1), зафиксировав крайние точки на поверхности детали, в которых значение  $H_t$  соответствует 25 А/см.

Рисунок 1 – Определение зоны ДН электромагнита:

- 1 – электромагнит;
- 2 – деталь;
- 3 – силовые линии магнитного поля;
- 4 – крайняя точка зоны ДН;
- $a$  и  $b$  – длина и ширина зоны ДН;
- $c$  – ширина неконтролируемой зоны на поверхности детали вблизи полюсных наконечников электромагнита



На следующем этапе определяли ширину неконтролируемой зоны  $c$  путем установления датчика измерителя напряжённости на деталь по прямой между полюсными наконечниками электромагнита таким образом, чтобы датчик располагался вблизи одного из полюсных наконечников на расстоянии 5 мм. Намагничивали деталь и измеряли отношение  $H_n / H_t$  вблизи полюсного наконечника электромагнита, которое должно составлять  $\geq 3$ . Если полученное отношение  $H_n / H_t > 3$ , отодвигали ближний к датчику измерителя напряженности полюсный наконечник на расстояние  $c$ , пока не наступит условие  $H_n / H_t \leq 3$  (рисунок 2). Зафиксировав расстояние  $(c + 1)$  мм, при котором выполняется условие  $H_n / H_t \leq 3$ , определяли длину  $a$  зоны ДН.

а)



б)



в)



Рисунок 2 – Определение зоны ДН на цельнокатаном колесе практическим путём (сталь 2):  
 $a$  – определение ширины  $b$  зоны ДН;  $b$  – определение тангенциальной составляющей  $H_t$  на расстоянии 5 мм от полюсного наконечника;  $v$  – определение нормальной составляющей  $H_n$  на расстоянии 5 мм от полюсного наконечника

В результате измерений тангенциальной составляющей  $H_t$  в крайней точке зоны ДН при расстоянии между полюсами электромагнита в 150 мм ширина  $b$  зоны ДН составила 60 мм. Ширина не контролируемой зоны  $c$  при выполнении условия  $H_n / H_t \leq 3$  составила 10 мм. С учетом условия  $(c + 1)$  зона эффективной намагниченности имеет вид прямоугольника размером 128×60 мм (рисунок 3).

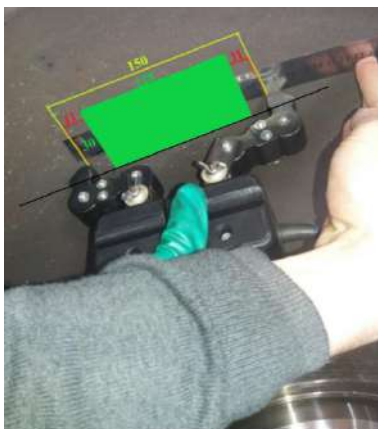


Рисунок 3 – Зона эффективной намагниченности участка колеса с левой стороны электромагнита при расстоянии между полюсами 150 мм (прямоугольник зеленого цвета)

В результате уменьшения межполюсного расстояния электромагнита будет расти ширина зоны ДН (таблица 1).

Таблица 1 – Площадь зоны эффективной намагниченности при различных расстояниях между полюсами электромагнита

Номер	Межполюсное расстояние, мм	Ширина зоны ДН $b$ , мм	Ширина неконтролируемой зоны $c$ , мм	Зона эффективной намагниченности $a \times b$ , мм	Площадь зоны эффективной намагниченности $S$ , см <sup>2</sup>
1	150	60	11	128×60	76,8
2	120	80	11	98×80	78,4
3	100	90	11	78×90	70,2

На практике наиболее оптимальное расстояние между полюсами электромагнита, при котором достигается наибольшая площадь эффективной намагниченности для цельнокатаного колеса, лежит в диапазоне 120–150 мм.

Рассчитаем количество зон эффективной намагниченности одной из поверхностей колеса диаметром 950 мм при использовании электромагнита МЭД-120 с межполюсным расстоянием 150 мм. Исходя из площади колеса  $S = \pi d^2 / 4 = 3,14 \cdot 95^2 / 4 = 7084,625$  см<sup>2</sup> и площади зоны эффективной намагниченности 76,8 см<sup>2</sup> получаем 93 зоны. При этом на одну колесную пару таких зон эффективной намагниченности необходимо 372 (два колеса – четыре стороны). Также необходимо учитывать, что эти зоны должны соприкасаться друг с другом и шаг электромагнита для поперечного перемещения принимается равным 2/3 ширины зоны ДН ( $2b/3$ ), а для продольного перемещения – равным длине зоны ДН ( $a$ ).

В соответствии с [6, 7] можно предположить, что исходя из такого количества циклов намагничивания на цельнокатаном колесе в целях упрощения и сокращения времени на контроль стали нужно отдельно выделять наиболее опасные зоны развития трещин. Поэтому сегодня говорить об эффективности такого ручного контроля цельнокатаных колес при поточном ремонте колесных пар не приходится.

Технологический процесс магнитопорошкового контроля колес при ремонте колесных пар особенно нуждается в автоматизации, при которой дефектоскописту не придется выполнять такое количество циклов намагничивания, соблюдая все условия по перемещению электромагнита и другие операции, связанные с нанесением магнитной суспензии.

#### Список литературы

- 1 **ТИ НК В.21-2.2019.** Технологическая инструкция по неразрушающему контролю деталей и составных частей колесных пар вагонов при ремонте. Магнитопорошковый метод : утв. НП «ОПЖТ». – АО «НИИ мостов и дефектоскопии», 2019. – 51 с.
- 2 **ИИДЖ.25202.00017.** Технологическая инструкция. Неразрушающий контроль деталей и составных частей колесных пар вагонов при ремонте. Магнитопорошковый метод : утв. гл. инженером ГО «Бел. ж. д.». – КТЦ ГО «Бел. ж. д.», 2019. – 74 с.
- 3 **РД32.159-2000.** Руководящий документ. Магнитопорошковый метод неразрушающего контроля деталей вагонов : утв. Департаментом вагонного хозяйства. – 2000. – 120 с.
- 4 **ГОСТ Р 56512-2015.** Контроль неразрушающий. Магнитопорошковый метод. Типовые технологические процессы. – Введ. 2016-06-01. – М. : Стандартинформ, 2016. – 56 с.
- 5 Вихрековый контроль в системе неразрушающего контроля деталей подвижного состава ОАО «РЖД» / А. В. Чуприн [и др.] // В мире НК. – 2019. – Т. 22, № 2 (84). – С. 66–72.
- 6 **РД ВНИИЖТ 27.05.01-2017** Руководящий документ по ремонту и техническому обслуживанию колесных пар с буксовыми узлами грузовых вагонов магистральных железных дорог колеи 1520 (1524) мм : утв. Советом по ж.-д. трансп. государств – участников Содружества. – 2017. – 253 с.
- 7 Руководящий документ по ремонту и техническому обслуживанию колесных пар с буксовыми узлами пассажирских вагонов магистральных железных дорог колеи 1520 (1524) мм : утв. Советом по ж.-д. трансп. государств – участников Содружества. – 2015. – 281 с.

## СИСТЕМА ПОДАЧИ И СМЕШЕНИЯ С ВОЗДУХОМ АММИАКА В ЦИЛИНДРЫ ТЕПЛОВОЗНЫХ ДИЗЕЛЕЙ

*С. А. ПЕТУХОВ, Л. С. КУРМАНОВА, А. Д. РОСЛЯКОВ, М. Ю. КАРПЕНКО, Е. С. МИРОНОВ*  
*Самарский государственный университет путей сообщения, Российская Федерация*

Согласно Стратегии долгосрочного развития Российской Федерации до 2050 года для железнодорожного транспорта предполагается снижение уровня выбросов парниковых газов с 3,9 т на тонно-километр до 3,2 т на тонно-километр. Проблема снижения выброса в атмосферу парниковых газов тесно связана с проблемой улучшения показателей топливной экономичности двигателей, которую можно достичь конвертацией дизельного двигателя в биодизель путем применения безуглеродного топлива, такого как аммиак [1].

Отечественный и зарубежный опыт показывает, что аммиаком можно не только подавлять вредные вещества (ВВ) в отработавших газах (ОГ), но и использовать его как топливо. Технология применения аммиака работоспособная, надежная, отработанная для отдельных транспортных средств, однако необходима адаптация при конвертировании автономных локомотивов на аммиак.

Одним из главных преимуществ аммиака как моторного топлива служит его высокая детонационная стойкость, что позволяет увеличивать степень сжатия двигателя до 17 и выше.

Перспективность аммиака как топлива обусловлена его относительно низкой стоимостью и практически неограниченной сырьевой базой. При полном сгорании аммиака образуется только один вредный компонент – окислы азота  $N_{Ox}$ , причем его содержание существенно меньше, чем при работе на дизельном топливе.

Аммиак, по сравнению с дизельным топливом, имеет меньшую теплотворную способность, а именно 18,6 МДж/кг вместо 43,6 МДж/кг и несколько меньшую плотность (0,77 кг/м<sup>3</sup> вместо 0,833 кг/м<sup>3</sup>). Следовательно, при замещении необходимо подавать аммиака больше, чем дизельного топлива.

К недостаткам аммиака можно отнести его коррозионную активность по отношению к таким цветным металлам, как медь, латунь, бронза. Это объясняется щелочными свойствами аммиака.

Аммиак необходимо воспламенять от запальной порции дизельного топлива так же, как по принципу использования природного газа, который тоже не воспламеняется от сжатия, имея высокую температуру самовоспламенения [2, 3].

Для тепловозных дизелей возможны два варианта схемы подачи аммиака через входной воздушный коллектор.

1 Аммиак подается в воздушную магистраль после турбокомпрессора. При испарении аммиак с целью повышения массового расхода воздуха через цилиндры выполняет функцию холодильника надувочного воздуха. Теплота испарения аммиака значительная ( $r = 1370$  кДж/кг, у дизельного топлива, в среднем  $r = 210$  кДж/кг);

2 Аммиак можно подавать в воздушную магистраль до турбокомпрессора. При этом дополнительно к вышесказанному эффекту добавляется эффект повышения эффективности работы турбокомпрессора.

В основу проектирования системы для подачи аммиака во впускной коллектор положены следующие положения:

- одним из условий при постановке задачи по проектированию устройства для подачи аммиака во впускной коллектор было минимальное изменение штатной компоновки дизельного двигателя;
- аммиак нужно подавать в жидком виде; температура кипения аммиака при атмосферном давлении составляет минус 33,43 °С;
- кроме этого, с точки зрения получения оптимальных характеристик теплового двигателя по вредным выбросам целесообразно стремиться выполнять замещение дизельного топлива (ДТ) аммиаком в диапазоне 40–60 % [4].

Проработан вариант системы, в которой в схеме подачи топлива в дизель тепловоза добавлена система подачи аммиака в цилиндры через входной воздушный коллектор (рисунок 1).

Система для подачи и смешения с воздухом аммиака перед подачей в цилиндры двигателя работает следующим образом.

После запуска дизеля включают насос шестеренчатый 11 для подкачки аммиака из емкости с аммиаком. Регулирующим вентилем 10 регулируют давление аммиака перед жиклером 6 на 2, 3 и 4-й позициях контролера машиниста в соответствии с установленной характеристикой и контролируется по показаниям манометра 9. На повышенных 5, 6, 7 и 8-й позициях контролера машиниста давление также регулируют в соответствии с установленной характеристикой, при этом открывают клапан (нормально закрытый) 8, и аммиак поступает через дополнительный жиклер 7 и основной жиклер 6.

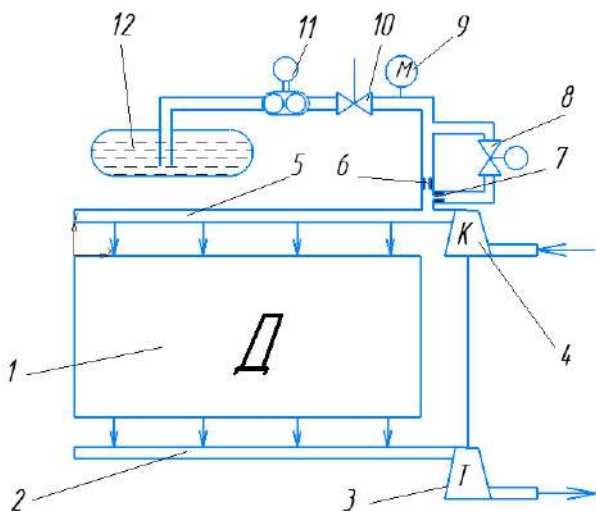


Рисунок 1 – Система подачи аммиака в цилиндры дизеля тепловоза:

1 – дизель; 2 – выпускной коллектор; 3 – турбина турбокомпрессора; 4 – компрессор турбокомпрессора; 5 – впускной коллектор; 6 – основной жиклер; 7 – дополнительный жиклер; 8 – клапан (нормально закрытый); 9 – манометр; 10 – регулировочный вентиль; 11 – насос шестеренчатый; 12 – емкость с аммиаком

Аммиак необходимо подавать в жидкой фазе без предварительного испарения за турбокомпрессором, для этого разработано устройство, которое устанавливается в штатный штуцер, предназначенный для замера температуры или давления за турбокомпрессором.

Разработанная система подачи и смешения с воздухом аммиака в цилиндры двигателя автономных локомотивов обеспечивает необходимый расход аммиака при условии однофазного жидкостного течения без специальных устройств регулирования параметров, а также равномерную концентрацию смеси воздуха и аммиака, уменьшение температуры рабочего тела за турбокомпрессором и, как следствие, увеличение мощности дизеля путем увеличения расхода воздуха в цилиндры.

#### Список литературы

- 1 **Климентьев, А. Ю.** Аммиак – перспективное моторное топливо для безуглеродной экономики / А. Ю. Климентьев, А. А. Климентьева // Транспорт на альтернативном топливе. – 2017. – № 4 (58). – С. 17–27
- 2 **Курманова, Л. С.** Способы организации рабочего цикла в тепловых двигателях для работы на смеси дизельного топлива и природного газа / Л. С. Курманова // Вестник транспорта Поволжья. – 2018. – № 6(72). – С. 108–114.
- 3 **Носырев, Д. Я.** Улучшение энергоэкономических показателей дизелей тепловозов путем применения смеси дизельного топлива и природного газа / Д. Я. Носырев, Ю. И. Булыгин, Л. С. Курманова // Вестник транспорта Поволжья. – 2019. – № 1 (73). – С. 110–117.
- 4 **Петухов, С. А.** Перспективность применения аккумуляторной системы топливоподачи для дизелей тепловозов / С. А. Петухов, Л. С. Курманова, А. С. Мазанов // Технологическое обеспечение ремонта и повышение динамических качеств железнодорожного подвижного состава : материалы V всерос. науч.-техн. конф. с междунар. участием, Омск, 14 ноября 2019 г. – Омск : Омский государственный университет путей сообщения, 2019. – С. 338–345.

УДК 629.4.01

### НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ КРЫШКИ ЛЮКА УНИВЕРСАЛЬНОГО ПОЛУВАГОНА

*А. В. ПИГУНОВ, В. В. ПИГУНОВ, О. В. КАЛЮКО, А. В. НАГИБИНА*  
*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Универсальные полувагоны – наиболее массовый тип вагона, в котором перевозится широкая номенклатура грузов. Крышки разгрузочных люков наряду с балками рамы образуют пол полувагона и должны в закрытом состоянии обеспечивать герметичность кузова для сохранности перевозимого груза.

В настоящее время идет насыщение вагонного парка вагонами нового поколения с осевой нагрузкой 25 т, разрабатываются конструкции вагонов для осевой нагрузки 27 т.

При проведении плановых видов ремонта из 14 крышек люков как минимум две крышки люка подлежат замене, а в среднем 4–5 требуют большого объема ремонтных работ. Для этого их снимают с вагона и направляют в специальное отделение ремонтного предприятия.

Основными неисправностями крышек люков являются прогибы и деформации, обрыв сварных швов, коррозионные повреждения и т. д.

Крышки разгрузочных люков должны иметь одинаковые размеры, быть оснащенными тремя типовыми петлями и двумя запорными кронштейнами для крепления на кузове. Каждая крышка состоит из металлического гофрированного листа толщиной 5 мм, в задней части которого имеется загиб. Снизу лист подкреплен каркасом. Он образуется двумя боковыми, передней и средней обвязками и задним усилением, выполненными из гнутых швеллеров.

Петли крепятся к заднему усилению каркаса и листу обшивки заклепками диаметром 16 мм или ШОГ-соединениями. Шарнирное соединение крышки люка с хребтовой балкой осуществляется за счет того, что петли входят в державки петель, расположенные на хребтовой балке, и соединяются между собой валиками. Кронштейны запорного устройства приварены к крышке люка со стороны передней обвязки.

В соответствии с требованиями [1] крышка люка полувагона должна быть спроектирована таким образом, чтобы выдерживать равномерно распределенную по площади нагрузку от веса перевозимого груза, сосредоточенную в центре крышки на участке 25×25 см.

Для оценки прочности крышки люка разработана конечноэлементная модель, состоящая из двух типов конечных элементов: плоских пластинчатых 3- и 4-угольных. Параметры расчетной модели следующие: количество узлов – 34369, количество конечных элементов – 33193. Допускаемые напряжения для III расчетного режима принимаем равными  $[\sigma] = 220$  МПа.

После проведения прочностного расчета на действие распределенной нагрузки были определены расчетные напряжения для всех конечных элементов металлоконструкции. Наибольший уровень напряжений возникает в задней части крышки в местах установки крайних петель. Их величина на 50 % превышает допускаемые.

При воздействии сосредоточенной в центре крышки нагрузки наибольший уровень напряжений наблюдается в середине средней обвязки и составляет 440 МПа. Также высокий уровень напряжений наблюдается в районе примыкания средней обвязки к боковым обвязкам и в районе крайних петель.

Выполненные расчеты показывают, что наиболее неблагоприятным является случай приложения к конструкции сосредоточенной нагрузки. Вместе с тем расчетные напряжения превышают допускаемые и при расчете на распределенную нагрузку.

#### Список литературы

1 Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колес 1520 мм (несамоходных). – М. : ВНИИВ-ВНИИЖТ, 1996. – 319 с.

УДК 629.4.023.14

### СНИЖЕНИЕ МЕТАЛЛОЕМКОСТИ РАМЫ ПЛАТФОРМЫ

*А. В. ПИГУНОВ, В. В. ПИГУНОВ, О. В. КАЛЮКО, А. В. НАГИБИНА*  
*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Развитие железнодорожного транспорта предполагает повышение эффективности использования подвижного состава, в том числе грузовых вагонов. Производительность грузовых вагонов возможно повысить за счет снижения тары вагонов, что позволит в рамках существующей осевой нагрузки повысить их грузоподъемность.

Существует ряд путей, позволяющих снизить тару вагона. Один из путей – применение новых более легких алюминиевых сплавов в несущей конструкции кузова. Опыт производства вагонов из

алюминия имелся в Советском Союзе. Были спроектированы и построены универсальные крытые вагоны и полувагоны из сплава АМг 6. В последние годы применение алюминия реализовано в ряде опытных конструкций вагонов-хопперов. Однако широкое применение алюминия сдерживается следующими факторами:

- 1) стоимость алюминиевых сплавов выше стоимости стали;
- 2) нет эффективного решения проблемы изоляции стальных конструктивных элементов от алюминиевых;
- 3) ремонт металлоконструкций кузовов, выполненных из алюминия, требует освоения новых технологий.

Следующий путь снижения тары вагона – применение высокопрочной стали. Однако ее применение влечет ряд проблем по обеспечению необходимого уровня усталостной долговечности.

Применение традиционных материалов в конструкциях кузовов вагонов заставляет искать новые технические решения, позволяющие снизить металлоемкость конструкции. Компания Nögmann Vehicle Engineering разработала в рамках проекта «5L Next» конструкцию облегченной рамы платформы. Она собирается из трех частей: двух концевых и средней (рисунок 1) [1]. Концевые части сварной конструкции, каждая из которых состоит из поперечных концевой 1 и шкворневой 2 балок. Отрезок хребтовой балки 3 длиной приблизительно 1/3 консольной части примыкает к концевой балке и затем разделяется на два раскоса 4, которые расходятся к боковым балкам 5 в места соединения их с шкворневой. Дополнительно данный узел усиливают раскосы 6, отходящие в противоположную сторону к местам соединения боковых и концевых балок.



Рисунок 1 – Рама платформы проекта «5L Next»: а – концевая сварная и средняя части; б – фрагмент средней части с поперечными балками рамы

Снижение массы тары достигнуто за счет особенностей конструкции средней части. Она выполнена без сквозной хребтовой балки. Боковые балки представляют собой ферму переменной высоты с максимальной высотой в средней части рамы, которая уменьшается к концевым частям. Силовые элементы фермы собраны из гнутых швеллеров 8 с отверстиями для облегчения конструкции, которые соединяются при помощи болтов и заклепок. Места соединения горизонтальных и наклонных элементов усилены фигурными накладками 9.

На боковых продольных балках рамы устанавливаются откидные контейнерные упоры 10, которые усиливаются пятью поперечными балками. Верхний пояс балки имеет горизонтальную поверхность 11, а для связи с нижним поясом боковой балки от их середины расходятся в обе стороны наклонные подкосы 12.

Оценка возможности применения технических решений, реализованных европейскими вагоностроителями применительно к нашим конструкциям платформ возможна после оценки прочности. Для этого разработан вариант конструктивного исполнения средней части хребтовой балки рамы платформы на основе конструкции универсальной платформы модели 13-401. В средней части хребтовой балки вместо вертикальной стенки двутавра № 60 предусмотрена установка замкнутых квадратных профилей сечением 80×80×4 мм. Они располагаются под углом 60° и образуют ферму (рисунок 2).

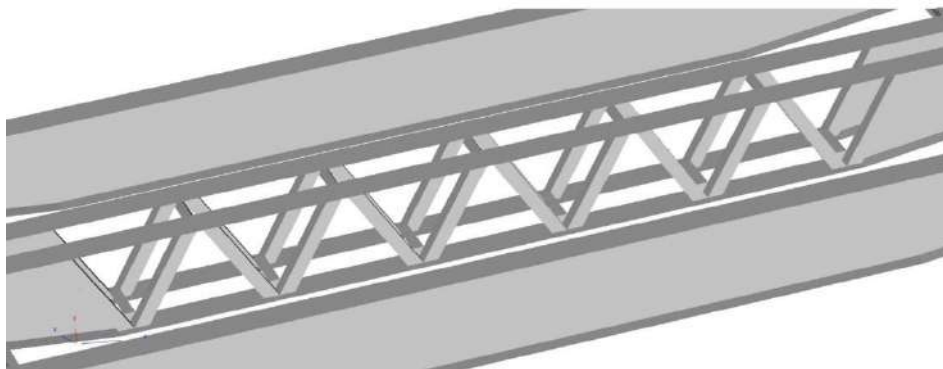


Рисунок 2 – Конструктивное исполнение средней части хребтовой балки

С целью оценки прочности конструкции была разработана расчетная конечно-элементная модель рамы вагона-платформы. Построение модели осуществлялось для реализации расчетов в программном пакете DSMfem. Для построения модели использовались два типа конечных элементов: плоские пластинчатые 3- и 4-угольные.

Расчет выполнялся на действие продольной сжимающей и растягивающей нагрузок величиной 2,5 МН и 2,0 МН с учетом собственного веса и вертикальной нагрузки от перевозимого груза [2]. Материал – сталь 09Г2С с пределом текучести 345 МПа.

При воздействии на конструкцию сжимающей нагрузки у типовой конструкции максимальный уровень напряжений не превышает 82 % от допускаемых. В элементах хребтовой балки максимальный уровень напряжений наблюдается в верхнем горизонтальном листе двутавра и составляет 210 МПа. Модифицированная конструкция имеет более высокий уровень расчетных напряжений. Так, в трубчатых наклонных элементах фермы уровень расчетных напряжений составляет 248 МПа, а в верхнем горизонтальном листе – 339 МПа.

Действие растягивающей нагрузки изменяет картину распределения напряжений. Максимальный уровень расчетных напряжений у типовой конструкции не превышает 81 % от допускаемых. Наибольший уровень напряжений в хребтовой балке наблюдается у элементов вертикального листа в районе примыкания к нижней горизонтальной полке и составляет 169 МПа. В модернизированной конструкции уровень напряжений в раскосах фермы составляет 178 МПа, а в нижнем горизонтальном листе – 164 МПа.

Масса тары модернизированной конструкции платформы снизилась по сравнению с типовой на 3,8 %, а уровень напряжений, особенно в верхнем горизонтальном листе, вырос на 61 %. Отсюда можно сделать вывод, что необходимо усилить верхний горизонтальный лист. Это в свою очередь практически нивелирует полученное снижение массы. Возможно, в дальнейшем нужно рассмотреть применение не замкнутых профилей, а открытых в виде швеллера для раскосов и горизонтальных листов швеллера.

#### Список литературы

1 **Негрей, В. Я.** Европейские модульные платформы для перевозки сменных и съемных кузовов / В. Я. Негрей, К. А. Бочков, А. В. Пигунов // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2022. – № 2 – С. 64–68.

2 ГОСТ 33211–2014. Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам. – Введ. 2016-07-01 – М. : Стандартинформ, 2016. – 54 с.

УДК 625.032.3

### ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ИЗНОС КОЛЕС ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ

*А. В. ПИГУНОВ, В. В. ПИГУНОВ, О. В. КАЛЮКО, А. В. НАГИБИНА*  
*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Парк грузовых вагонов составляют вагоны различных типов полувагоны, универсальные платформы, универсальные крытые, платформы для перевозки леса и контейнеров, хопперы для перевозки зерна, цемента, минеральных удобрений и др. В свою очередь каждый тип вагонов представ-



лен множеством моделей разных заводов-изготовителей. Вагоны в силу специфики перевозимых грузов различаются линейными размерами. Хоппер-цементовоз имеет длину рамы 10,7 м, полувагон – 12,78 м; универсальный крытый – 17,5 м; платформа для перевозки контейнеров – 24,53 м.

До недавнего времени все вагоны были рассчитаны под перевозку груза в рамках осевой нагрузки 23,5 т. В последнее десятилетие поступили в эксплуатации грузовые вагоны повышенной грузоподъемности с осевой нагрузкой 25 т, оснащенные новыми конструкциями тележек.

Анализ технического состояния грузовых вагонов в эксплуатации показывает, что основная причина отцепок неисправных вагонов в ремонт вызвана неисправностями колесных пар и прежде всего неисправностями колес. Это не случайно, поскольку вагонное колесо – наиболее динамически нагруженный элемент ходовых частей вагонов, который непосредственно взаимодействует с рельсами, что приводит к износу поверхности катания колес. Отцепки вагонов в текущий ремонт ведут к дополнительным финансовым издержкам на содержание вагонного парка.

Исследования, выполненные в работе [1] для железных дорог Узбекистана, показали, что отцепки вагонов в текущий ремонт по неисправностям колесных пар составляют более 45 % от общего количества отцепок. Основные причины отцепки связаны с интенсивностью износа и повреждаемости вагонных колес. Причем самыми распространенным видом отказов по неисправностям колесных пар являются тонкий гребень (55 %) и выщербина обода колеса (25 % от общего количества отцепок по колесным парам).

В эксплуатации имеются цельнокатаные колеса диаметром по кругу катания 957 мм с плоскоконическим и криволинейным дисками. При этом предусмотрены три варианта конструктивного исполнения колес с криволинейной формой диска. Все варианты являются взаимозаменяемыми.

Колеса с плоскоконическим диском используют в тележках грузовых вагонов с осевой нагрузкой 230,5 кН, колеса с криволинейным диском – в тележках грузовых вагонов с повышенной осевой нагрузкой (245 кН и более).

Криволинейный диск, работая как мембрана, существенно снижает динамические воздействия на путь, шейку оси и буксовый узел. Криволинейные диски обладают большим запасом усталостной прочности по сравнению с плоскоконическими дисками стандартных колес по ГОСТ 9036. Это позволяет рекомендовать их как перспективные для использования под вагонами с повышенными осевыми нагрузками.

Для изготовления колес грузовых вагонов используются стали марок 2 и Т. Сталь марки 2 – универсальная – используется для колес грузовых вагонов с осевой нагрузкой не более 230,5 кН и колес пассажирских вагонов с конструкционной скоростью не более 160 км/ч.

Колеса инновационных грузовых вагонов (с увеличенной осевой нагрузкой), работают в условиях более высоких напряжений в контакте колеса и рельса, поэтому для таких колес применяют сталь с увеличенным содержанием углерода – сталь марки Т.

Твердость обода 255 НВ, используемая в колесах из стали марки 2, существенно уступает твердости рельсов (401 НВ), что приводит к интенсивному износу колес и ускоренному их выходу из строя. Поэтому колеса, выполненные из стали марки Т с твердостью обода до 320 НВ включительно, имеют повышенную износостойкость.

В работе [2] выполнена сравнительная оценка интенсивности износа гребней инновационных колес и стандартных. В результате проведенных замеров, после пробега груженых полувагонов между станциями Карымская – Белогорск (расстояние 1574 км), были установлены значения средних износов гребней колес. Они составили для стандартных колес 0,14 мм, а для инновационных – 0,09 мм. Таким образом, установлено, что колеса, изготовленные из стали повышенной твердости прочности, имеют в 1,5 раза меньшую величину износа.

Экспериментальное измерение величины износа гребня у платформ для перевозки контейнеров с длиной по осям сцепления более 25 м позволило определить потерю толщины 0,11 мм на 1000 км пробега [3].

Результаты приведенных выше экспериментальных данных позволяют сделать вывод, что величина износа гребня зависит от линейных размеров вагона (длины базы). Чем больше база вагона, тем больше износ гребня.

Установлена также связь величины износа гребня с величиной коэффициента трения в узле «пятник – подпятник» грузового вагона [4]. Определена величина коэффициента трения  $f = 0,05$  для выравнивания срока службы колеса и кассетного подшипника [5].

В результате проведения компьютерного моделирования с учетом максимально допустимых зазоров между колесной парой и элементами тележки установлено, что наибольшее влияние на износ колес вагона оказывает трапецевидная установка колесных пар, которая приводит к увеличению работы сил трения до 26 раз по сравнению с нормальной параллельной их расстановкой [6]. Также установлено благоприятное влияние на износ колес наличие смазочного материала в узле «пятник – подпятник».

На основании результатов изложенных выше исследований к основным факторам, оказывающим влияние на износ колес грузовых вагонов, можно отнести конструктивное исполнение колес, длину базы вагона, работу узла «пятник – подпятник», величину износов элементов тележки.

#### Список литературы

1 **Гайипов, А. Б.** Прогнозирование потребности в колесных парах грузовых вагонов и совершенствование технологии их ремонта на железных дорогах Республики Узбекистан : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.07 / А. Б. Гайипов ; ПГУПС. – СПб., 2022. – 19 с.

2 **Иванова, Т. В.** Определение износа гребня колеса грузового вагона / Т. В. Иванова, В. А. Петровых, Д. Г. Налабордин // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2017. – № 1. – С. 27–29.

3 **Иванова, Т. В.** Сравнительная оценка интенсивности износа гребней стандартных и инновационных колес грузовых вагонов / Т. В. Иванова, Д. Г. Налабордин // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2017. – № 10. – С. 459–460.

4 Пути снижения износа гребней колесных пар в тележках грузовых вагонов / В. Н. Филиппов [и др.] // Транспортное машиностроение. – 2022. – № 8. – С. 44–55.

5 **Матяш, Ю. И.** Исследования возможности снижения степени износа гребня колеса в грузовом вагоне / Ю. И. Матяш, А. Д. Родченко, А. Г. Петракова // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2023. – № 1 (77). С. 51–59. – DOI : 10.26731/1813-9108.2023.(77).51-59.

6 Оценка износа колес грузовых вагонов при существующих нормативах выпуска трехэлементных тележек с осевой нагрузкой 23,5 тс из ремонта / А. В. Саидова [и др.] // Известия Петербургского университета путей сообщения. – СПб. : ПГУПС, 2021. – Вып. 1. – Т. 18. – С. 52–61.

УДК 519.85:629.4.014.7

## ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМ КОМПЬЮТЕРНОЙ МАТЕМАТИКИ ПРИ АВТОМАТИЗАЦИИ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ДИНАМИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ

*А. П. ПРИХОДЬКО, В. В. КОМИССАРОВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Одной из важнейших задач в эксплуатации подвижного состава железнодорожного транспорта является обеспечение сохранности единиц подвижного состава. Интенсификация процесса роспуска вагонов на горках, увеличение скоростей соударения вагонов в подгорочном парке, переходные режимы движения поездов способны повредить вагон и перевозимые грузы. В этой связи при эксплуатации вагонов необходимо амортизировать удары и снижать продольные усилия. Эти функции выполняют поглощающие аппараты (ПА).

ПА обеспечивают ограничение допустимого хода рабочего органа (нажимного устройства) при различных условиях эксплуатации и тем самым снижают воздействие на несущую конструкцию подвижного состава возникающих продольных сил. Наиболее значимым показателем, характеризующим эффективность ПА, является энергоемкость аппарата, определяемая кинетической энергией, которую он воспринимает при полном сжатии. С целью определения данных характеристик ПА подвергаются испытаниям.

При проведении испытаний получаемые данные непрерывно записываются в виде соответствующих массивов, которые содержат информацию о времени, силе удара и ходе аппарата. В зависимости от частоты регистрации данных таблицы могут содержать до 30000 строк. Такой большой объем данных затрудняет их дальнейшую обработку, поэтому для облегчения и ускорения обработки данных произведена обработка в системе компьютерной математики Wolfram Mathematica.

При помощи встроенных функций Mathematica необходимые данные экспортируются из исходного массива, в котором содержатся сведения о силе и ходе аппарата для каждого эксперимента, на основе полученных данных строится график зависимости силы от хода аппарата.

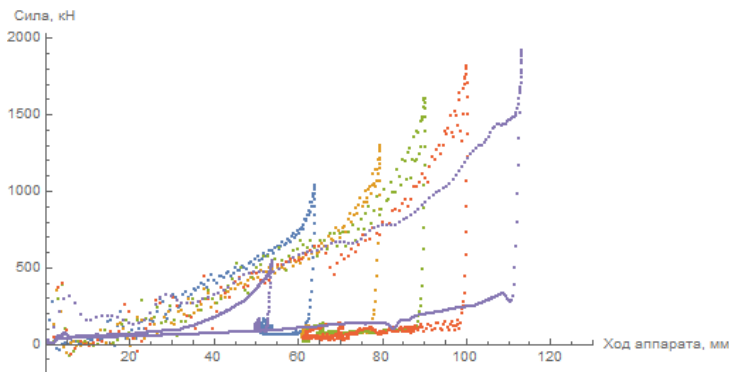


Рисунок 1 – Зависимость прилагаемой силы от хода поглощающего аппарата для нескольких ударов

Графики зависимости силы от хода аппарата для нескольких различных ударов представлены на рисунке 1.

Разработанным алгоритмом определяется позиция с максимальным значением усилия и отбрасывается часть данных, которые расположены после него. Площадь кривой под графиком, построенным в данных координатах, представляет собой искомую энергоемкость ПА.

С целью автоматизации обработки полученные данные аппроксимируются функциями с построением соответствующей полиномиальной (рисунок 2, а) и

экспоненциальной (рисунок 2, б) зависимостей. Для приведенных данных многочлен 6-й степени имеет вид

$$f(x) = 85,0219 + 3,2159x + 0,0439x^2 + 0,00028x^3 + 9,0249 \cdot 10^{(-7)} x^4 + 1,415 \cdot 10^{(-9)} x^5 + 8,594 \cdot 10^{(-13)} x^6,$$

а экспоненциальная функция

$$f(x) = 77,1845 + 21,3259e^{0,0247(60,5157+x)}.$$

При этом наилучшая аппроксимация обеспечивается экспоненциальной функцией с коэффициентом корреляции 0,995. Для полиномиальной функции получен коэффициент корреляции 0,992. В этой связи для обработки всех результатов была применена экспоненциальная функция.

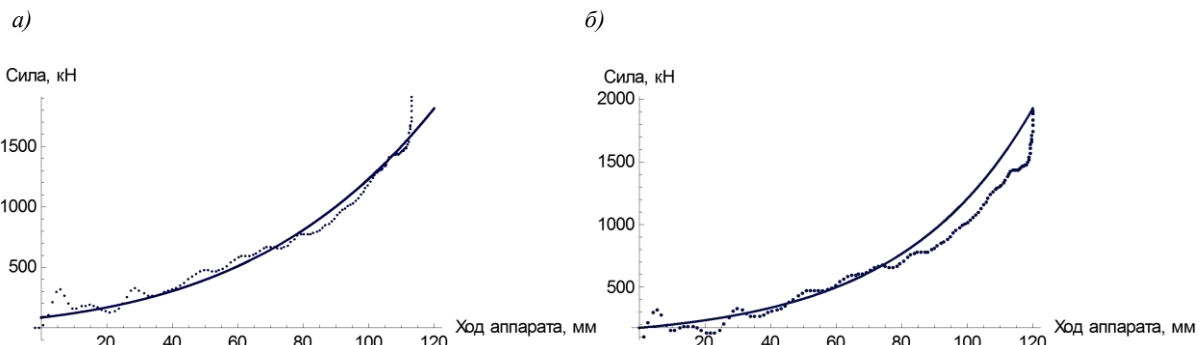


Рисунок 2 – Визуализация процесса аппроксимации:  
 ..... – экспериментальные данные; — – график аппроксимирующей функции  
 а – полиномиальная аппроксимирующая функция;  
 б – экспоненциальная аппроксимирующая функция

Для определения энергоемкости поглощающего аппарата производится интегрирование соответствующих зависимостей. В результате установлено, что энергоемкость поглощающего аппарата КМТ-118С в состоянии поставки составила 73,24 кДж.

В статье продемонстрированы возможности системы компьютерной математики Wolfram Mathematica повысить эффективность и скорость обработки различных результатов испытаний ПА. Используемая визуализация делает результаты анализа данных более доступными и понятными, что в целом позволяет формулировать содержательные выводы по итогам эксперимента. В настоящее время проводится разработка соответствующего пользовательского интерфейса с целью снижения трудозатрат при реализации производимых вычислений.

### Список литературы

- 1 **Беспалько, С. В.** Исследование соударений вагонов, оборудованных эластомерными поглощающими аппаратами, с использованием компьютерного моделирования / С. В. Беспалько, С. С. Андриянов. – 2004. – № 5. – С. 7–8.
- 2 **Журавков, М. А.** Об использовании системы Mathematica при преподавании дисциплин и изучении разделов по основам компьютерного моделирования в механике / М. А. Журавков, В. Б. Таранчук // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2016. – № 1 (32). – С. 59–62.
- 3 **Карпухина, С. В.** Персонализированное обучение алгебре и началам математического анализа с использованием компьютерной системы "Mathematica": дис. ... канд. пед. наук : 13.00.02. «Теория и методика обучения и воспитания (по областям и уровням образования)» / С. В. Карпухина. – Рязань, 2009. – 243 с.
- 4 **Кристалинский, В. Р.** Об использовании системы Wolfram Mathematica в статистическом анализе данных / В. Р. Кристалинский, Р. Е. Кристалинский // Дистанционные образовательные технологии : материалы IV Всерос. науч.-практ. конф. (с международным участием), посвящ. 75-летию ГПА, Ялта, 16–21 сентября 2019 года / отв. редактор В. Н. Таран. – Ялта : Издательство Типография «Ариал», 2019. – С. 58–61.

УДК 629.421.4

## ОЦЕНКА ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В КОЛЕСЕ ТЕПЛОВОЗА ЧМЭЗ ПОСЛЕ ТЕПЛОВОЙ ПОСАДКИ БАНДАЖА НА КОЛЕСНЫЙ ЦЕНТР

*А. В. ПУТЯТО, И. Л. КОЦУР*

*Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого, Республика Беларусь*

Основными маневровыми тепловозами на Белорусской железной дороге являются тепловозы серии ЧМЭЗ, ЧМЭЗ<sup>Т</sup> и серии ТМЭ1, ТМЭ2. Указанные тепловозы имеют трехосные бесчелюстные тележки с одноповодковым буксовым узлом с двухрядным сферическим подшипником качения [1]. К одним из серьезных недостатков тепловозов указанных серий, с которыми приходится сталкиваться в эксплуатации, относятся неисправности колесных пар. Так, имеют место случаи возникновения трещин бандажей колесных пар, а также при проведении полного и обыкновенного освидетельствования выявляют значительное количество трещин в колесных центрах (рисунок 1).



Рисунок 1 – Разрушение бандажа и колесного центра колеса

Колесная пара является одним из наиболее ответственных узлов железнодорожного подвижного состава. Обеспечение требуемой прочности соединений с гарантированным натягом деталей колесной пары напрямую связана с безопасностью движения. Соединения с натягом элементов колесной пары подвергаются воздействию комплекса силовых факторов и могут работать на осевой сдвиг, проворачивание или испытывать комбинированную нагрузку. Недостаточная прочность соединений может привести к относительному сдвигу элементов и вызвать катастрофические последствия. В то же время в процессе соответствующих технологических операций при формировании колесной пары, в том числе при посадке бандажа на колесный центр, в металлоконструкции составного колеса формируется достаточно сложная картина остаточных напряжений.

Целью настоящей работы является численная оценка уровня остаточных напряжений в колесном центре и бандаже колеса маневрового тепловоза ЧМЭЗ после их соединения с натягом термическим способом.

Компьютерное моделирование выполнено методом конечных элементов в программном комплексе ANSYS [2]. Материал колесного центра в соответствии с ГОСТ 4491–2016 – сталь 20Л с временным сопротивлением 440 МПа. В соответствии с ГОСТ 398–2010 бандаж изготовлен из стали марки 2 с временным сопротивлением 1100 МПа. Для учета пластических деформаций в зоне посадки модель материала принята билинейная упруго-пластическая с кинематическим упрочнением. Поверхности сопряжения смоделированы контактными элементами.

Компьютерная модель реализует полный процесс посадки с натягом бандажа на колесный центр тепловым способом, включающим три этапа. В начальном положении колесный центр и бандаж смещены относительно друг друга в осевом направлении. На первом этапе выполняется нагрев бандажа с 18 до 300 °С, а колесный центр находится в начальном положении. Далее, на втором этапе, бандаж сохраняет деформированное состояние с температурой нагрева 300 °С, а колесный центр перемещается в осевом направлении до упорного бурта бандажа. На третьем этапе моделируется остывание бандажа и формирование соединения с натягом. Колесный центр в это время остается в конечном положении второго этапа.

На рисунке 2 приведены картины распределения эквивалентных напряжений в бандаже и колесном центре при реализации натяга в соединении равного 1,1 мм. Видно, что значения напряжений в бандаже возрастают по мере удаления от круга катания и приближения к поверхности сопряжения с колесным центром, максимальные значения получены более 200 МПа, что в целом соответствует экспериментальным результатам, приведенным в работе [3].

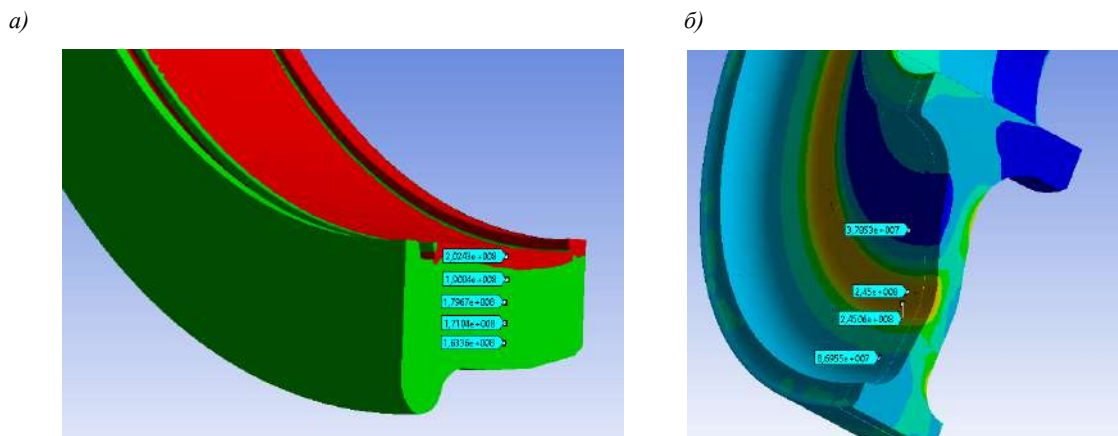


Рисунок 2 – Распределение эквивалентных напряжений (в Паскалях): в бандаже (а) и колесной центре (б) после их сборки

Отметим, что в настоящей работе приведены результаты расчетов при геометрических размерах, соответствующих новым элементам колеса, а также для минимально необходимого значения натяга в соединении. В то же время учет эксплуатационных износов, допусков в отклонениях геометрических размеров сопрягаемых поверхностей, дополнительный учет напряжений от иных технологических операций (посадка колесного центра на ось, обточка поверхности катания и т. п.) могут привести к существенному изменению картины напряженного состояния. Полученный результат в конечном итоге следует рассматривать в совокупности с напряженным состоянием, которое возникает от действия силовых факторов, воспринимаемых колесной парой и, колесом в эксплуатации (вес локомотива, силы взаимодействия с рельсовой колеей).

#### Список литературы

- 1 Нотик, З. Х. Тепловозы ЧМЭЗ, ЧМЭЗ<sup>Т</sup>, ЧМЭЗ<sup>Э</sup>: Пособие машинисту / З. Х. Нотик. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Транспорт, 1996. – 444 с.
- 2 Каплун, А. Б. ANSYS в руках инженера. Практическое руководство / А. Б. Каплун, Е. М. Морозов, М. А. Олферьева. – М. : Едиториал УРСС, 2003. – 272 с.
- 3 Муравьев, В. В. Ультразвуковой контроль остаточных напряжений в бандажах локомотивных колес при производстве / В. В. Муравьев, Л. В. Волкова, М. А. Лапченко // Дефектоскопия. – 2015. – № 5. – С. 3–16.

## МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ МОЩНОСТИ КОЛЕСНЫХ ЦЕХОВ ВАГОНРЕМОНТНЫХ ЗАВОДОВ

В. Ф. РАЗОН

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

На Белорусской железной дороге вагоноремонтные заводы выполняют не только капитальный, но и деповской ремонт пассажирских вагонов. Поэтому колесные цехи этих заводов выполняют капитальный и средний ремонты колесных пар, выкаченных из-под ремонтируемых вагонов, а также капитальный ремонт колесных пар, поступающих из вагонных депо, и формирование новых колесных пар по заказам сторонних предприятий. Кроме заводов на Белорусской железной дороге капитальный ремонт колесных пар выполняется в Витебском вагонном депо, специализирующемся на ремонте вагонов-цистерн.

Годовая программа поступающих в ремонт колесных пар в общем случае может быть определена по формуле

$$N_k = (N_{др.4} + N_{кр.4}) \cdot 4 + (N_{др.8} + N_{кр.8}) \cdot 8 + N_d, \quad (1)$$

где  $N_{др.4}$ ,  $N_{др.8}$  – соответственно годовая программа деповского ремонта 4- и 8-осных вагонов;  $N_{кр.4}$ ,  $N_{кр.8}$  – соответственно годовая программа капитального ремонта 4- и 8-осных вагонов;  $N_d$  – годовое количество колесных пар, поступающих для капитального ремонта из депо, которые не осуществляют этот вид ремонта.

Все поступающие колесные пары обмывают, дефектоскопируют и с них демонтируют буксовые узлы. Годовая программа этих работ соответственно  $N_{к.обм}$ ,  $N_{к.дф}$ ,  $N_{к.дм.б}$

$$N_{к.обм} = N_{к.дф} = N_{к.дм.б} = N_k. \quad (2)$$

Часть колесных пар по результатам входного контроля бракуют и распрессовывают. Колёса и оси, пригодные для дальнейшей эксплуатации, используют для формирования новых колесных пар, а негодные детали сдают в металлолом. Количество забракованных колесных пар

$$N_{к.бр} = N_k \cdot \Delta_{к.бр}, \quad (3)$$

где  $\Delta_{к.бр}$  – доля забракованных колесных пар (определяется по опыту работы конкретного предприятия).

Вместо забракованных колесных пар ( $N_{к.бр}$ ) формируют новые из старогодних деталей и используют их для ремонта вагонов. Кроме того, новое формирование колесных пар выполняют по заказам сторонних предприятий ( $N_{к.з.ф}$ ). Общее количество колесных пар нового формирования

$$N_{к.н.ф} = N_{к.бр} + N_{к.з.ф}. \quad (4)$$

Общее количество колесных пар, направляемых в ремонт,

$$N_{к.р} = N_k - N_{к.бр}. \quad (5)$$

Часть этих колесных пар подвергается среднему ремонту:

$$N_{к.ср} = N_{к.р} \cdot \Delta_{к.ср}, \quad (6)$$

где  $\Delta_{к.ср}$  – доля колесных пар, подвергающихся среднему ремонту (определяется по опыту работы конкретного предприятия).

Количество колесных пар капитального ремонта

$$N_{к.кр} = N_{к.р} - N_{к.ср}. \quad (7)$$

Расформированию подлежат колесные пары капитального ремонта и забракованные колесные пары:

$$N_{к.рас} = N_{к.кр} + N_{к.бр}. \quad (8)$$

Годовая программа формирования колесных пар состоит из программы капитального ремонта и программы нового формирования:

$$N_{к.фор} = N_{к.кр} + N_{к.н.ф.} \quad (9)$$

Снятые со всех колесных пар буксовые узлы обмывают и ремонтируют. Годовая программа их обмывки ( $N_{б.обм}$ ) и ремонта ( $N_{б.р}$ )

$$N_{б.обм} = N_{б.р} = 2N_{к.}, \quad (10)$$

где 2 – количество буксовых узлов на одной колесной паре.

Монтаж буксовых узлов выполняют для ремонтируемых колесных пар и колесных пар нового формирования:

$$N_{к.м.б} = N_{к.р} + N_{к.н.ф.} \quad (11)$$

Годовая программа обмывки ( $N_{п.обм}$ ), дефектоскопирования ( $N_{п.д}$ ) и ремонта ( $N_{п.р}$ ) подшипников

$$N_{п.обм} = N_{п.д} = N_{п.р} = 4N_{к.} \quad (12)$$

где 4 – количество подшипников в одной колесной паре.

По результатам осмотра и дефектоскопирования роликовые подшипники колесных пар подвергаются двум видам ремонта: с переборкой роликов и без нее. Первый вариант ремонта осуществляется в том случае, если хотя бы один ролик признан негодным из-за наличия дефектов. Колесные пары, формируемые по заказам сторонних предприятий, комплектуются новыми буксовыми узлами и подшипниками.

Годовая программа ремонта подшипников с переборкой роликов

$$N_{п.р.п} = N_{п.р} \cdot \Delta_{п.р.п}, \quad (13)$$

где  $\Delta_{п.р.п}$  – доля подшипников, ремонтируемых с переборкой роликов (определяется по опыту работы конкретного предприятия).

Годовая программа ремонта подшипников без переборки роликов

$$N_{п.р.б} = N_{п.р} \cdot (1 - \Delta_{п.р.п}). \quad (14)$$

Все колесные пары нового формирования и отремонтированные подлежат виброакустическому контролю и окраске:

$$N_{к.вак} = N_{к.окр} = N_{к.р} + N_{к.н.ф.} \quad (15)$$

При среднем ремонте часть колесных пар ремонтируется со снятием лабиринтных и внутренних колец подшипников. Годовая программа

$$N_{к.сн.к} = N_{к.ср} \cdot \Delta_{к.сн.к}, \quad (16)$$

где  $\Delta_{к.сн.к}$  – доля колесных пар, у которых при среднем ремонте снимают внутренние и лабиринтные кольца.

Часть колесных пар среднего ремонта после снятия внутренних и лабиринтных колец подвергается обточке, шлифовке и накатке роликами шеек осей для упрочнения. Годовая программа этих работ

$$N_{к.н.ш} = N_{к.сн.к} \cdot \Delta_{к.н.ш}, \quad (17)$$

где  $\Delta_{к.н.ш}$  – доля колесных пар, подвергающихся обточке, шлифовке и накатке шеек осей.

Обточка, шлифовка и накатка осей роликами выполняется для всех колесных пар капитального ремонта и нового формирования:

$$N_{к.н} = N_{к.кр} + N_{к.н.ф.} \quad (18)$$

Расточка ступиц колес выполняется для всех колесных пар капитального ремонта и нового формирования:

$$N_{к.р.с} = 2(N_{к.кр} + N_{к.н.ф.}), \quad (19)$$

где 2 – количество колес в колесной паре.

Для оценки производственной мощности колесного цеха завода необходимо рассчитать все указанные параметры программы ремонта колесных пар.

## МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ МОЩНОСТИ КОЛЕСНО-РОЛИКОВЫХ УЧАСТКОВ ВАГОННЫХ ДЕПО БЕЛОРУССКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

В. Ф. РАЗОН

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Колесно-роликовые участки вагонных депо выполняют текущий и средний ремонты колесных пар, выкаченных из-под вагонов деповского и капитального ремонтов, а также поступивших с участков текущего отцепочного ремонта вагонов. Осуществляют сухую очистку и обмывку колесных пар и их сборочных единиц, обточку колесных пар по профилю катания, техническое диагностирование и ремонт буксовых узлов, ультразвуковое, вихретоковое и магнитное дефектоскопирование колесных пар, виброакустический контроль буксовых узлов, клеймение и окраску отремонтированных колесных пар. Эти работы выполняются в различных сочетаниях в зависимости от технического состояния колесных пар, поступивших в ремонт. В результате образуется множество вариантов проследования колесных пар по ремонтным позициям. В этих условиях необходимо точное представление о количестве колесных пар, поступающих для ремонта на каждую позицию для оценки потребности в специализированном ремонтном оборудовании.

Общая годовая программа ремонта колесных пар

$$N_k = [(N_{др.4} + N_{кр.4}) \cdot 4 + (N_{др.8} + N_{кр.8}) \cdot 8 + N_{пто}] \cdot (1 - \Delta_{к.кр}), \quad (1)$$

где  $N_{др.4}$ ,  $N_{др.8}$  – соответственно годовая программа деповского ремонта 4- и 8-осных вагонов;  $N_{кр.4}$ ,  $N_{кр.8}$  – соответственно годовая программа капитального ремонта 4- и 8-осных вагонов;  $N_{пто}$  – годовое количество колесных пар, поступающих для ремонта с участков текущего отцепочного ремонта вагонов (УТОРВ) и пунктов технического обслуживания (ПТО);  $\Delta_{к.кр}$  – доля колесных пар, направляемых для капитального ремонта на заводы и вагоноколесные мастерские (ВКМ) (определяется по опыту работы конкретного депо).

Программа среднего ремонта колесных пар

$$N_{к.ср} = N_k \cdot \Delta_{к.ср}, \quad (2)$$

где  $\Delta_{к.ср}$  – доля колесных пар, направляемых в средний ремонт (определяется по опыту работы конкретного депо).

Программа текущего ремонта колесных пар

$$N_{к.тр} = N_k (1 - \Delta_{к.ср}). \quad (3)$$

С колесных пар, поступивших в средний ремонт, демонтируют буксовые узлы, после чего их обмывают. После ремонта эти колесные пары окрашивают. Годовая программа этих работ, соответственно  $N_{к.дм.б}$ ,  $N_{к.обм}$  и  $N_{к.окр}$

$$N_{к.дм.б} = N_{к.обм} = N_{к.окр} = N_{к.ср}. \quad (4)$$

Часть колесных пар среднего ремонта обтачивают по профилю катания. Программа обточки

$$N_{к.обт} = N_k \Delta_{к.обт}, \quad (5)$$

где  $\Delta_{к.обт}$  – доля колесных пар, подвергающихся обточке по профилю катания (определяется по опыту работы депо).

Колесные пары, поступающие в средний ремонт, обтачивают без буксовых узлов после их демонтажа, что требует меньших затрат времени на обточку. Программа обточки без букс

$$N_{к.обт.б.б} = N_{к.обт} \cdot \Delta_{к.ср}. \quad (6)$$

Колесные пары, поступающие в текущий ремонт, обтачивают, не демонтируя буксовые узлы. Программа обточки колесных пар с буксами

$$N_{к.обт.с.б} = N_{к.обт} (1 - \Delta_{к.ср}). \quad (7)$$



При среднем ремонте колесных пар их часть подвергается снятию внутренних колец подшипников и лабиринтных колец. Такая операция выполняется в том случае, когда в этих деталях обнаружены дефекты, а также при невозможности проверить ультразвуковым дефектоскопом состояние шейки оси. Годовая программа колесных пар, ремонтируемых со снятием внутренних и лабиринтных колец,

$$N_{к.сн.к} = N_{к.ср} \Delta_{к.сн.к}, \quad (8)$$

где  $\Delta_{к.сн.к}$  – доля колесных пар, у которых при среднем ремонте снимают внутренние и лабиринтные кольца.

Часть колесных пар после снятия внутренних и лабиринтных колец подвергается обточке, шлифовке и накатке роликами шеек осей для упрочнения. Годовая программа этих работ

$$N_{к.н.ш} = N_{к.сн.к} \Delta_{к.н.ш}, \quad (9)$$

где  $\Delta_{к.н.ш}$  – доля колесных пар, подвергающихся обточке, шлифовке и накатке шеек осей.

Все ремонтируемые колесные пары подвергаются дефектоскопированию и виброакустическому контролю. Годовая программа этих работ соответственно  $N_{к.дф}$  и  $N_{к.вак}$

$$N_{к.дф} = N_{к.вак} = N_{к.} \quad (10)$$

Годовая программа обмывки ( $N_{б.обм}$ ) и ремонта ( $N_{б.р}$ ) комплектов деталей буксовых узлов, снятых с колесных пар при среднем ремонте,

$$N_{б.обм} = N_{б.р} = 2N_{к.ср}, \quad (11)$$

где 2 – количество буксовых узлов на одной колесной паре.

Годовая программа обмывки ( $N_{п.обм}$ ), дефектоскопирования ( $N_{п.д}$ ) и ремонта ( $N_{п.р}$ ) подшипников

$$N_{п.обм} = N_{п.д} = N_{п.р} = 4N_{к.ср}, \quad (12)$$

где 4 – количество подшипников в одной колесной паре.

По результатам осмотра и дефектоскопирования роликовые подшипники колесных пар подвергаются двум видам ремонта: с переборкой роликов и без переборки роликов. Первый вариант ремонта осуществляется в том случае, если хотя бы один ролик признан негодным для дальнейшей эксплуатации из-за наличия дефектов.

Годовая программа ремонта подшипников с переборкой роликов

$$N_{п.р.п} = N_{п.р} \Delta_{п.р.п}, \quad (13)$$

где  $\Delta_{п.р.п}$  – доля подшипников, ремонтируемых с переборкой роликов (определяется по опыту работы конкретного депо).

Годовая программа ремонта подшипников без переборки роликов

$$N_{п.р.б} = N_{п.р} (1 - \Delta_{п.р.п}). \quad (14)$$

Значения указанных параметров необходимо рассчитать для определения производственной мощности колесно-роликового участка вагонного депо. На их основе ведется расчет количества необходимого оборудования и численности рабочих, занятых на ремонте колесных пар вагонов в депо.

УДК 629.463.67

## ПЕРСПЕКТИВЫ УВЕЛИЧЕНИЯ ГРУЗОПОДЪЕМНОСТИ ВАГОНОВ-САМОСВАЛОВ


*С. А. РАЛОВЕЦ, Д. В. ДАНИЛЕНКО, А. В. ГРИГОРЬЕВ*  
«РМ Рейл», г. Саранск, Российская Федерация

Ежегодный спрос на думпкары составляет 200–290 единиц. При этом 80 % объема спроса в 2018–2021 гг. приходилось на думпкары ГТК (Украина); 94 % – на думпкары, эксплуатируемые внутри промышленных предприятий. С начала 2018 года средняя прайсовая цена предложения ше-

стиосных думпкаров выросла на 20 тыс. дол., до 120 тыс. дол. Котировки в российских рублях повысились на 2–3 млн руб. до 8,5–9 млн руб. Шестиосные думпкары, не выезжающие на общие железнодорожные пути, не обозначаются серийными номерами, их учета после производства не происходит; 91 % парка шестиосных думпкаров не обладает серийными номерами, не определяются их владельцы. Согласно анализу (на рассматриваемый период) 80 % рынка спроса на шестиосные думпкары обеспечивает Горнотранспортная компания (Украина), 94 % спроса – на думпкары, эксплуатируемые внутри промышленных предприятий.

Основными конкурентами АО «Рухиммаш» в сегменте вагонов-самосвалов (думпкар) являются следующие производители: УВЗ, г. Нижний Тагил; ЗМК, г. Энгельс; ВагонТрейд, г. Калининград; Горнотранспортная компания, Украина; КВЗС, Украина; Эшелон-РМ, Казахстан.

Технические характеристики перспективного вагона-самосвала приведены на рисунке 1.



Наименование характеристики	Значение параметра	
	Вариант 1	Вариант 2
Грузоподъемность, т	125,0	128,5
Масса тары вагона тп/п/ах, т	55	51,5
Объем кузова, м <sup>3</sup> : подный	56	56
Длина по концевым балкам, м	13,86	13,86
Высота от УТГ, п/ах, м	3,39	3,39
Габарит по ГОСТ 9238		1-Т
Длина по осям сцепления автосцепок, м		15,04
База вагона, м		9,34
Угол наклона кузова при разгрузке, град.		45
Срок службы, лет		22*

Рисунок 1 – Технические характеристики вагона-самосвала

Перспективный вагон-самосвал имеет ряд преимуществ относительно конкурентных аналогов: увеличенная высота торцевых бортов позволяет формировать «шапку» груза увеличенных размеров и перевозить груз без потерь при транспортировке; конструкция вагона обеспечивает необходимую прочность при погрузке кусковых грузов массой до 3 т с высоты до 3 м на предварительно подсыпанный груз мелкой фракции высотой не менее 300 мм; пневматическая система разгрузки обеспечивает наклон кузова на угол не менее 45° на любую сторону железнодорожного пути и возвращение его в транспортное положение; имеются в наличии 3-осные тележки с осевой нагрузкой 30 тс; увеличен до 56 м<sup>3</sup> полезный объем кузова; в конструкции кузова применяется инновационный Al сплав 1581.

Для повышения конкурентных преимуществ и спроса на рынке необходимо рассмотреть вариант изготовления узлов вагона с применением инновационных материалов для увеличения грузоподъемности конструкции. Дальнейшие исследования проводились для двух случаев конструктивного исполнения бортов вагона-самосвала с различными материалами: 1) материал борта – сталь 09Г2С с пределом текучести 325 МПа, масса борта 3045 кг; 2) материал борта – сталь Al сплав 1581 с пределом текучести 205 МПа, масса борта 1025 кг.

Исследования были проведены с целью оценки прочности конструкции бокового борта, оптимизации геометрических параметров конструкции бокового борта для достижения критерия равнопрочности и сравнительного анализа показателей прочности бокового борта. Анализ напряженно-деформированного состояния конструкции для двух вариантов материального исполнения борта приведен на рисунке 2. При сравнительном анализе напряженно-деформированного состояния борта была проведена оценка прочности по критерию допускаемых напряжений, которая позволила выявить, что борт с применением Al сплава в аналогичном конструктиве не удовлетворяет критерию прочности.

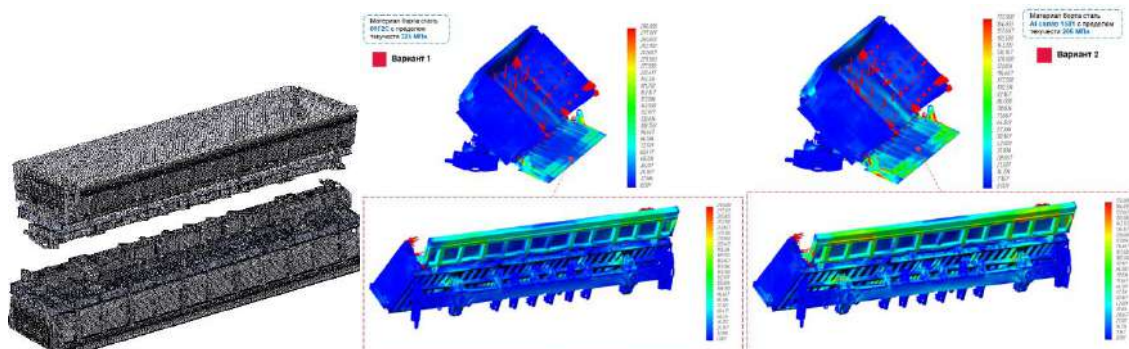


Рисунок 2 – Анализ напряженного-деформированного состояния конструкции

Соответственно, необходимо провести оптимизацию конструкции борта с применением Al сплава 1581 для достижения критериев, обеспечивающих нормативную прочность.

При проведении усиления конструкции борта (рисунок 3) были применены следующие технические решения: увеличена толщина торцевого листа борта, косынки в зоне пересечения с торцевым листом, проушины в зоне торцевого листа и добавлен лист на внешнюю сторону борта, соединяющий верхнюю и нижнюю обвязки.

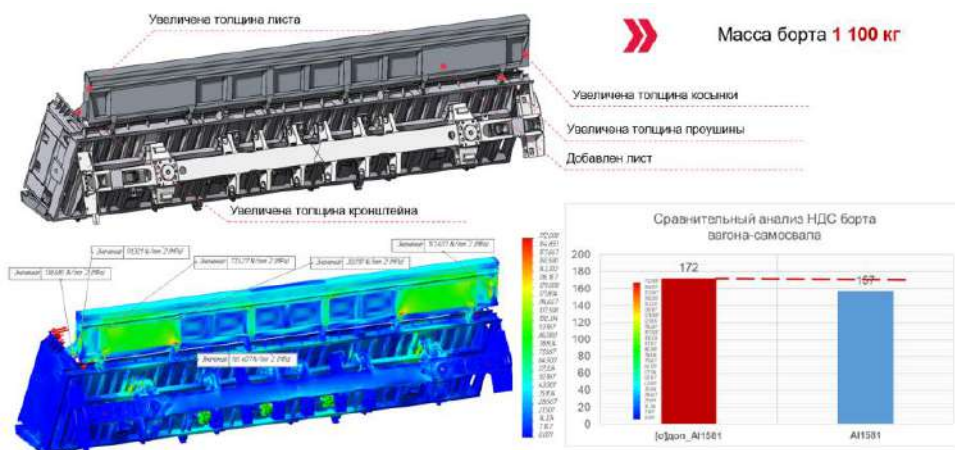


Рисунок 3 – Анализ напряженно-деформированного состояния оптимизированной конструкции

Таким образом, проведенные исследования по перспективам увеличения грузоподъемности вагонов-самосвалов, позволили сделать выводы, что перспективным направлением является применение инновационного Al сплава 1581 отечественного производства, который в сочетании с оптимизированной конструкцией позволит снизить общий центр тяжести вагона и, как следствие, снизить риск опрокидывания. При этом также произойдет снижение тары вагона, которое приведет к увеличению грузоподъемности и общей грузоподъемности в составе поезда +228 т. Также необходима дальнейшая оптимизация конструкции кузова с возможным применением Al сплава в других элементах и дополнительное проведение работ по методам и технологиям ремонта в условиях существующей сервисной базы (ВРП, ВРК).

#### Список литературы

- 1 ГОСТ 33211–2014. Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам. – Введ. 2014-12-22. – М. : Стандартинформ, 2016. – 54 с.
- 2 Расчет на прочность конструкции котла вагона-цистерны с использованием программных средств проектирования SOLIDWORKS Simulation / А. В. Григорьев [и др.] // САПР и графика. – 2019. – № 1. – С. 56–59.
- 3 Испытания на ресурс при соударении вагона-цистерны для метанола модели 15-1264 / А. В. Григорьев [и др.] // Подвижной состав XXI века: идеи, требования, проекты : материалы XIV Междунар. науч.-техн. конф., Санкт-Петербург, 2019 г. – СПб. : ФГБОУ ВО ПГУПС, 2019. – С. 142–146.

УДК 629.424.2-62.3

### УСТРОЙСТВО ОБДУВА РЕШЕТКИ ВОЗДУХОЗАБОРНИКА ДИЗЕЛЬ-ПОЕЗДА ДП-1

Ю. Г. САМОДУМ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Е. Н. КАЛЕНЬКО

Белорусская железная дорога, г. Калинковичи

Одним из этапов обновления парка моторвагонного подвижного состава и развития перевозок пассажиров в региональных линиях экономкласса на Белорусской железной дороге стало приобретение в

2012 году дизель-поездов серии ДП-1 производства компании «PESA Bydgoszcz SA», разработанных совместно с ОАО «Белкоммунмаш» при участии ОАО «Минский вагоноремонтный завод».

С поступлением новой техники перед локомотивными депо Белорусской железной дороги встал вопрос организации ее эксплуатации, технического обслуживания и ремонта. За истекший период пробег дизель-поездов серии ДП-1 составил более 1 млн км. В результате депо, эксплуатирующие и обслуживающие эту серию дизель-поездов, приобрели опыт и выявили их конструктивные недостатки.

Один из недостатков был выявлен в работе системы воздухообеспечения в зимний период. Система воздухообеспечения дизель-поезда одноступенчатая с газотурбинным наддувом и охлаждением наддувочного воздуха. В состав системы входят воздухозаборник (сетчатый фильтр), трубопровод, воздушный фильтр со сменным фильтрующим элементом, воздухоохладитель, а также турбокомпрессор. Воздухозаборник размещен на небольшой высоте от уровня головки рельса, что существенно ухудшает условия работы и сокращает ресурс сменного элемента воздушного фильтра.

В процессе работы силовой установки дизель-поезда происходит загрязнение фильтрующего элемента воздушного фильтра, что приводит к увеличению аэродинамического сопротивления системы воздухообеспечения, вызывает уменьшение давления наддува, ухудшение процесса сгорания топлива в цилиндрах и, как следствие, снижение мощности дизеля.

Воздух, окружающий дизель-поезд во время движения, содержит во взвешенном состоянии большое количество разнообразных по природе и различных по размерам твердых частиц. При движении дизель-поезда с большой скоростью образуется завихрение воздуха, в котором присутствуют абразивные частицы, металлическая пыль и другие компоненты. В зимнее время вокруг движущегося поезда дополнительно формируется облако из частиц льда и снега, что приводит к засорению снегом воздухозаборной решетки и последующему попаданию в бумажный фильтрующий элемент вместе со всасываемым воздухом. Это значительно снижает пропускную способность фильтра и не дает развить силовой установке требуемую мощность. При снегопадах и низких температурах воздуха локомотивная бригада вынуждена через каждые 100–120 км производить очистку сетки воздухозаборника (по данным локомотивного депо Калинковичи).

Для предотвращения засорения фильтра и образования наледи на воздухозаборной решетке предлагается с определенной периодичностью продувать сжатым воздухом решетку воздухозаборника в направлении, обратном движению воздуха при всасывании. Это можно реализовать, установив в районе воздухозаборной решетки эжекторы для продувки решетки с целью удаления пыли и предотвращения образования снежной наледи.

Для минимизации изменений в конструкции системы воздухообеспечения предлагается обеспечить подачу воздуха в эжекторы при включении системы гребнесмазывания. В данной системе подача смазки форсунками происходит по команде блока управления путем подачи питания на катушки электропневматических вентилях для первой колесной пары при движении вперед или для четвертой колесной пары при движении назад. При этом сжатый воздух поступает к пневматическому насосу. В этот момент воздух будет подаваться через эжектор и на воздухозаборную решетку.

Конструкция эжектора для очистки воздухозаборника дизель-поезда ДП-1 представлена на рисунке 1.

Эжектор не имеет подвижных деталей, за счет чего достигается достаточная надежность. Определяющей деталью эжектора является сопло 5, от параметров которого зависит расход и скорость потока воздуха. Сопло прижимается к штуцеру через уплотнительную прокладку 3 при помощи гайки 4, наворачиваемой на штуцер 1. От ослабления затяжки гайка 4 стопорится контргайкой 2.

Расчет показал, что для решения поставленной задачи достаточный диаметр сопла эжектора для очистки воздухозаборника дизель-поезда ДП1 составит 4,5 мм.

Для качественной очистки решетки воздухозаборника дизель-поезда предлагается установить два эжектора под прямым углом к поверхности решетки воздухозаборника. Расстояние от эжекторов до решетки воздухозаборника не будет превышать 60 мм. При таком расположении не меняется конструкция воздухопроводов дизель-поезда, все штатные крепления остаются на прежних местах.

Схема расположения эжектора 1 в бункере 3 воздухозаборника 4 дизель-поезда ДП-1 представлена на рисунке 2.

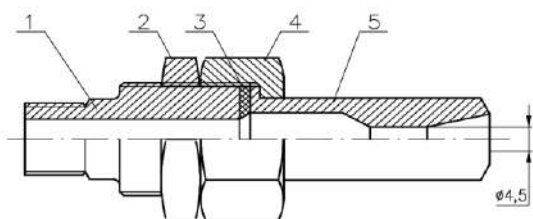


Рисунок 1 – Конструкция эжектора для очистки воздухозаборника дизель-поезда ДП-1

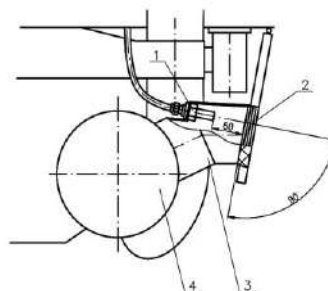


Рисунок 2 – Расположение эжектора в бункере воздухозаборника

Предлагаемый способ очистки воздухозаборника позволит автоматизировать процесс удаления пыли и снега с решеток воздухозаборника посредством регулярной продувки сжатым воздухом синхронно с работой системы гребнесмазывания дизель-поезда.

УДК 629.463.67

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ МАКЕТОВ ШКВОРНЕВОГО УЗЛА ВАГОНА-САМОСВАЛА МОДЕЛИ 31-675

С. Л. САМОШКИН, А. А. ХОМЕНКО

АО НО «Тверской институт вагоностроения» (АО НО «ТИВ»), Российская Федерация

А. Е. АФАНАСЬЕВ

ООО «Испытательный центр подвижного состава», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Проведены испытания макетов шкворневого узла вагона-самосвала модели 31-675 с определением напряжений в конструкции, прогибов образцов при действии испытательных нагрузок и оценке ресурса макетов при циклическом нагружении.

Одним из ответственных узлов вагона-самосвала является шкворневой узел. Общество с ограниченной ответственностью «Вагонтрейд Плюс» разработало конструкцию шкворневого узла вагонов-самосвалов модели 31-675. Для определения прочности и ресурса работы образцов шкворневого узла необходимо проведение статических и ресурсных испытаний.

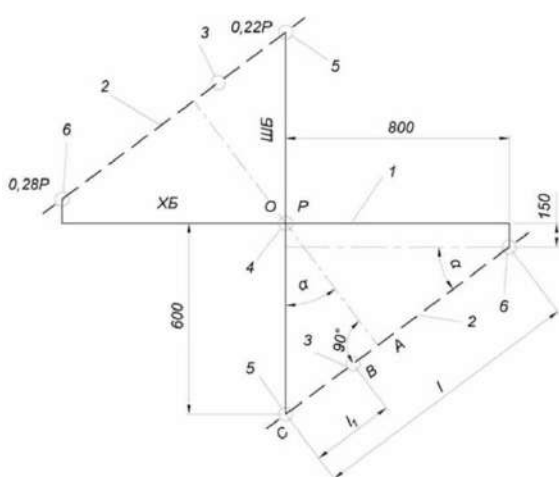


Рисунок 1 – Схема нагружения шкворневого узла

При создании конструкции вагона-самосвала и его узлов основное внимание уделяется вопросам прочности элементов конструкции при действии статических и циклических нагрузок при одновременном снижении массы и затрат на их изготовление.

Испытания проводились испытательным центром продукции вагоностроения АО НО «Тверской институт вагоностроения» (ИЦ АО НО «ТИВ»)

Испытания образцов шкворневого узла проводились с учетом технического задания к договору на проведение испытаний, разработанного совместно с ООО «ИЦПС», и требований РД 24.050.37-95 [1]. Место проведения испытаний – участок стендовых испытаний АО НО «ТИВ». Испытаниям подвергались четыре образца шкворневого узла. Схема нагружения образца шкворневого узла приведена на рисунке 1.

Для испытаний образцов шкворневого узла использовалась испытательная машина ПЦА-100/2, включающая в себя гидропульсационную установку и силовые гидроцилиндры с номинальным усилием 1,0 МН. Для регистрации микродеформаций (напряжений) в испытываемых образцах от

действия статической нагрузки использовалась микропроцессорная тензометрическая система ММТС-64.01 и тензорезисторы с базой 10 мм. Величина прогиба определялась с помощью индуктивного датчика перемещений. Частота нагружения при испытаниях образцов шкворневого узла составляла 4 Гц. Режим динамического нагружения контролировался с помощью силоизмерительных тензорезисторных датчиков СБА и силоизмерительных устройств испытательной машины, установленных на испытуемом образце и подключенных к измерительному усилителю Spider 8. Количество циклов нагружения определялось по счетчику, установленному на испытательной машине. Поиск усталостных трещин осуществлялся не реже одного раза в час методом «керосиновой пробы».

Испытания образцов шкворневого узла проводились в два этапа. На первом этапе определялись напряжения в конструкции и прогибы узла от действия испытательной нагрузки, которая изменялась ступенями по 100 кН до максимальной величины 700 кН, на втором определялась наработка до появления трещин и потери несущей способности образцов при заданной циклической нагрузке. В соответствии с заданием средняя нагрузка цикла составляла  $P_m = 414$  кН (42,2 тс), а амплитуда цикла нагружения –  $P_a = 257,6$  кН (26,26 тс).

Каждый образец испытывался на заданном режиме нагружения сначала до достижения контрольного числа циклов нагружения  $N_1 = 1,613 \cdot 10^6$ . В случае достижения наработки  $N = 1,613 \cdot 10^6$  циклов на первой ступени, по согласованию с Заказчиком, проводилось увеличение амплитуды нагружения на 10 %, на каждой следующей ступени и наработкой  $0,25 \cdot 10^6$  циклов нагружения.

Анализ величин напряжений, возникающих в образцах шкворневого узла показал, что: максимальные напряжения растяжения от нагрузки 700 кН составили от 37 до 68 МПа, напряжения сжатия – от 109 до 128 МПа. Средняя величина прогиба образцов шкворневого узла при нагрузке 700 кН составила 2,5 мм.

Результаты ресурсных испытаний образцов шкворневого узла приводились в таблицах, в которых указывались номера образцов, режимы нагружения, количество циклов нагружения до появления трещин и разрушения или остановки испытаний, зоны появления трещин. Трещины были обнаружены на всех образцах, но развитие их было незначительным, и они не привели к потере несущей способности. Основными местами образования трещин явились сварные швы в углах соединения вертикальных листов шкворневой и хребтовой балок в зоне овального технологического окна, по шву приварки двутавра хребтовой балки к усиливающему листу, по шву приварки накладки под пятником к двутавру хребтовой балки.

Анализ результатов ресурсных испытаний образцов шкворневого узла вагонов-самосвалов моделей 31-675 показал, что все образцы выдержали без потери несущей способности по  $2,5 \cdot 10^6$  циклов нагружения, что в 1,5 раза превышает контрольное количество циклов, определенных техническим заданием к договору на проведение работ. Следовательно, предлагаемая конструкция шкворневого узла может быть рекомендована для вагона-самосвала модели 31-675.



Рисунок 2 – Общий вид установки шкворневого узла в испытательной машине

#### Список литературы

1 РД 24.050.37-95. Вагоны грузовые и пассажирские. Методы испытаний на прочность и ходовые качества. – ГосНИИВ, 1995. – 102 с.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРОФИЛЯ ПУТИ НА ПРОДОЛЬНЫЕ СИЛЫ В ПОЕЗДАХ***П. А. САХАРОВ**Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Безопасность движения поездов зависит от многих факторов. К основным причинам нарушения безопасности движения поездов можно отнести значительные продольно-динамические силы, возникающие в межвагонных соединениях в процессе движения. Они способны привести к выжиманию вагонов из рельсовой колеи при торможении, выдергиванию их при действии силы тяги, расшивке или сдвигу железнодорожного пути. Движение через перелом продольного профиля пути, то есть по элементам с разной крутизной уклона, приводит к сжатию или растяжению поезда. Сжимающие силы возникают при положительном переломе профиля пути (при движении с элемента меньшей крутизной уклона на элемент с большей крутизной, например, с площадки на подъем или со спуска на площадку), а растягивающие – при отрицательном значении разности уклонов. Указанные сжимающие (растягивающие) силы добавляются к силам управляющего воздействия (торможения или тяги), и их суммарная величина может достигать небезопасных для движения значений. Требуется оценка влияния профиля пути на величину и распределение продольных сил в поездах. Особенно актуален данный вопрос для обеспечения безопасности грузовых поездов большой массы и длины.

Разработана компьютерная модель [1], позволяющая определить значения продольных сил в межвагонных соединениях поездов при различных характеристиках железнодорожного подвижного состава и продольного профиля пути. С ее помощью выполнен ряд исследований, показавших следующее:

- значения продольных сил, возникающих в межвагонных соединениях поезда при движении в режиме выбега с площадки на спуск крутизной  $i$  и с площадки на подъем той же крутизны по модулю практически не отличаются;

- значения сил определяются разностью уклонов смежных элементов и не зависят от уклона элемента, с которого начинается движение поезда [1, 2].

Данные выводы позволяют существенно упростить дальнейшую оценку влияния профиля пути на продольную динамику поездов, так как показывают достаточность исследования только одного из вариантов движения: с площадки на подъем или с площадки на спуск различной крутизны. Получаемые закономерности будут справедливы для любых сочетаний уклонов смежных элементов [1].

Рассмотрено движение однородного по массе поезда через положительный перелом профиля пути (с площадки на подъем) в режиме выбега при различных значениях разности уклонов. Состав поезда сформирован из 100 вагонов массой по 100 т и длиной по осям автосцепок 10 м (такая длина принята для удобства анализа результатов расчета). Средняя скорость движения через перелом профиля – 72 км/ч, а радиус сопрягающей кривой – 15 км. Все вагоны в поезде оборудованы поглощающими аппаратами с одинаковыми характеристиками, а зазоры в автосцепных устройствах отсутствуют (в грузовом движении это соответствует случаю предварительно сжатого поезда). Для рассмотренных переломов профиля выполнено по четыре варианта расчета, в каждом из которых поезд отличается только коэффициентом жесткости  $C$  поглощающих аппаратов. Графики изменения максимальных продольных сил, возникающих в поездах в процессе движения через переломы профиля пути, представлены на рисунке 1.

Видно, что уровень максимальных сил в межвагонных соединениях поездов пропорционален величине перелома продольного профиля пути. Наибольшие значения продольных сил наблюдаются при  $C = 10$  МН/м. Они достигают 140, 270 и 400 кН при движении через переломы профиля 4, 8 и 13 ‰ соответственно. При коэффициентах жесткости поглощающих аппаратов 20–80 МН/м максимальные силы меньше на 20 % и на одинаковых переломах профиля почти одинаковы у всех поездов, хотя возникают в разные моменты времени от начала движения через перелом. У поездов с  $C = 10$  МН/м наблюдается один максимум продольных сил, при коэффициентах жесткости 20 и 40 МН/м – два, при 80 МН/м – до трех. Это связано с соотношением периодов собственных продольных колебаний поездов и временем влияния внешней силы, действие которой начинается в момент начала движения локомотива по сопрягающей смежные элементы профиля кривой, а заканчивается при выходе последнего вагона из нее. В рассмотренном случае время действия внешней силы составляет около 52–62 с. За это время поезд, движущийся со средней скоростью около 20 м/с

проходит путь, равный сумме длин поезда и сопрягающих переломы профиля кривых, составляющих 1036 и 60–195 м соответственно.

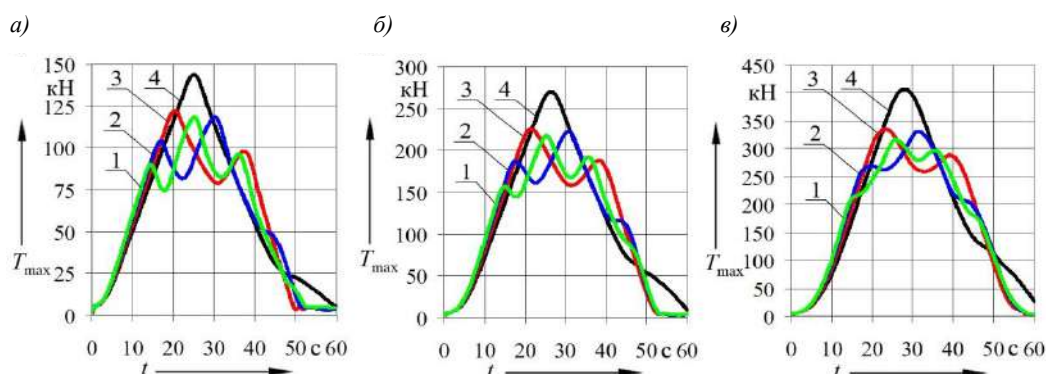


Рисунок 1 – Графики изменения максимальных продольных сил в поезде, движущемся в режиме выбега через перелом профиля 4 ‰ (а), 8 ‰ (б) и 13 ‰ (в) при коэффициенте жесткости поглощающих аппаратов: 1 – 80 МН/м; 2 – 40 МН/м; 3 – 20 МН/м; 4 – 10 МН/м

Половину указанного времени (26–31 с) действие внешних сил на поезд плавно увеличивается, а вторую половину – снижает. То есть время роста силы, а затем и время ее снижения для поезда с  $C = 10$  МН/м близки к периоду его собственных продольных колебаний (около 29 с). Это и приводит к наличию только одного максимума продольных сил. В случае, когда время нарастания внешней силы больше периода собственных продольных колебаний поезда (при  $C = 20 \dots 80$  МН/м), наблюдается более одного максимума сил. Это также влияет на распределение максимальных сил по длине поезда, что видно на рисунке 2 (где  $n_i$  – порядковый номер междвагонного соединения).

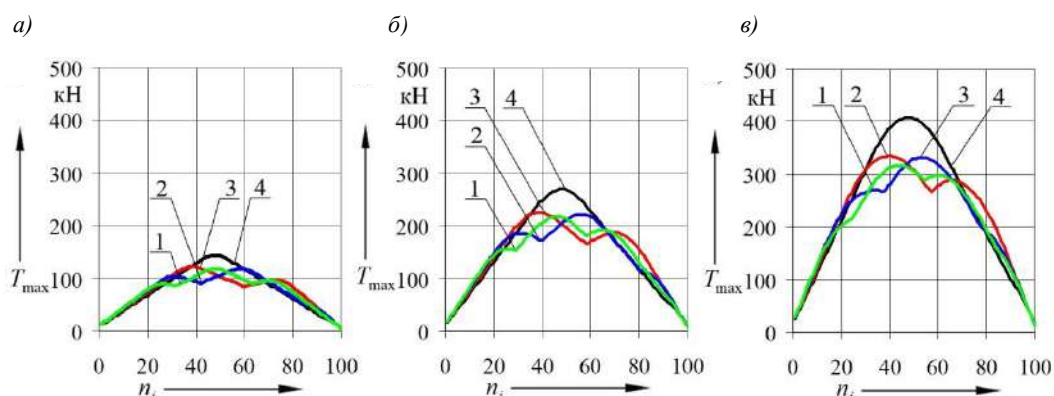


Рисунок 2 – Графики распределения максимальных продольных сил в поезде, движущемся в режиме выбега через перелом профиля 4 ‰ (а), 8 ‰ (б) и 13 ‰ (в) при коэффициенте жесткости поглощающих аппаратов: 1 – 80 МН/м; 2 – 40 МН/м; 3 – 20 МН/м; 4 – 10 МН/м

Таким образом, при движении однородного по массе поезда через перелом профиля пути в режиме выбега максимальные продольные силы возникают в центральной части поезда. Они формируются под действием двух факторов: внешнего возмущающего воздействия и внутренних сил, возникающих в процессе свободных колебаний. Внешние силы зависят от величины перелома профиля пути, массы поезда, скорости движения, а также от радиуса сопрягающей смежные элементы профиля кривой. Формирование внутренних сил определяется числом и массой вагонов, характеристиками междвагонных связей. Учет влияния продольного профиля пути на продольную динамику особенно важен для поездов большой массы и длины. При движении через перелом профиля максимальные продольные силы почти линейно увеличиваются с ростом массы состава и могут достигать 300–400 кН в поездах массой до 10000 т на переломах до 13 ‰. Действие таких сил небезопасно при наличии порожних вагонов в составе и движении по кривым участкам [1].

#### Список литературы

- 1 Сахаров, П. А. Повышение безопасности движения поезда при использовании электродинамического торможения : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.07 / П. А. Сахаров ; Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель, 2022. – 23 с.
- 2 Shimanovsky, A. Investigation of the longitudinal track profile influence on the forces acting in the train inter-car connections using the MSC.ADAMS soft-ware / A. Shimanovsky, P. Sakharau // CEUR Workshop Proceedings. – 2019. – Vol. 2353. – P. 555–569.



## ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПОЖАРНЫХ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ ПУТЕМ НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ С НИЗКОЙ ПОВЕРХНОСТНОЙ ЭНЕРГИЕЙ

*А. З. СКОРОХОД*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

*В. И. ЖУКАЛОВ*

*Филиал «Институт профессионального образования» Университета гражданской защиты МЧС Беларуси, г. Гомель*

Основой повышения эффективности пожарных центробежных насосов является совершенствование гидродинамических качеств проточной части, направленное на снижение потерь при передаче механической энергии рабочему потоку.

Реализация такого подхода возможна путем изменения свойств сопрягаемых поверхностей центробежных насосов покрытиями, с низкой поверхностной энергией на основе полиолефинов или фторопластов, которые создают эффекты гидрофобности, повышая одновременно надежность при эксплуатации.

Работа центробежного насоса совершается, как правило, при постоянных температуре и давлении и существенно зависит от значений энтропии, которая является мерой убыли энергии Гиббса [1]. Рост энтропии обусловлен появлением диссипативных сил, связанных с процессами трения на границе раздела «жидкость – твердое тело».

С другой стороны, опытами И. И. Никурадзе [2] установлено, что коэффициент гидравлического трения, в некоторых случаях, зависит от числа Рейнольдса и от безразмерного геометрического фактора – относительной шероховатости. Область, в которой лежит коэффициент гидравлического трения при работе центробежного насоса, не зависит от числа Рейнольдса и определяется шероховатостью ограничивающих поверхностей и квадратом скорости движущейся жидкости. Известно, что увеличение чистоты поверхности каналов рабочих колес с Ra 12,5 до Ra 8 без каких-либо конструктивных изменений приводит к повышению КПД насосов на 3–5 % [3], поскольку трение в вихрях и трение жидкости о твердые поверхности внутри насоса приводит к снижению его напора. Это явление учитывается гидравлическим КПД.

Рассмотрим математическую модель для расчета динамической скорости трения, возникающего на твердых стенках в зависимости от скорости движения жидкости. Как известно [4], пограничный слой образуется на границе раздела «твердое тело – жидкость» при движении жидкости и оказывает влияние на гидродинамическое сопротивление при движении среды относительно твердого тела, перенос массы и тепла. Толщину пограничного слоя для случая безотрывного обтекания плоской пластины, можно приближенно определить, полагая, что внутри пограничного слоя силы инерции равны силам трения. Сила инерции, отнесенная к единице объема,

$$F_{\text{ин}} = \rho v \cdot \frac{\partial v}{\partial x}. \quad (1)$$

Для пластины длиной  $L$  величина  $\frac{\partial v}{\partial x}$  пропорциональна  $U/L$ , где  $U$  есть скорость внешнего течения. Следовательно, сила инерции имеет величину порядка  $\rho U^2/L$ . С другой стороны, сила трения, отнесенная к единице объема,  $\frac{\partial \tau}{\partial y}$  и при условии, что течение ламинарное,

$$F_{\text{тр}} = \mu \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial y^2}. \quad (2)$$

Градиент скорости в направлении, перпендикулярном к стенке, т. е. производная  $\frac{\partial u}{\partial y}$ , имеет величину порядка  $U/\delta$ ; поэтому сила трения, отнесенная к единице объема, пропорциональна  $\mu U/\delta^2$ . Приравняв силу трения силе инерции и решив уравнение относительно  $\delta$ , получим соотношение

$$\delta = 5 \sqrt{\frac{\nu L}{u}} = \frac{5L}{\sqrt{Re}}, \quad (3)$$

где  $\nu$  – кинематическая вязкость жидкости,  $\text{м}^2/\text{с}$ ; 5 – коэффициент пропорциональности Блазиуса для ламинарного подслоя [5].

Из равенства (3) следует, что относительная толщина пограничного слоя  $\delta / L$  уменьшается при увеличении числа  $Re$  пропорционально  $(1 / Re)^{1/2}$ , следовательно, при переходе к жидкости, лишенной трения, т. е. при переходе к  $Re \rightarrow \infty$ , пограничный слой исчезает. Очевидно, что толщина пограничного слоя тем меньше, чем меньше коэффициент вязкости жидкости. Если разделить  $\delta$  на длину пластины  $L$ , то получим безразмерную толщину пограничного слоя,  $\delta \sim 5/(Re)^{0.5}$ . Кроме того, на толщину пограничного слоя существенно влияет гидрофобность на границе раздела фаз.

Оценим касательное напряжение  $\tau_0$  на стенке пластины. На основании закона Ньютона имеем:  $\tau_0 = \mu \left( \frac{du}{dy} \right)_0$ , где индекс 0 указывает значение на стенке, где  $y = 0$ ,  $\mu$  – коэффициент динамической вязкости, Па·с. На основании сказанного выше получим

$$\tau_0 = \frac{\mu U}{\delta}. \quad (4)$$

Подставив в (4) вместо  $\delta$  его значение из (3), получим

$$\tau \sim \mu U \sqrt{\frac{\rho U}{\mu L}} = \sqrt{\frac{\mu \rho U^3}{L}}. \quad (5)$$

Следовательно, касательное напряжение на стенке, возникающее вследствие трения, пропорционально скорости набегающего потока  $U$  в степени  $3/2$ . Разделив касательное напряжение на  $\rho U^2$ , получим значение безразмерного касательного напряжения на стенке

$$\frac{\tau_0}{\rho U^2} \sim \sqrt{\frac{\mu}{\rho U L}} = \sqrt{\frac{\nu}{U L}} = \frac{1}{\sqrt{Re}}. \quad (7)$$

Таким образом, касательное напряжение обратно пропорционально зависит от числа Рейнольдса. Отсюда следует, что, уменьшая коэффициент трения сопрягаемых поверхностей, можно увеличить полезную мощность насоса.

#### Список литературы

- 1 Ландау, Л. Д. Статистическая физика : учеб. пособие для вузов. Т. 5. Ч. 1 / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. – М. : Физматлит, 2010. – 616 с.
- 2 Абросимов, Ю. Г. Гидравлика и противопожарное водоснабжение : учеб. / Ю. Г. Абросимов, А. И. Иванов, А. А. Качалов. – М. : Академия ГПС МЧС России, 2003. – С. 82.
- 3 Проектирование и исследование характеристик степеней динамических насосов / В. Н. Ивановский [и др.]. – М. : РГУ нефти и газа имени И. М. Губкина, 2015. – 104 с.
- 4 Шлихтинг, Г. Теория пограничного слоя : пер. с нем. / Г. Шлихтинг. – М. : Наука, 1974. – 218 с.
- 5 Основы механики жидкости : учеб. пособие / В. Н. Белозерцев [и др.]. – Самара : Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2006. – 324 с.

УДК 629.4.015

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИИ КУЗОВА ВАГОНА КОЛЕИ 1435 мм С УЧЕТОМ ВОЗДЕЙСТВИЯ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ

*Е. В. СОРОКИНА, С. Д. КОРШУНОВ*

*АО НО «Тверской институт вагоностроения» (АО НО «ТИВ»), Российская Федерация*

С 2017 года ОАО «Тверской вагоностроительный завод» реализует проект изготовления пассажирских вагонов модели 61-4514 колеи 1435 мм.

Накопленный опыт эксплуатации вагонов на железных дорогах Арабской Республики Египет [1, 3] позволил установить, что необходимо учитывать воздействие высокой температуры на обшивку крыши.

Особенностями южного климата наряду с довольно высокой температурой окружающей среды, в которой эксплуатируются вагоны, являются ветра. Дуют они практически круглый год, изменяя лишь свою интенсивность и направление. Следствием этого является постоянная ветровая нагрузка, действующая на подвижной состав. Примечательно, что при преобладании тропического пустынного климата, который характеризуется очень высокими дневными температурами летом (столбик термометра местами может приближаться к 50-градусной отметке). Суточные перепады температур достаточно велики. В таких климатических условиях пассажирские вагоны подвергаются воздействию как избыточной солнечной радиации, так и значительной ветровой нагрузке.

Для всестороннего изучения этой проблемы разработчиками конструкторской документации и изготовителями подвижного состава были подготовлены документы: «Мероприятия по снижению термических деформаций крыш вагонов, вызванных солнечной радиацией» и «Этапы реализации мероприятий по снижению термических деформаций крыш вагонов, вызванных солнечной радиацией».

В рамках работ, предусмотренных данными документами, были разработаны программа и методика «Проведение испытаний по имитации облучения избыточной солнечной радиацией крыши кузова вагона модели 61-4465 и ремонтных нагрузок» и реализована при испытании вагона модели 61-4514 [2] колеи 1435 мм. Для оценки напряжённо-деформированного состояния кузова вагона при его облучении избыточной солнечной радиацией и определения возможности появления местной деформации элементов обшивки крыши методика предусматривала проведение испытаний при различных режимах нагрева и нагружения, а также совместного воздействия нормативных ремонтных нагрузок и теплового воздействия [2, 4].

В связи с тем, что тепловая нагрузка при экстремальном воздействии избыточной солнечной радиации является важным дополнительным фактором, влияющим на напряжённо-деформированное состояние кузова, необходимо экспериментально подтвердить условия возникновения данной деформации для поиска путей решения проблемы.

Испытания проводились на кузове опытного вагона модели 61-4514 (далее – вагона). Кузов был загружен мерными грузами до веса тары плюс вес двух тележек с учетом требований EN 12663-1.

Перед началом проведения испытаний были определены толщины обшивки скатов и средней части крыши в соответствии с картой замеров (рисунок 1).

Погибь листов обшивки крыши была проверена до начала испытаний и после нагрева дополнительно снаружи кузова на каждом погонном метре длины, база измерений – 1500 мм.

Целями испытаний при проведении работ по имитации нагрева крыши кузова вагона модели 61-4514 солнечными лучами и воздействию ремонтных нагрузок являлись:

- определение влияния избыточного теплового воздействия на деформацию обшивки крыши;
- определение совместного влияния нормативных ремонтных нагрузок и теплового воздействия солнечной радиации на деформацию обшивки крыши.

Нагрев до предельной (в соответствии с программой и методикой – 95 °С) температуры был осуществлён за 50 минут.

Реализованы ремонтные нагрузки при каждом температурном режиме:

- подъемка кузова с «тележками» на четырех домкратах под штатные места;
- подъемка кузова с «тележками» на трех домкратах по диагонали под штатные места.
- подъемка кузова с «тележками» на двух домкратах под буферный брус.

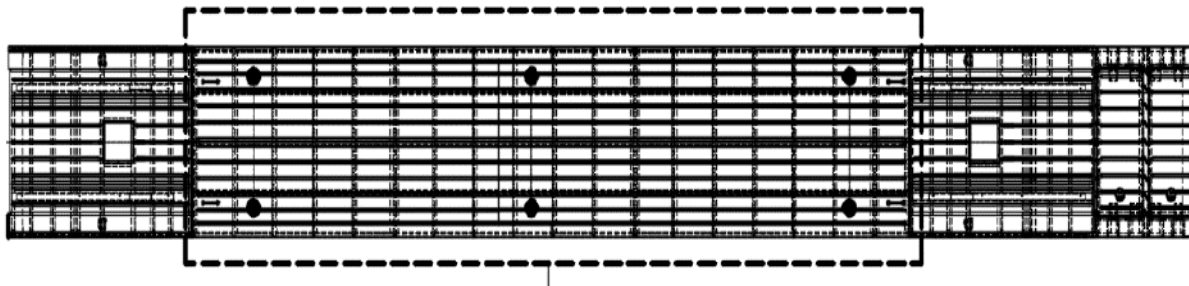


Рисунок 1 – Карта замеров толщины обшивки крыши

После проведения эксперимента была определена деформация (перемещения) листов обшивки крыши. Значения величин перемещений из плоскости при нагреве с обеих сторон кузова примерно одинаковые. При вывешивании вагона по диагоналям имеет место упругая деформация элементов крыши, величиной порядка 1 мм, которая восстанавливается к исходному состоянию при постановке кузова на четыре опоры.

Результатами испытаний, а также визуальным контролем установлено, что при 18–25 °С все варианты подъемов кузова не вызывают потери устойчивости и остаточной деформаций несущей металлоконструкции. Нагрев до 95 °С может вызвать остаточные деформации гофров крыши.

Это объясняется тем, что напряжения от нагрева складываются с имеющимися внутренними напряжениями.

На основании полученных результатов для повышения устойчивости изготовителю рекомендованы следующие мероприятия:

- расчет на устойчивость продольных элементов жесткости крыши необходимо проводить с учетом возможности возникновения температурных напряжений;
- применение для конструкции крыши материала с меньшим коэффициентом линейного расширения и большим модулем упругости;
- повышение момента инерции элементов продольного набора крыши за счет увеличения их количества и/или применения подкрепляющих элементов большей высоты;
- уменьшение длины пролетов дуг крыши до 680 мм и меньше для существующего гофра;
- окрашивание крыши в белый или серебристо-белый цвет.

#### Список литературы

1 **Сорокина, Е. В.** Результаты испытаний вагона модели 61-4514 на путях Египетской национальной железной дороги при опытном пробеге / Е. В. Сорокина, К. П. Гурьянов, В. А. Грибин // Вестник РГУПС. – 2021. – № 4. – С. 10–14.

2 Испытания кузова на прочность и устойчивость от воздействия нормативных ремонтных нагрузок при облучении солнечной радиацией крыши / С. Д. Коршунов [и др.] : сб. науч. тр. VIII Всерос. науч.-практ. конф. – Брянск : БГТУ, 2019. – С. 72–75.

3 **Гурьянов, К. П.** Предварительные результаты испытаний опытного пробега вагона модели 61-4514.01 на путях Египетской национальной железной дороги / К. П. Гурьянов, Е. В. Сорокина, В. А. Грибин // Проблемы безопасности на транспорте : материалы X Междунар. науч.-практ. конф. (г. Гомель, 26–27 ноября, 2020 г.) : в 5 ч. Ч. 5 / под общ. ред. Ю. И. Кулаженко. – Гомель : БелГУТ, 2020. – С. 45–47.

4 Исследование влияния избыточной солнечной радиации и боковой ветровой нагрузки на оценку прочности кузова двухэтажного вагона / Е. В. Сорокина // Транспортное машиностроение. – 2023. – № 7 (19). – С. 77–85. – ISSN 2782-5957 (print).

УДК 006.015.8: 625.1

## **ОБОСНОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ БЕЗОПАСНОСТИ ИННОВАЦИОННОГО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ПРИ ПОДТВЕРЖДЕНИИ СООТВЕТСТВИЯ**

*З. Ю. ТРЕТЬЯК, В. С. ЗАЙЧИК, Н. М. ПЕРЕКРЕСТОВА, Е. М. АЛЬХОВСКАЯ  
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Обоснование безопасности является документом о безопасности продукции, которое заявитель при оценке соответствия (изготовитель, продавец (импортер) или уполномоченное изготовителем лицо) предоставляет в составе комплекта доказательных материалов в аккредитованный орган по сертификации для прохождения процедуры подтверждения соответствия железнодорожного подвижного состава в случае неприменения или частичного применения стандартов, включенных в перечень стандартов, в результате применения которых обеспечивается соблюдение требований технического регламента ТР ТС 001/2011 «О безопасности железнодорожного подвижного состава». Обоснование безопасности разрабатывается в соответствии с требованиями ГОСТ 34008-2016 «Железнодорожная техника. Правила подготовки обоснования безопасности» и содержит анализ риска, а также сведения из конструкторской, эксплуатационной, технологической документации о минимально необходимых мерах по обеспечению безопасности, сопровождающий продукцию на всех стадиях жизненного цикла и дополняемый сведениями о результатах оценки рисков на стадии эксплуатации после проведения ремонта.

Обоснование безопасности разрабатывается, например, в случае изготовления инновационной продукции, для которой отсутствуют стандартизованные требования безопасности и методы ее испытаний, продукции, изготавливаемой до выхода стандартов с новыми требованиями, когда на практике для выполнения новых требований к продукции требуются существенные изменения в технологическом процессе изготовления, а это не представляется возможным, или в случае импортируемой продукции, отдельные показатели которой не соответствуют стандартизованным нормам.

Обоснование безопасности в общем случае должно включать следующие элементы:

- содержание;
- основание для разработки обоснования безопасности;
- общее описание железнодорожной техники;
- основные параметры и характеристики (свойства) железнодорожной техники;
- общие принципы обеспечения безопасности железнодорожной техники;
- отчет об оценке риска;
- информация о соответствии железнодорожной техники требованиям технического регламента;
- обоснование безопасности составных частей (при необходимости);
- заключение;
- приложения;
- список использованных источников.

Общее содержание элементов обоснования безопасности приведено в таблице 1.

Таблица 1 – Элементы обоснования безопасности и их содержание

Элементы обоснования безопасности	Общее содержание элемента
Общее описание подвижного состава и его составных частей	Идентификационные данные подвижного состава и его составных частей (наименование по основному конструкторскому документу, обозначение типа, марки, модели подвижного состава и его составных частей, версия программного Обеспечения, заводской (серийный) номер). Назначение и область применения. Условия эксплуатации. Описание принципов построения (устройства) и работы
Основные параметры и характеристики (свойства) подвижного состава и его составных частей	Основные параметры, свойства, характеризующие тип (вид, марку, модель) подвижного состава и его составных частей. Показатели стойкости подвижного состава и его составных частей к внешним воздействиям, в том числе показатели стойкости к механическим, климатическим, специальным воздействиям. Параметры геометрической, электромагнитной, электрической, прочностной, программной, технологической, технической, функциональной и других видов совместимости с другими объектами железнодорожного транспорта. Показатели опасного и вредного воздействия железнодорожного подвижного состава и его составных частей на людей и окружающую среду, характеризующие его биологическую, механическую, пожарную, термическую, функциональную, химическую, электрическую и санитарно-эпидемиологическую, экологическую безопасность, безопасность излучений, взрывобезопасность, электромагнитную совместимость в части обеспечения безопасности работы приборов и оборудования, а также другие виды безопасности, присущие конкретному железнодорожному подвижному составу и его составным частям. Изображение подвижного состава и его составных частей с габаритными, установочными и присоединительными размерами
Общие принципы обеспечения безопасности подвижного состава и его составных частей	Описание общих принципов, заложенных в конструкцию подвижного состава и его составных частей при проектировании и изготовлении, с указанием их соответствия стандартам. Описание общих принципов обеспечения безопасности на стадиях ввода в эксплуатацию, эксплуатации, технического обслуживания и ремонта, утилизации. Сведения об отступлениях от требований безопасности, установленных в стандартах, и обоснование необходимости и достаточности принятых мер, компенсирующих эти отступления, или недостающие требования безопасности (для инновационного подвижного состава и его составных частей). Сведения о выполненных расчетах, проведенных испытаниях, подтверждающих реализацию данных принципов и обеспечение безопасности. Перечень видов возможных отказов подвижного состава и его составных частей в процессе эксплуатации (в том числе с указанием, какие из них являются опасными), а также критерии предельных состояний и отказов и способы устранения отказов

Окончание таблицы 1

Элементы обоснования безопасности	Общее содержание элемента
Оценка риска	Анализ риска (идентификация опасностей при эксплуатации, расчет степени риска для каждой опасности). Сравнение расчетного значения риска с допустимым. Остаточный риск после принятия разработчиком защитных мер. Указание опасных зон для операций. Вероятность возникновения опасного события (частота и продолжительность воздействия опасности, технические возможности предотвращения или ограничения вреда). Ожидаемая тяжесть последствий (приоритетность рисков, статистические данные по группе оборудования или по отрасли)
Доказательства соответствия железнодорожного подвижного состава и его составных частей требованиям ТР ТС 001/2011	Номер пункта ТР ТС 001/2011, в котором изложено требование, содержание этого требования. Принятые меры по выполнению данного требования; – обозначение стандарта, подтверждающего выполнение данного требования. Конструктивные решения при вводе в эксплуатацию, эксплуатации и утилизации. Сведения о выполненных расчетах, испытаниях. Перечень возможных отказов оборудования (критические, некритические, критерии предельных состояний)

Обозначение обоснованию безопасности присваивает разработчик с учетом требований ГОСТ 2.201. При этом ГОСТ 34008–2016 рекомендует формировать с обозначением обоснования безопасности путем добавления кода документа к обозначению основного конструкторского документа технического средства железнодорожной инфраструктуры.

Что такое анализ рисков? Это изучение технических требований к железнодорожному подвижному составу и его составным частям, когда разработчик фактически должен описать всё «плохое», что может произойти с продукцией на всех стадиях жизненного цикла (от разработки до утилизации), определить, как часто это «плохое» может происходить и какие последствия может вызывать, другими словами – идентифицировать опасности при эксплуатации. Затем разработчик должен определиться, какими методами добиться предотвращения или хотя бы минимизации этого «плохого» и внести корректирующие и защитные меры в проект. После принятия защитных мер может случиться, что часть риска возникновения опасной ситуации останется, в этом случае о таком остаточном риске уведомляется пользователь (владелец), например, использованием предупреждающих табличек, наклеек, указанием, в том числе и в эксплуатационной документации, об обязательных планово-предупредительных ремонтах, техническом обслуживании или осмотре и т. д. Оценка и анализ рисков проводятся по ГОСТ 33433–2015 «Безопасность функциональная. Управление рисками на железнодорожном транспорте».

В обосновании безопасности приводят всю необходимую информацию для подтверждения того, что:

- опасности и риски, наиболее возможные и важные для данной железнодорожной техники, идентифицированы на всех стадиях жизненного цикла железнодорожной техники;
- проведена оценка риска для каждой опасности;
- принятые меры безопасности обеспечивают соблюдение требований ТР ТС 001/2011 и железнодорожный подвижной состав и его составные части являются безопасными.

#### Список литературы

- 1 ТР ТС 001/2011. О безопасности железнодорожного подвижного состава / Евразийская экономическая комиссия. – Минск : БелГИСС, 2022. – 49 с.
- 2 ГОСТ 34008–2016 Железнодорожная техника. Правила подготовки обоснования безопасности. – Введ. 2018-09-08. – Минск : Госстандарт, 2018. – 15 с.

## ИННОВАЦИОННЫЙ СПОСОБ ВЫПЛАВКИ СИНТЕТИЧЕСКОГО ЧУГУНА

*М. Р. ТУРАКУЛОВ, Н. К. ТУРСУНОВ, С. З. ЮНУСОВ*

*Ташкентский государственный транспортный университет, Республика Узбекистан*

Выплавка синтетических чугунов является основным средством подъема чугунолитейного производства на качественно новый этап, т. к. их можно отнести к конструкционным материалам, существенно отличающимся от применяемых ваграночных чугунов не только прочностными свойствами, но и природой и технологией получения. Переплавка металлических отходов является основным путем их утилизации и представляет собой самую крупную сферу потребления твердых отходов в промышленности. В литейном производстве это касается проблемы в выплавке синтетического чугуна. В настоящее время накоплен большой положительный опыт производства синтетического литейного чугуна на ряде металлургических заводов Узбекистана и России. При этом присадку ферросилиция в чугун осуществляли в потоке чугуна на желобе доменной печи либо непосредственно в чугуновозный ковш. Однако высокая степень усвоения ферросилиция (85–90 %) достигалась только при условии соблюдения наиболее благоприятных для растворения ферросилиция условий.

Известно несколько способов выплавки синтетического чугуна в электропечах, заключающихся в расплавлении в индукционных электропечах шихты, которая состоит из железоуглеродистых материалов, ферросплавов и науглероживателя, нагреве в них жидкого чугуна и его доводке по химическому составу путем введения в него ферросплавов и науглероживателя.

В промышленности широко пользуются способом выплавки чугуна в индукционных электропечах, где в качестве шихты используют остаток в печи жидкого чугуна в количестве 20–80 % ее емкости, который нагревают до 1710–1750 °С, после чего в печь загружают науглероживатель и выдерживают при данной температуре 8–12 мин. Затем в печь загружают железоуглеродистый лом и осуществляют расплавление всей шихты, а потом вводят ферросплавы и добавки. При температуре 1470–1600 °С вводят ферросплавы и добавки последовательно по Mn, Ni, Co, Cu, P, Mo, W, а при температуре 1700–1750 К – ферросплавы и добавки для доводки чугуна последовательно по C, Si, Cr, Sb, Sn, V, Ti, Zr, B, Al, Ce, Mg, Ca и Ba.

Способ выплавки синтетического чугуна, предложенный авторами, заключается в том, что из металлоотходов в индукционных печах, промышленной частоты в ее тигле наводят ванну расплава с уровнем, составляющим 50–100 % высоту до верхнего уровня среза силовых катушек индуктора печи. Затем загружают в ванну расплава металлическую стружку, причем загрузку стружки производят порциями величиной 8–10 % от массы находящегося в тигле расплава, а каждую порцию подают в печь при достижении расплавом 1300–1350 °С.

Анализ исследований в сфере получения синтетического чугуна показал, что все способы имеют общие недостатки, такие как повышенный угар шихты и элементов вследствие произвольного введения материалов в шихту и жидкий металл и их совместного расплавления, наличие отбела чугуна в отливках. Это снижает физико-механические свойства металла с низким содержанием кремния, что приводит к нестабильному составу выплавляемого чугуна, снижению его свойств и повышению стоимости.

Для снижения вредных примесей, повышения производительности индукционных тигельных печей и прочностных характеристик чугуна авторами разработан и предложен новый способ выплавки синтетического чугуна с использованием стального лома в качестве шихтовых материалов в индукционных тигельных печах, включающий завалку металлошихты, вместе с передельным чугуном, возвратом собственного производства, карбюризаторами и ферросплавами с целью науглероживания и легирования до требуемого химического состава.

Предложена новая концепция технологии плавки чугуна в индукционной тигельной печи, которая позволяет получить синтетический чугун с использованием стального лома в составе металлошихты. Состав шихты должен обеспечивать после расплавления содержание всех элементов, близкое к заданному в готовом металле. В качестве исходных шихтовых материалов применяют литейные и передельные чугуны, возврат собственного производства, лом стальной и стружку, карбюризаторы и ферросплавы. Предлагаемый способ получения синтетического чугуна предусматривает

использование в качестве шихты чугунного и стального лома, а также возврат собственного производства. С целью разбавления металла фосфором и серой в ванну добавляют стальной лом. Расчет металлошихты целесообразно начинать с определения количества отходов, стального лома и карбюризаторов в период расплавления, легирующих ферросплавов, необходимых для присадки в технологический период с учетом получения необходимого состава жидкого чугуна близким к требуемому.

Способ выплавки синтетического чугуна в индукционных тигельных печах, заключается в том, что перед расплавлением необходимо произвести расчет шихты с учетом доли карбюризаторов, стального лома и ферросплавов. Плавка металла начинается с завалки передельного чугуна в количестве 20–30 % от общей вместимости тигля индукционной печи. Жидкий металл нагревается до 1350 °С в течение 20–30 мин в соответствии с количеством загруженного передельного чугуна. Затем добавляется карбюризатор, норма расхода которого при различной доле стального лома определяется с помощью общего расчета шихты (таблица 1).

Таблица 1 – Норма расхода карбюризаторов при различной доле стального лома в металлошихте

Карбюризаторы	С	Усвоение, %	Доля стального лома в металлошихте, %								
			0	5	10	15	20	25	30	35	40
			Расход карбюризаторов, кг								
Электродный бой	98,5	90	11	26	41	55	70	85	99	114	129
Электродный порошок	93	90	12	27	43	59	74	90	105	121	136
Графитированный коксик	87	80	14	33	52	70	89	108	126	145	164
Серебристый графит	87	75	15	35	55	75	95	115	135	155	175
Черный графит	81	75	16	38	59	81	102	123	145	166	188
Тигельный бой	91	80	14	32	49	67	85	103	121	139	157
Древесный уголь	82	80	15	35	55	75	95	114	134	154	174
Литейный кокс	78	70	18	42	66	90	114	137	161	185	209
Металлургический кокс	78	75	17	39	62	84	106	128	150	173	195
Стойкость футеровки, плавков	–	–	120	115	110	100	95	90	85	80	75

Во избежание сильного окисления углерода осуществляется подвалка стального лома, который удерживает карбюризатор в чугунном расплаве, при этом его общая доля не должна превышать 40 % от общей вместимости тигля. Температуру металлического расплава необходимо выдерживать в пределах 1390–1410 °С. На рисунке 1 представлена зависимость твердости образца от доли стального лома в металлошихте.

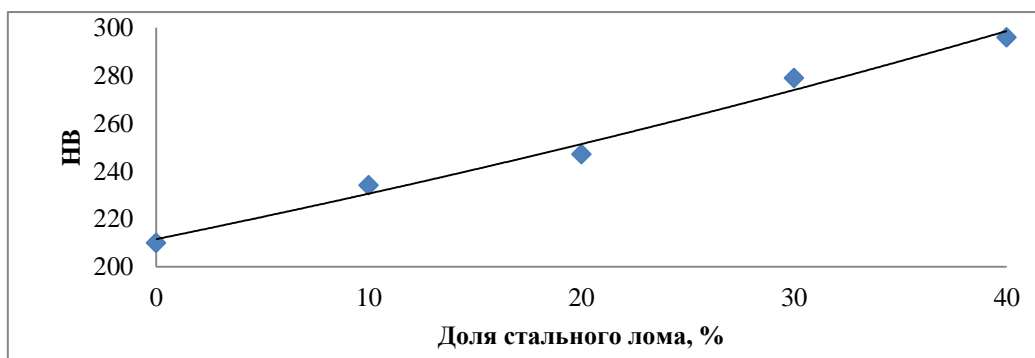


Рисунок 1 – Зависимость твердости образца от доли стального лома в металлошихте

По мере осаждения стального лома проводится подвалка возврата собственного производства с ферросплавами.

#### Список литературы

- 1 Вайнберг, А. М. Индукционные плавильные печи : учеб. пособие для вузов / А. М. Вайнберг. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергия, 1967. – 416 с.
- 2 Шумихин, В. С. Синтетический чугун» / В. С. Шумихин, П. П. Лузан, М. С. Жельнис. – Киев : Наук. думка, 1971. – 157 с.
- 3 Плавка синтетического чугуна в индукционных печах и ее технология на Каунасском литейном заводе «Центролит» / М. В. Жельнис [и др.] ; под ред Н. Г. Гирмовича. – Вильнюс : Минтис, 1974. – 297 с.



## ФРИКЦИОННЫЙ КЛИН ГАСИТЕЛЯ КОЛЕБАНИЙ ИЗ СИНТЕТИЧЕСКОГО ЧУГУНА

М. Р. ТУРАКУЛОВ, Н. К. ТУРСУНОВ, С. З. ЮНУСОВ

Ташкентский государственный транспортный университет, Республика Узбекистан, г.Ташкент

Эффективность работы железнодорожного транспорта в современных условиях имеет особую роль при увеличении грузоперевозок в республике. Основными направлениями ее повышения являются уменьшение затрат на обслуживание и ремонт грузовых вагонов.

Использование новых видов материалов, в частности, синтетического чугуна для изготовления фрикционного клинового гасителя колебаний (ФКГК) в условиях Республики Узбекистан является одним из приоритетных направлений с учетом экономической эффективности. Нас интересовал вопрос изготовления ФКГК из синтетического чугуна. Для этого рассмотрены свойственные показатели и способы получения синтетического чугуна, а также конструктивные требования к ФКГК тележек грузовых вагонов в соответствии с ГОСТ 9246 [1].

Целью статьи является изучение эксплуатационных свойств клиньев, полученных из синтетического чугуна, а также разработка и внедрение нового способа получения синтетического чугуна с заданными свойствами; изготовление опытной партии фрикционных клиньев из синтетического чугуна, проведение лабораторных и стендовых сравнительных испытаний с серийно изготавливаемыми клиньярами из серого чугуна. Для этого рассмотрим следующие вопросы:

- конструктивные требования к ФКГК;
- свойственные показатели и способ получения синтетического чугуна;
- технологический процесс выплавки синтетического чугуна;
- технологический процесс получения ФКГК из синтетического чугуна в разовой песчаной форме.

Выплавка синтетических чугунов является основным средством подъема чугунолитейного производства на качественно новый этап, так как их можно отнести к конструкционным материалам, существенно отличающимся от применяемых ваграночных чугунов не только прочностными свойствами, но и природой и технологией получения.

Типовая конструкция фрикционного клина узла гашения колебаний трехэлементной тележки грузовых вагонов представляет собой стальную или чугунную отливку коробчатой формы [2]. Три стенки образуют рабочий контур поверхностей, который обеспечивают работу клина. Общая схема установки ФКГК в сборке в условиях рессорного подвешивания тележки приведена на рисунке 1.

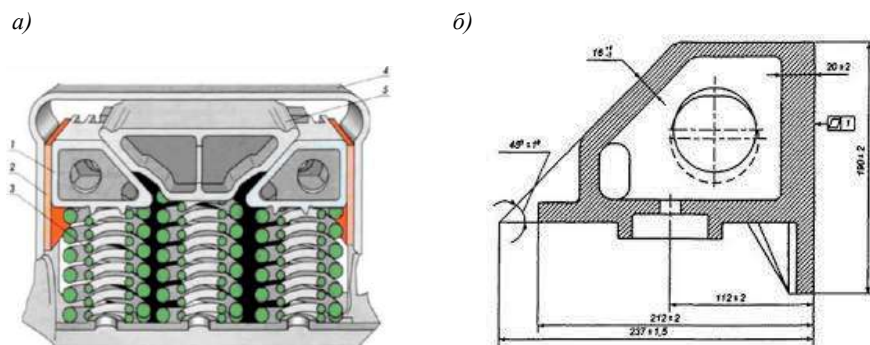


Рисунок 1 – Центральная ступень рессорного подвешивания тележки (а) и конструктивная схема ФКГК (б):

1 – фрикционный клин; 2 – фрикционная планка; 3 – рессорный комплект; 4 – баковая рама; 5 – надрессорная балка

При переходе к современным высокоинтенсивным процессам в корне изменились технологические подходы к получению заданного содержания углерода в чугуне. Если ранее стремились к получению концентрации углерода на выпуске из плавильного агрегата в пределах целевого диапазона для заданной марки чугуна, то концепция современного высокоинтенсивного процесса в большин-

стве случаев предполагает получение чугуна из унифицированного низкоуглеродистого полупродукта путем науглероживания металла в ковше [3].

Теоретической основой современной металлургии является физическая химия, особенно ее составные части: термодинамика и кинетика процессов. Синтетическим называют чугун, получаемый в индукционных печах путем переплавки стружки, стальной обрезки и других малоценных отходов с дальнейшим науглероживанием расплава и доведением его химсостава до заданного. При получении синтетического чугуна (СЧ) номенклатура шихтовых материалов и их окисленность влияют на общий угар металла, а также немаловажную роль играет то, каким способом вводятся ферросплавы и карбюризаторы, температура нагрева и выдержка металла. Известно, что при выплавке синтетических чугунов из чугунной стружки угар металла больше 2–2,5 раза по сравнению с выплавкой из стальной стружки. При этом вводе ферросплавов и карбюратора в завалку он меньше в 1,3–1,5 раза, чем при вводе в жидкий металл. Это объясняется тем, что стружка всегда в какой-то степени загрязнена. Различают весовой и истинный угар металла. По этим данным можно планировать и рассчитывать количество окислов Fe, Mn, Cr, Si, вносимых шихтой, а разница относится на засоренность шихты. В этом случае истинный угар металла меньше на 20–25 %.

Технологический процесс выплавки синтетического чугуна в индукционной тигельной печи вместимостью 6 т заключается в том, что перед расплавлением необходимо произвести расчет шихты с учетом доли карбюризаторов, стального лома и ферросплавов. Накоплен большой экспериментальный материал, который в сочетании с теоретическими разработками позволяет на научной основе организовать производство разнообразных чугунных сплавов.

Загрузка шихты в ИТП – до 5 мин. Шихта состоит из чугунного лома, собственного возврата, стального лома и кокса (состава шихты, %, C, Si, Mn, P, S и т. д.).

Период расплавления – 100 мин ( $T = 1360\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), при выплавке чугуна в индукционной тигельной печи доля стального лома не должна превышать 40 %.

Удаление шлака – 10 мин. После расплавления чугуна плавильщик сканирует шлак с поверхности жидкого сплава, и с помощью термопары определяется температура.

Легирование – 10 мин. При выплавке чугуна в индукционной тигельной печи  $t$  перегрева жидкого металла не должна превышать  $1400\text{ }^{\circ}\text{C}$ , т. к. увеличение  $t$  перегрева жидкого чугуна более установленной  $t$ , приводит к размельчению графитовых включений и увеличению количества связанного углерода, что ведет к повышению механических свойств чугуна.

Выпуск плавки в ковш – 5 мин ( $T = 1350\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Время заливки форм определяется при помощи секундомера контролера ОТК. Заливку форм необходимо производить полной струей, при подходе металла к прибылям струю уменьшить, чтобы металл заполнял форму постепенно, край носка нужно очищать от настывшей металла при помощи металлического ломика, не допускать попадания шлака в форму при заливке.

Разливка чугуна в формы – 30 мин. При заливке форм запрещается: прерывать струю металла; переливать металл через верх воронки; продолжать заливку формы при уходе металла в разъем, под воронку, и в других случаях, ведущих к браку.

С использованием предложенного выше технологического процесса в производственных условиях ДП «Литейно-механический завод» в городе Ташкенте был получен ФКГК из синтетического чугуна в разовой песчаной форме.

Ведутся научные исследования по выявлению и систематизированию зависимости влияния механических свойств, химического состава и структуры синтетического чугуна от фрикционных клиньев на их трибологические и прочностные характеристики и служебные качества.

#### Список литературы

- 1 ГОСТ 9246–2013. Тележки двухосные трехэлементные грузовых вагонов железных дорог колеи 1520 мм. Общие технические условия. – Введ. 2014-07-01. – М. : Стандартинформ, 2014. – 49 с.
- 2 ГОСТ 1412–85. Чугун с пластинчатым графитом для отливок. Flake graphite iron for casting. Grades. – Введ. 1987-01-01. – М. : Изд-во стандартов, 2004.
- 3 Гасители колебаний вагонов / И. И. Челноков [и др.]. – М. : Трансжелдориздат, 1963. – 176 с.
- 4 Вершинский, С. В. Динамика вагона / С. В. Вершинский, В. Н. Данилов, И. И. Челноков. – М. : Транспорт, 1972. – 304 с.
- 5 Глушко, М. И. Работа пружинно-фрикционного комплекта тележки грузового вагона / М. И. Глушко, А. Н. Антропов // Вестник ВНИИЖТ. – 2004. – № 5. – С. 41–44.

## ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К СТАЛИ ОСОБО ОТВЕТСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ, ИСПОЛЪЗУЕМОЙ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

*Н. К. ТУРСУНОВ, Ш. П. АЛИМУХАМЕДОВ*

*Ташкентский государственный транспортный университет, Республика Узбекистан*

Основными деталями тележек грузовых вагонов, получаемых методами стального литья, являются боковая рама, надрессорная балка тележки и элементы тягового устройства (рисунок 1). Наибольшим нагрузкам в процессе эксплуатации подвержена боковая рама тележки – один из основных конструктивных элементов каркаса тележки модели 18-100 – являющаяся составной частью тележки, которая воспринимает нагрузки от надрессорной балки и передает к колесным парам.

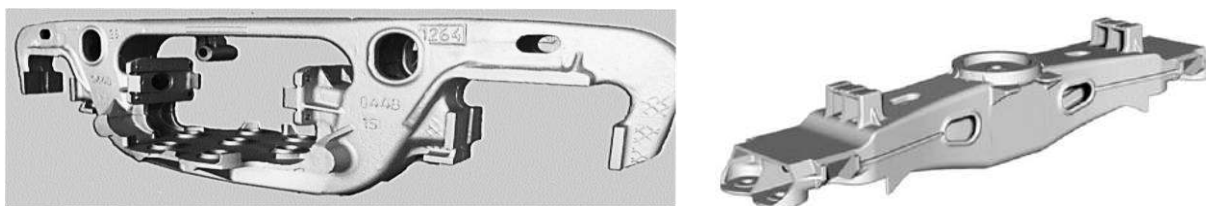


Рисунок 1 – Общий вид боковой рамы и надрессорной балки тележки грузового вагона

Одним из основных компонентов этой конструкции является боковая рама, т. к. она объединяет надрессорную балку, рессорное подвешивание, колесные пары с буксовыми узлами и навесное тормозное оборудование. Боковую раму и надрессорную балку отливают из стали 20ГЛ согласно ГОСТ 32400–2013 [1].

Одна из проблем особо ответственных литых деталей тележек грузового вагона – излом. По статистическим данным, на железнодорожном транспорте с ростом грузоперевозок резко увеличились проблемы литых деталей тележек модели 18-100 и за последнее 15 лет увеличились изломы боковых рам и надрессорных балок в 3–5 раз. Излом приводит к выводу ее из эксплуатации, соответственно к экономическим потерям, а главное, при запоздалом обнаружении дефекта может привести и к человеческим жертвам. Несмотря на изменения конструкции и технологии изготовления боковой рамы с целью снизить риск аварии на железных дорогах, количество проблем, связанных с этим дефектом, не уменьшается, а в ряде случаев – увеличиваются.

Анализ статистики излома, изучение его характера и технологии производства показали, что детали по механическим свойствам и по химическому составу основных элементов отвечают требованиям, а причины излома, возможно, связаны с вредным влиянием кислорода, фосфора, серы и неметаллических включений, о чем свидетельствуют результаты ряда исследований [2].

В 2016 году были внесены изменения в ГОСТ по химическому составу стали марки 20ГЛ по вредным примесям (массовые доли серы и фосфора не должны превышать 0,020 %) и механическим свойствам. Ряд предприятий сталкивается с проблемой, заключающейся в низких значениях ударной вязкости и прочности, которые характеризуют механические свойства, из-за повышенного содержания фосфора и серы.

При эксплуатации изделий, в том числе рамы, наблюдаются в основном два вида излома: хрупкий и усталостный. Основные факторы, способствующие этим изломам: пониженные механические свойства, недостатки технологии выплавки и раскисления стали, а также несовершенство литейной технологии и разлива металла. Всё это приводит к образованию объемных структурных несовершенств и повышенному количеству неметаллических включений в стали.

Наблюдения за работоспособностью боковых рам в эксплуатации показали, что до 85 % всех повреждений приходится на буксовые проемы (зоны 1–3, рисунок 2). При этом характер повреждений по этим зонам – усталостный, причина возникновения трещин различна. Определяющей причиной возникновения повреждений по зоне 3 является качество литья. При попадании литейных дефектов на поверхность или в предповерхностный слой сечения зоны 3 они становятся очагами

зарождения в ней усталостных трещин и разрушения деталей. Литейные дефекты, являясь концентраторами напряжений, увеличивают в зонах 3 боковых рам напряжения выше предела выносливости, т. к. основной тон номинальных напряжений в них находится на уровне 0,9 от допускаемых.

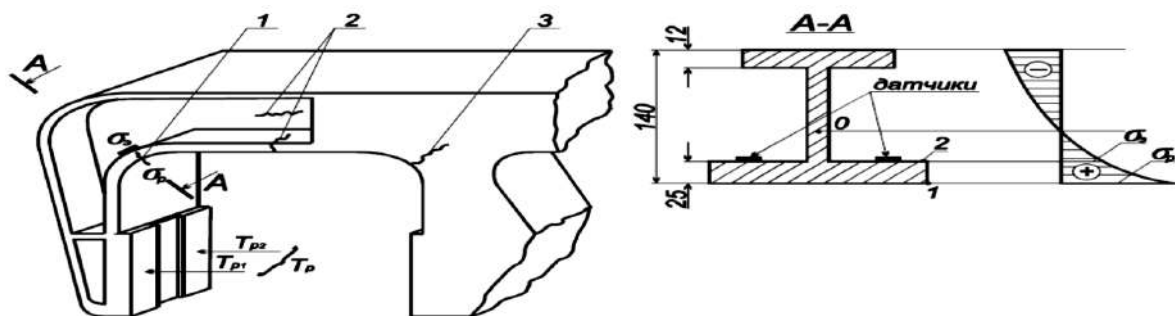


Рисунок 2 – Схема передачи продольной силы на наружную «челюсть» боковой рамы:  
0 – нейтральная ось; 1–3 – зоны зарождения трещин

Как следствие, срок службы боковых рам по зоне 3, при наличии дефектов, колеблется от 2 до 23 лет в зависимости от вида дефекта, его размеров и глубины залегания от поверхности детали. Следовательно, ресурс боковых рам по зоне 3 определяется качеством литья, а вероятность разрушения детали в эксплуатации, безопасность движения – качеством диагностики при плановых видах ремонта и своевременностью выбраковки дефектных деталей.

Основным методом предотвращения возникновения излома является регламентирование содержания вредных примесей в металле и соблюдение температурного интервала разливки.

Изломам подвержены, как правило, боковые рамы тележек и надрессорные балки – наиболее ответственные детали грузовых вагонов. Но большинство изломов приходится на боковую раму. В процессе эксплуатации они воспринимают статические и динамические вертикальные нагрузки – от веса вагона и от ударов при прохождении вагоном неровностей пути. Кроме того, испытывают продольные нагрузки от усилия тяги при неравномерном движении состава, усилия при соударении вагонов, а также воздействие крутящего момента при вписывании вагонов в кривые. При этом основная часть динамических вертикальных нагрузок носит циклический характер, и усталостная прочность боковых рам (способность длительно противостоять воздействию циклических нагрузок) является основной характеристикой их эксплуатационной надежности, т. е. напрямую влияет на безопасность движения.

Несмотря на изменения конструкции и технологии изготовления боковой рамы с целью устранения либо снижения этого дефекта, рассматриваемая проблема остается не решенной.

Исследовательский центр Тольяттинского государственного университета, изучив несколько боковых рам, пришел к выводу, что уровень механических свойств боковых рам, за исключением ударной вязкости, в большинстве случаев существенно заложенных выше требований по ГОСТу.

Излом боковой рамы стал одной из основных проблем за последние 15 лет. Причиной изломов является сочетание ряда факторов, связанных с химическим составом, дефектами изготовления типа газовых усадочных раковин, перегрузками боковых рам в процессе эксплуатации, нарушением состояния пути, ошибками осмотрщиков и т. д.

На данный момент в СНГ сертификаты имеют шесть основных предприятий на выпуск боковых рам. Кроме этого, на рынке представлена продукция крупного вагонного литья других стран, которая сертифицирована в СНГ. По данным ВНИИЖТ, 44 % изломов происходит из-за дефектов литья, 38 % – из-за перегруза, 12 % – неудовлетворительного содержания пути, 6 % – других факторов [3].

#### Список литературы

- 1 ГОСТ 32400-2013. Рама боковая и балка надрессорная литые тележек железнодорожных грузовых вагонов. Технические условия. – Введ. 2014-07-01. – М. : Стандартинформ, 2014. – 49 с.
- 2 Голубцов, В. А. Модифицирование стали для отливок и слитков / В. А. Голубцов, В. В. Лунев. – Челябинск; Запорожье : ЗНТУ, 2009. – 356 с.
- 3 Турсунов, Н. К. Развитие теоретических основ процессов рафинирования металлических расплавов с целью совершенствования технологических режимов плавки : дис. ... д-ра. техн. наук / Н. К. Турсунов. – Ташкент, 2023. – 198 с.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КРЫШКИ ЦИЛИНДРА

*Н. К. ТУРСУНОВ, У. Т. РАХИМОВ*

*Ташкентский государственный транспортный университет, Республика Узбекистан*

Новый машиностроительный материал – высокопрочный ковкий чугун с шаровидным графитом – сочетает высокие механические свойства стали с технологичностью и удобством производства чугуна. Он может заменить стальные отливки и поковки, ковкий чугун и цветные сплавы, а его применение вместо серого и модифицированного чугуна повышает эксплуатационную надежность и долговечность деталей машин и создает возможность в ряде случаев уменьшить их сечение и массу. Получение высокопрочного чугуна основано на обработке (модифицировании) жидкого сплава магнием или церием. Магний уступает церию по технологическим свойствам, но из-за более низкой стоимости получил наибольшее применение в промышленности.

В современных условиях развития железнодорожного транспорта наиболее актуальным вопросом является производство энерго- и ресурсосберегающего чугуна с шаровидным графитом с использованием местного сырья. Целью данного исследования является научное обоснование технологических разработок, внедрение в производство на основе усовершенствованной технологии и сокращение импорта деталей и узлов из высокопрочного чугуна, используемых на производстве. Отличительной особенностью ковкого чугуна являются его высокие механические свойства, обусловленные наличием в нем нодулярного графита, который в меньшей степени, чем пластинчатый графит в сером чугуне, ослабляет металлическую основу в высокой степени, не зависит от сильного режущего воздействия, благодаря чему графитовые включения менее восприимчивы к возбуждающим концентраторам. Чугун с нодулярным графитом обладает не только высокой прочностью, но и пластичностью.

Получение узловатого графита в чугуне с расплавленными добавками, включениями Mg, Ca, Ce и других редкоземельных металлов (РЗМ).

Химический состав и свойства ковких чугунов регламентируются ГОСТ 7293–85 и маркируются буквами «В» – высокопрочный, «Ч» – чугун и цифрой, обозначающей среднюю прочность чугуна на растяжение. Например, ВЧ 100 – ковкий чугун, предел прочности при растяжении 1000 МПа (или 100 кг/мм<sup>2</sup>). Ковкий чугун с нодулярным графитом является наиболее перспективным литейным сплавом, который может успешно решить проблему снижения массы конструкций при сохранении их высокой надежности и долговечности. Ковкий чугун используется для изготовления ответственных деталей в автомобильной промышленности (коленчатые валы, шестерни, цилиндры и т. д.).

В основном, высокопрочные чугуны выплавляются в индукционных тигельных печах. Основными преимуществами индукционных тигельных печей являются выделение энергии непосредственно в металле, без промежуточных нагревательных элементов; интенсивная электродинамическая циркуляция расплава в тигле, что обеспечивает быстрое расплавление мелкодисперсной шихты, отходы, выравнивание температуры по объёму ванны и отсутствие местных перегревов, что гарантирует получение многокомпонентных, химически однородных сплавов; принципиальная возможность создания в печи любой атмосферы (окислительной, восстановительной или нейтральной) при любом давлении; высокая производительность достигается за счет высоких значений удельной мощности, особенно на средних частотах; возможность полного слива металла из тигля и относительно небольшая масса футеровки печи, что создает условия для снижения тепловой инерции печи за счет уменьшения тепла, аккумулируемого футеровкой. Печи этого типа удобны для периодической работы с перерывами между плавками и обеспечивают возможность быстрого перехода с одной марки сплава на другую; простота и удобство обслуживания печи, контроля и регулирования процесса плавки, широкие возможности механизации и автоматизации процесса; высокая гигиеничность процесса плавки и низкий уровень загрязнения воздуха [1].

Экспериментальную плавку проводили на ДП «Литейно-механический завод» в чугуноплавильной среднечастотной индукционной тигельной печи емкостью 6 тонн с нейтральной футеровкой.

Для получения отливок из чугуна с шаровидной формой графита применяется технология ковшевого модифицирования «сэндвич-процесс», позволяющая получать стабильные результаты модифицирования при минимальном расходе модификаторов.

Для достижения наилучшего результата модифицирование металла проводится в специальном рабочем ковше, главным отличием которого от традиционно используемых в литейном производстве ковшей являются геометрические пропорции, и наличие реакционной камеры в донной части.

При модифицировании чугуна по «сэндвич-процессу» на дно реакционной камеры засыпают расчетное количество сфероидизирующего модификатора Сферомаг®620L в количестве 1,8–2,0 % от массы расплава, а поверх его – графитизирующий модификатор SIBAR®4 в количестве 0,25–0,35 % от массы расплава. Затем модификаторы присыпают небольшим слоем (10–15 мм) прокаленной чугунной стружки или дробы, который должен предохранить модификаторы от преждевременного взаимодействия с расплавом до наполнения ковша. После окончания загрузки уровень материалов в камере должен быть на уровне перегородки. При выпуске металла из печи струю металла необходимо направлять в металлоприемную камеру ковша таким образом, чтобы не размыть укрывной материал до наполнения ковша на 3/4 его высоты. По окончании пироэффекта необходимо удалить шлак (продукты реакции) и приступить к заливке металла в форму.

Микроструктура полученного высокопрочного чугуна с шаровидной формой графита показана на рисунке 1.

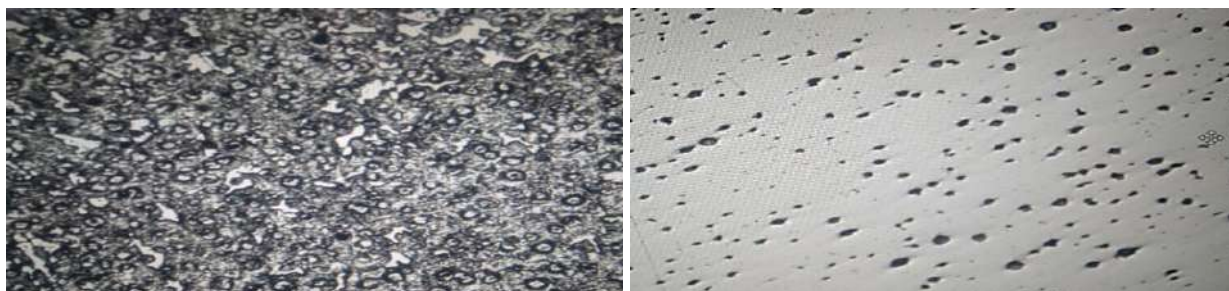


Рисунок 1 – Микроструктура высокопрочного чугуна ВЧ50

Как видно из рисунка 1, высокопрочный чугун марки ВЧ50 при модифицировании модификаторами Сферомаг®620L, SIBAR®4 и INOCSIL SM180 получается мелкодисперсным с шаровидной формой графита, о чем свидетельствуют полученные данные.

При подготовке формы на посадочное место в литниковой системе нижней полуформы необходимо установить вставку INOCSIL SM80 для поздней графитизации. При выплавке чугуна в индукционных печах производится модификация комплексными модификаторами Refloy®FM в количестве 20 кг на 1 тонну, что позволяет снизить содержание серы и фосфора до требуемого значения.

Проведенные исследования показывают, что при ковшевом модифицировании и установке в литниковой системе нижней полуформы вставки INOCSIL SM80 позволяют повысить нормативные значения механических свойств от 7 до 21 %.

#### Список литературы

1 Стрельников, К. Б. Индукционно-плазменная плавильная установка вместимостью 6 Мг для выплавки чугуна и стали / К. Б. Стрельников // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика : тезисы докладов четырнадцатой междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов. – М. : МЭИ, 2008.

УДК 629.4.023.2

## ТЕХНОЛОГИЯ ВЫПЛАВКИ СТАЛИ ДЛЯ ТЯГОВОГО ХОМУТА АВТОСЦЕПНОГО УСТРОЙСТВА

*Н. К. ТУРСУНОВ, Т. М. ТУРСУНОВ, Т. Т. УРАЗБАЕВ*

*Ташкентский государственный транспортный университет, Республика Узбекистан*

Данная работа посвящена получению тягового хомута автосцепного устройства железнодорожного транспорта из стали марки 20ГЛ. Хомут (рисунок 1) предназначен для сцепления вагонов и локомотива, их фиксации на определенном расстоянии друг от друга и передачи растягивающего усилия, направленного на вагон во время движения состава, поглощающему аппарату.

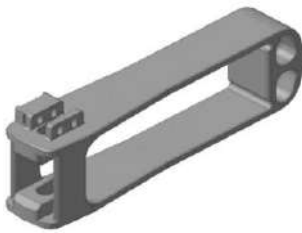


Рисунок 1 – Общий вид тягового хомута железнодорожных вагонов

Во время движения транспорта, при его остановках и выполнении различных маневров, хомут постоянно подвергается сжимающим и растягивающим ударным нагрузкам и является наиболее уязвимым местом в конструкции автосцепного устройства. От качества изготовления тягового хомута зависит прочность и надежность соединения поездов, что в свою очередь, определяет безопасность железнодорожного транспорта в целом [1–4].

Межгосударственный стандарт ГОСТ 22703–2012 описывает литье детали сцепных и автосцепных устройств железнодорожного подвижного состава, предназначенного для эксплуатации на железнодорожных путях общего и необщего пользования шириной колеи 1520 мм.

Требования к материалу тягового хомута следующие [5].

1 Детали первой группы должны быть отлиты из стали марки 20ГЛ.

2 Содержание серы и фосфора в стали деталей, выплавляемых в печах с основной футеровкой, не должно превышать 0,04 % для каждого элемента. Суммарное содержание серы и фосфора не должно превышать 0,06 %.

3 При выплавке стали для деталей второй группы в печах с кислой футеровкой содержание серы и фосфора допускается до 0,05 % для каждого элемента. При этом суммарное содержание серы и фосфора не должно превышать 0,08 %.

4 При выплавке стали в печах с основной и кислой футеровкой при суммарном содержании хрома, никеля, меди более 0,90 % содержание углерода в стали не должно превышать 0,24 %.

5 Сталь при выплавке обрабатывают раскислителями (модификаторами). Вид и способ обработки стали раскислителями (модификаторами), а также их число устанавливает предприятие-изготовитель. Окончательное раскисление стали проводят алюминием. Остаточное содержание массовой доли алюминия в стали должно составлять от 0,02 до 0,06 %.

На основании приведённых требований в ГОСТ 22703–2012 авторами произведена технология выплавки стали марки 20ГЛ для тягового хомута с учетом оптимизации и рационализации футеровки ИТП-6 (рисунок 2).

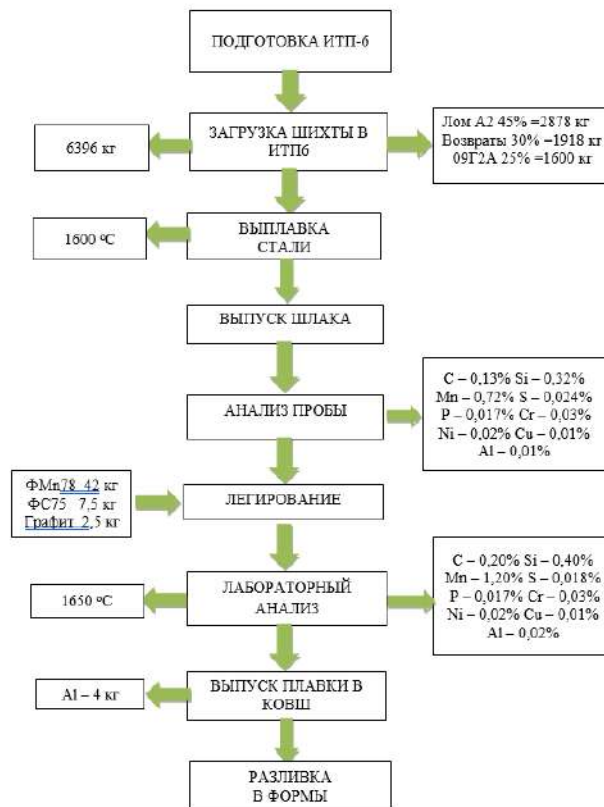


Рисунок 2 – Технология выплавки стали марки 20ГЛ для тягового хомута

Материальный баланс плавки при выплавке стали марки 20ГЛ по разработанной технологии в индукционной тигельной печи представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Материальный баланс плавки стали марки 20ГЛ

Материал	Содержание элемента, %										Сумма
	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Cu	Al	Fe	
Лом А2, %	0,12	0,4	0,3	0,035	0,02	0	0	0	0	99,125	100
Возврат лом, %	0,2	0,40	1,20	0,018	0,017	0,03	0,03	0,011	0,02	98,1	100
09Г2А лом, %	0,11	0,25	1,5	0,01	0,008	0,076	0,098	0,03	0	97,918	100
Лом А2, кг	3,45	11,51	8,63	1,007	0,576	0,00	0,00	0,00	0,00	2853,02	2878,2
Возврат, кг	3,84	7,68	23,03	0,345	0,326	0,58	0,58	0,21	0,19	1882,04	1918,8
09Г2А лом, кг	1,76	4,00	23,99	0,160	0,128	1,22	1,57	0,48	0,00	1565,71	1599
Общий лом, кг	9,05	23,19	55,65	1,51	1,03	1,79	2,14	0,69	0,19	6300,76	6396
Угар, %	10	15	20	0	0	5	1	2	3	3	
Угар, кг	0,91	3,48	11,13	0,0	0,0	0,09	0,02	0,01	0,01	189	205
Общий лом, кг	9,05	23,19	55,65	1,51	1,03	1,79	2,14	0,69	0,19	6300,76	6396
Проба-1, кг	8,15	19,71	44,52	1,51	1,03	1,70	2,12	0,68	0,19	6111,74	6191
Угар, кг	1,63	1,97	4,45	0,0	0,10	0,03	0,02	0,01	0,00	183,35	191
Проба-2	6,52	17,74	40,06	1,51	0,93	1,67	2,10	0,66	0,18	5928,39	6000
ФМн78, %	7	2	78	0,025	0,3	0	0	0	0	12,775	100
ФМн78, кг	2,94	0,84	32,76	0,011	0,126	0	0	0	0	5,366	42
ФС75, %	0,2	75	0,1	0,02	0,03	0	0	0	0	24,65	100
ФС75, кг	0,015	5,625	0,008	0,002	0,0023	0	0	0	0	1,849	7,5
Графит, %	98	0,5	1	0	0	0	0	0	0	0,5	100
Графит, кг	2,45	0,013	0,025	0	0	0	0	0	0	0,013	2,5
<b>Ковшевая, кг</b>	<b>11,9</b>	<b>24,2</b>	<b>72,9</b>	<b>1,11</b>	<b>1,06</b>	<b>1,67</b>	<b>2,1</b>	<b>0,66</b>	<b>0,18</b>	<b>5936</b>	<b>6051</b>
<b>Ковшевая, %</b>	<b>0,20</b>	<b>0,40</b>	<b>1,20</b>	<b>0,02</b>	<b>0,017</b>	<b>0,03</b>	<b>0,03</b>	<b>0,01</b>	<b>0,025</b>	<b>98,1</b>	<b>100</b>

#### Список литературы

- 1 **Турсунов, Н. К.** Оптимизация футеровки индукционных печей при выплавке стали марки 20ГЛ. Обзор / Н. К. Турсунов, Т. М. Турсунов, Т. Т. Уразбаев // *Universum: технические науки*. – М. : Международный центр науки и образования, 2022. – № 2–2 (95). – С. 13–19.
- 2 **Турсунов, Н. К.** Методика расчета комплексного раскисления стали марки 20ГЛ с алюминием и кальцием / Н. К. Турсунов, Т. Т. Уразбаев, Т. М. Турсунов // *Universum: технические науки*. – М. : Междунар. центр науки и образования, 2022. – № 2–2 (95). – С. 20–25.
- 3 Разработка технологии изготовления литых деталей автосцепных устройств подвижного состава железнодорожного транспорта / Н. К. Турсунов [и др.] // *Проблемы безопасности на транспорте : материалы XII Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 160-летию Бел. ж. д. (Гомель, 24–25 нояб. 2022 г.)* : в 2 ч. Ч. 1 / под общ. ред. Ю. И. Кулаженко. – Гомель : БелГУТ, 2022. – С. 177–179.
- 4 Обоснование мощности индукционных тигельных печей / Н. К. Турсунов [и др.] // *Проблемы безопасности на транспорте : материалы XII Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 160-летию Бел. ж. д. (Гомель, 24–25 нояб. 2022 г.)* : в 2 ч. Ч. 2 / под общ. ред. Ю. И. Кулаженко. – Гомель : БелГУТ, 2022. – С. 73–78.
- 5 ГОСТ 22703–2012. Детали литые сцепных и автосцепных устройств железнодорожного подвижного состава. Общие технические условия. – Введ. 2013-03-01. – М. : Стандартинформ, 2013. – 16 с.

УДК 656.224:629.016.2

## АНАЛИЗ МЕТОДОВ НОРМИРОВАНИЯ РАСХОДА ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА НА ТЯГУ ПОЕЗДОВ

*С. Я. ФРЕНКЕЛЬ, А. П. ДЕДИНКИН*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Условия эксплуатации тягового подвижного состава оказывают существенное влияние на расход дизельного топлива на тягу поездов. К факторам, определяющим такую изменчивость, можно отнести состояние пути, скорость движения, характеристики, вид и техническое состояние подвижного состава и пр. Для планирования, учета и контроля расхода топлива, а также его рационального использования важно обеспечить эффективный механизм нормирования его расхода.



Нормы удельного расхода дизельного топлива на тягу поездов подразделяют по уровню нормирования – для локомотивных бригад (за поездку), локомотивных депо, отделений железной дороги и железной дороги в целом на определенный период (месяц, квартал, полугодие, год).

В первом случае норма расхода для локомотивных бригад необходима для оценки качества работы локомотивной бригады, а также теплотехнического состояния локомотива или дизель-поезда.

Нормирование расхода топлива на тягу поездов для локомотивных депо, отделений и дороги в целом используют для планирования расхода энергоресурсов на основную деятельность в рассматриваемом периоде. Кроме того, выполняется анализ влияния тех или иных факторов эксплуатационной работы на расход энергоресурсов структурными подразделениями.

Известны два основных метода нормирования расхода энергоресурсов на тягу поездов – статистический и расчётно-аналитический.

При **статистическом** методе в основу разрабатываемых норм расхода закладывают отчётно-статистические данные о фактическом расходе топлива за прошедший (отчётный) период. Достоинство метода в том, что он позволяет учитывать особенности эксплуатации в реальных условиях.

**Расчётно-аналитический** метод опирается на данные о технико-экономических характеристиках локомотивов, изучении влияния различных факторов (масса состава, скорость движения, план и профиль пути, тип и техническое состояние вагонов, организация движения поездов, климатические условия и передовые методы вождения поездов и др.) на расход топлива. При нормировании расхода топлива используют имеющиеся для каждой серии локомотива паспортные данные о расходе топлива в единицу времени для различных режимов работы дизеля и скорости движения.

Общим недостатком расчётно-аналитического метода независимо от разновидностей его реализации следует признать то, что используемые технико-экономические характеристики тягового подвижного состава являются, как правило, паспортными, а следовательно, могут отличаться от характеристик локомотивов и дизель-поездов, находящихся в эксплуатации. Кроме того, погрешность расчета определяется допущениями, которые приняты при построении модели движения поезда, используемой для производства тяговых расчетов.

Возможна реализация как статистического, так и расчётно-аналитического метода в виде базового метода.

*Базовый* метод предполагает, что нормирование расхода топлива в рассматриваемом периоде времени (месяц, квартал, год), осуществляют путем корректировки величины фактического расхода топлива в соответствующем периоде времени предыдущего года, принимаемого за базовый. По отчетным данным принимают значения удельного расхода дизельного топлива на тягу поездов и нормообразующих факторов, его определяющих, в базисном периоде.

Норму расхода топлива для конкретной серии тепловоза или дизель-поезда, работающего в определенном виде магистрального движения, определяют с помощью выражения

$$e_{k,m} = e_{k,m}^{\delta} + \Delta e_{k,m},$$

где  $e_{k,m}^{\delta}$  – удельный расход топлива тепловозами или дизель-поездами  $m$ -й серии в  $k$ -м виде движения в базисном периоде времени, кг/10<sup>4</sup> т·км брутто;  $\Delta e_{k,m}$  – изменение удельного расхода топлива в плановом (нормируемом) периоде времени по сравнению с удельным расходом топлива в базисном периоде времени для  $m$ -й серии тепловоза или дизель-поезда в  $k$ -м виде движения, кг/10<sup>4</sup> т·км брутто.

Изменение удельного расхода топлива в плановом (нормируемом) периоде по сравнению с удельным расходом топлива в базисном периоде времени для  $m$ -й серии тепловоза или дизель-поезда в  $k$ -м виде движения определяют как сумму отклонений, вызванных воздействием  $i$ -го количества нормообразующих эксплуатационных факторов

$$\Delta e_{k,m} = \sum \Delta e_{k,m,i} \quad (i = 1 \dots n).$$

Корректировку расхода топлива выполняют в соответствии с величиной и направлением изменения значений нормообразующих показателей.

До 2013 года на Белорусской железной дороге для подразделений локомотивного хозяйства использовалась методика анализа и планирования расхода топливно-энергетических ресурсов на тягу поездов, изложенная в указании МПС РФ № В-741у от 1997 года. Нормирование расхода дизельного топлива на тягу поездов основывалось на данных тягово-энергетического паспорта «усредненно-го» локомотива, а также общих формулах и положениях Правил тяговых расчетов.

С 2013 года нормирование опирается на положения СТП БЧ 17.217–2012 «Расчет норм расхода дизельного топлива на тягу поездов для подразделений локомотивного хозяйства Белорусской железной дороги».

Основное отличие СТП БЧ 17.217–2012 от методики МПС РФ № В-741у от 1997 года в процедуре вычисления значений коэффициентов влияния. Общим является то, что значения нормы расхода дизельного топлива в грузовом, пассажирском и пригородном движениях определяют путем расчета по средним значениям влияющих факторов, состав и коэффициенты влияния которых определены ранее и периодически уточняются в связи с изменением локомотивного парка, условий эксплуатации и пр. В остальных видах движения норму расхода определяют путем корректировки на плановый период фактического удельного расхода за предыдущие периоды.

В общем случае перевозочная работа  $A$  представляет собой сумму работ по всем видам движения, поэтому плановую величину удельного расхода дизельного топлива на работу локомотивов и дизель-поездов подразделения в нормируемом периоде определяют по формуле

$$e_n = \sum e_k \cdot \gamma_k,$$

где  $e_k$  – норма расхода дизельного топлива в  $k$ -м виде движения, кг/10<sup>4</sup> т·км брутто;  $\gamma_k$  – относительный объем перевозочной работы в  $k$ -м виде движения.

Таким образом, плановые расходы топлива в основных видах движения (грузовом, пассажирском и пригородном) определяют корректировкой достигнутых в базисном периоде величин фактических удельных расходов в соответствии с новыми условиями эксплуатации тягового подвижного состава и уровнем его энергоэффективности.

Практика показала не всегда приемлемую достоверность значений, определяемых как в соответствии с методикой МПС РФ № В-741у от 1997 г., так и с СТП БЧ 17.217–2012.

Существенной особенностью расчета нормы расхода и в первом, и во втором случае является использование **средних** значений величины нормообразующих эксплуатационных факторов, а следовательно, значений коэффициентов влияния, определяемых ими. Однако из-за нелинейной зависимости изменения расхода топлива под влиянием нормообразующих факторов для различных интервалов их изменения коэффициент влияния также должен быть различным, чего рассмотренные методы не учитывают.

Повысить качество нормирования можно, разбивая область изменения отдельных факторов на интервалы для каждого из которых рассчитывают среднее значение рассматриваемого фактора и соответствующее ему значение коэффициента влияния. Общее значение изменения удельного расхода дизельного топлива под влиянием каждого из рассматриваемых факторов рассчитывают в соответствии с долей перевозочной работы, выполняемой для каждого интервала.

УДК 656.224:629.016.2

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ НОРМИРОВАНИЯ РАСХОДА ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА НА ТЯГУ ПОЕЗДОВ

*С. Я. ФРЕНКЕЛЬ, А. П. ДЕДИНКИН*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В настоящее время на Белорусской железной дороге действует стандарт СТП БЧ 17.217-2012 «Расчет норм расхода дизельного топлива на тягу поездов для подразделений локомотивного хозяйства Белорусской железной дороги», введенный в действие с 01.02.2013 приказом Начальника Белорусской железной дороги от 29.12.2012 № 478.

Стандарт устанавливает порядок расчета удельного потребления дизельного топлива на тягу поездов, определяет техническую норму и плановую потребность дизельного топлива на заданные объемы перевозок по видам движения подразделений локомотивного хозяйства Белорусской железной дороги, выявляет влияние основных нормообразующих факторов.

Для расчета коэффициентов влияния нормообразующих факторов путем построения регрессионных моделей расхода топлива используются данные из отчетных документов подразделений Белорусской железной дороги. Возможно построение моделей на данных всех подразделений дороги, либо отдельных моделей для каждого отделения и дороги в целом. Каждая из моделей может

быть построена на данных, распределяемым по временным периодам (1-й квартал, 2-й квартал и т. д.), либо без деления на временные отрезки. Построение моделей осуществляется с использованием средних значений влияющих нормообразующих факторов для всего диапазона их изменения.

На кафедре «Локомотивы» БелГУТа подготовлены следующие предложения по актуализации действующего стандарта.

Нормирование расхода топлива на тягу поездов для структурных подразделений в магистральных видах движения (грузовое транзитное, грузовое сборное, грузовое передаточно-вывозное, пассажирское, пригородное) выполняют расчетно-аналитическим методом, включающим построение модели изменения удельного расхода дизельного топлива в зависимости от изменения нормообразующих факторов. При этом:

- по отчетным данным за базисный период принимают значения расхода дизельного топлива на тягу поездов и нормообразующих факторов, его определяющих;
- диапазоны изменения некоторых нормообразующих факторов (масса состава, нагрузка на ось вагона и др.) разбивают на интервалы;
- для каждого из интервалов определяют средние значения нормообразующих факторов в базисном и плановом (нормируемом) периодах нормирования. В этом случае для вычислений требуется значение коэффициента влияния для каждого интервала. То есть целесообразно построить функцию влияния для каждого из рассматриваемых нормообразующих показателей, которая позволяет рассчитывать значение коэффициента влияния для любого значения нормообразующего фактора.

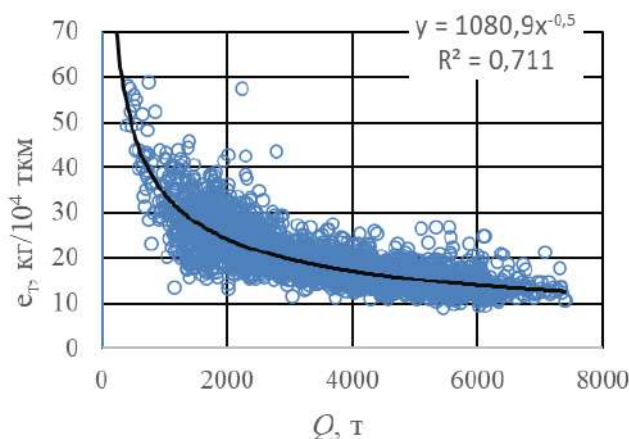


Рисунок 1 – Зависимость удельного расхода дизельного топлива от массы состава

Для построения функций влияния, позволяющих вычислять значения коэффициентов влияния некоторых нормообразующих факторов, принята информация, содержащаяся в базе данных автоматизированной системы интегрированной обработки маршрутов машиниста (АС ИОММ). При построении полей рассеяния для массы состава, нагрузки на ось влияние этих факторов на удельный расход топлива становится очевидным (рисунок 1).

Построив линию тренда и продифференцировав уравнение, описывающее эту линию, получают выражение для зависимости соответствующего коэффициента влияния от нормообразующего фактора (функцию влияния фактора).

В качестве исходных данных для построения функции влияния технической (участковой) скорости движения поезда приняты результатами многовариантных тяговых расчётов;

- в зависимости от величины изменения средних на каждом из интервалов значений нормообразующих факторов с применением построенной ранее модели определяют величину изменения удельного расхода топлива в плановом (нормируемом) периоде по сравнению с удельным расходом топлива в базисном периоде времени;

При нормировании для каждой серии тепловоза или дизель-поезда по конкретному виду движения отклонение удельного расхода топлива в нормируемом периоде от удельного расхода топлива в базисном периоде времени, кг/10<sup>4</sup> т·км брутто, следует определять как

$$\Delta e_{\text{серия}} = \sum \Delta e_i, (i = 1 \dots n),$$

где  $\Delta e_i$  – отклонение удельного расхода топлива в нормируемом периоде от удельного расхода топлива в базисном периоде времени, вызванное воздействием  $i$ -го эксплуатационного фактора, кг/10<sup>4</sup> т·км брутто.

В случае поинтервального учета воздействия эксплуатационного фактора (для массы состава  $Q$ , осевой нагрузки  $q_o(\text{ср})$ , скорости движения  $v_T$ ) расчет соответствующего отклонения выполняют следующим образом:

$$\Delta e_i = \Delta e_{\text{инт}1} \cdot \alpha_{\text{инт}1}^I + e_{\text{инт}1} \cdot (\alpha_{\text{инт}1}^I - \alpha_{\text{инт}1}) + \dots + \Delta e_{\text{инт}j} \cdot \alpha_{\text{инт}j}^I + e_{\text{инт}j} \cdot (\alpha_{\text{инт}j}^I - \alpha_{\text{инт}j}),$$

где  $\Delta e_{\text{инт } 1}, \dots, \Delta e_{\text{инт } j}$  – отклонение удельного расхода топлива, вызванное воздействием  $i$ -го эксплуатационного фактора в  $j$ -м интервале диапазона его изменения в нормируемом периоде, кг/10<sup>4</sup> т·км брутто;  $\alpha_{\text{инт } 1}^i, \dots, \alpha_{\text{инт } j}^i$  – доля перевозочной работы, выполняемая в  $j$ -м интервале диапазона изменения  $i$ -го эксплуатационного фактора в нормируемом периоде, кг/10<sup>4</sup> т·км брутто;  $e_{\text{инт } 1}, \dots, e_{\text{инт } j}$  – удельный расход топлива в  $j$ -м интервале диапазона изменения  $i$ -го эксплуатационного фактора в базовом периоде, кг/10<sup>4</sup> т·км брутто;  $\alpha_{\text{инт } 1}, \dots, \alpha_{\text{инт } j}$  – доля перевозочной работы, выполненная в  $j$ -м интервале диапазона изменения  $i$ -го эксплуатационного фактора в базовом периоде, кг/10<sup>4</sup> т·км брутто.

Таким образом, отклонение удельного расхода топлива для конкретного вида движения, следует определять для каждой серии тепловоза (дизель-поезда), задействованной в данном виде движения, с соответствующим последующим учетом их долей в общей перевозочной работе.

Сложив значение удельного расхода топлива в базисном периоде с рассчитанным отклонением  $\Delta e$ , определяют норму расхода топлива для эксплуатируемых серий тепловозов и дизель-поездов.

Нормы расхода дизельного топлива устанавливают для всех эксплуатируемых серий тепловозов и дизель-поездов, для каждого вида движения (грузовое транзитное, грузовое сборное, грузовое передаточно-вывозное, пригородное, пассажирское, хозяйственное, маневровая работа), а также для вида тяги в целом.

Во вспомогательных видах движения (хозяйственное, маневровая работа) в качестве нормы принимают величину удельного расхода топлива за базисный период, откорректированную по согласованию со службой локомотивного хозяйства Управления Белорусской железной дороги.

При необходимости установленную норму расхода дизельного топлива пересчитывают с учетом изменения средней температуры наружного воздуха в плановом (нормируемом) периоде относительно базисного периода.

УДК 65.018, 006.83

## **ИНФРАСТРУКТУРА КАЧЕСТВА В ТЕХНИЧЕСКОМ РЕГУЛИРОВАНИИ ПРОДУКЦИИ И УСЛУГ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА**

*В. А. ФРОЛОВ*

*Белорусская железная дорога, г. Минск*

*В. С. ЗАЙЧИК, В. В. КОМИССАРОВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Стабильность функционирования транспортного комплекса Республики Беларусь является неотъемлемым и одним из важнейших факторов обеспечения конкурентоспособности продукции, производимой предприятиями нашего государства. При этом обеспечение данной стабильности посредством технического регулирования и оценки соответствия является сегодня важнейшим фактором в области промышленной политики, связанной с выпуском и подтверждением необходимых качественных характеристик поставляемой на Белорусскую магистраль железнодорожной техники, а также с обеспечением ее жизненного цикла [1]. С технико-экономической точки зрения для решения поставленной задачи требуется формирование системной среды инфраструктуры качества, рассматриваемой как совокупность взаимосвязанных и скоординированных действий в области технического регулирования, стандартизации, метрологии, оценки соответствия и аккредитации.

На государственном уровне основные векторы работы на ближайшую перспективу в данном направлении обозначены в программе «Качество 2021–2025». Они тесно увязаны с программными документами развития страны и евразийской экономической интеграции. На отраслевом уровне комплексные меры по повышению качества заложены в основу соответствующей программы Белорусской железной дороги. Особое место в этом документе отведено вопросам технического регулирования, стандартизации, техническому нормированию и оценке соответствия, решение которых должно способствовать достижению безопасности выпускаемой продукции и оказываемых услуг для потребителей, производителей и окружающей среды [2]. Базовыми актами, содержащими необходимые требования, являются технические регламенты ТР ТС 001/2011 «О безопасности железнодорожного подвижного состава», ТР ТС 002/2011 «О безопасности высокоскоростного железнодорожного транспорта» и ТР ТС 003/2011 «О безопасности инфраструктуры железнодорожного

транспорта», которые сейчас действуют в редакции изменения № 1. При этом развитие данных документов продолжается и в настоящее время специальной рабочей группой при Министерстве транспорта Российской Федерации, в состав которой наряду с экспертами из всех стран ЕАЭС входят также представители Белорусской железной дороги, Белорусского государственного университета транспорта и Белорусского государственного института стандартизации и сертификации, подготовлено изменение № 2, вступление в действие которого планируется в 2024 году.

Наряду с техническими регламентами важную роль играет и разработка поддерживающих их межгосударственных стандартов в рамках деятельности Межгосударственного совета по стандартизации, метрологии и сертификации (МГС). Специалисты белорусской железной дороги и БелГУТ принимают активное участие в Межгосударственном техническом комитете (МТК) 524 «Железнодорожный транспорт», Ассоциации «Объединение производителей железнодорожной техники» (ОПЖТ), в рамках деятельности которых, осуществляется разработка межгосударственных стандартов, в том числе включаемых в перечни стандартов, поддерживающих технические регламенты.

С 2023 года Белорусская железная дорога определена полномочным представителем Республики Беларусь в МТК 524, что позволяет повысить оперативность рассмотрения документов и подготовки консолидированной позиции, уменьшить трудозатраты, сократить документооборот при разработке межгосударственных стандартов. При этом важно системно уделять внимание разработке межгосударственных стандартов не только на железнодорожную продукцию, но и на оказываемые железнодорожниками услуги. В связи с различием национального законодательства в странах ЕАЭС возникают разночтения при разработке и согласовании ГОСТ. В существующих условиях необходимо стремиться к унификации требований, предъявляемых не только к подвижному составу, но и к оказываемым услугам.

Важным механизмом технического регулирования как инструмента, устанавливающего требования к продукции, является оценка соответствия, производимая третьей стороной (органом по сертификации) на основании доказательственных документов, в число которых входят протоколы испытаний и исследований, проводимых независимыми испытательными лабораториями (центрами). В настоящее время на территории ЕАЭС функционирует достаточно большое количество органов по сертификации и испытательных центров, однако предоставить заявителю комплексные услуги по принципу «одного окна» по полной номенклатуре железнодорожной продукции и услуг в состоянии только ФБУ «Регистр по сертификации по сертификации на федеральном железнодорожном транспорте» (г. Москва, Российская Федерация), Белорусский государственный университет транспорта (г. Гомель, Республика Беларусь) и Казахстанский центр сертификации на железнодорожном транспорте (г. Астана, Республика Казахстан). Так, Белорусский государственный университет транспорта аккредитован как орган по сертификации и имеет в своем составе несколько испытательных центров (ИЦ ЖТ, БЭМС и т. д.), что позволяет проводить полный спектр работ от приема заявки через испытания до выдачи документов об оценке соответствия. При этом в соответствии с законодательством получаемые заявителями протоколы испытаний, а также сертификаты и декларации признаются на всей территории ЕАЭС. Реализуемый подход высоко оценивается и заказчиками, в число которых входят не только ведущие производители продукции железнодорожного назначения из Беларуси, Казахстана и Российской Федерации, но и из таких стран ближней и дальней дуги, как Китайская Народная Республика, Узбекистан, Швейцария, Германия, Франция и др. Также высокая оценка работам, выполняемым Белорусским государственным университетом транспорта, дается и со стороны Белорусской железной дороги и других железнодорожных администраций, которые являются потребителями и эксплуатантами железнодорожной продукции. При этом необходимо отметить, что тесное сотрудничество между университетом и службой стандартизации, метрологии и сертификации позволяет учитывать все вновь появляющиеся нюансы, что в свою очередь позволяет адекватно проводить все процедуры в строгом соответствии с действующим законодательством.

Таким образом, на основании уже имеющейся длительной практики проведения работ по оценке соответствия можно говорить о том, что только тесное взаимодействие триады Белорусская железная дорога – Орган по сертификации БелГУТ – Испытательные центры (лаборатории) железнодорожного транспорта БелГУТа позволяет получать результаты, которые с точки зрения технического регулирования гарантируют стабильность и безопасность функционирования железнодорожного транспорта, а также снижение рисков, обусловленных вводимыми санкционными ограничениями, и будут способствовать решению вопросов технической и технологической независимости предприятий железнодорожного сектора экономики как нашей страны, так и стран ЕАЭС.

## Список литературы

1 Переход к рыночной экономике и структурные реформы в государствах – членах Евразийского экономического союза / И. В. Пилипенко. – СПб. : Научное издание, 2019. – 976 с.

2 Программа «Качество 2021–2025» [Электронный ресурс] / Государственный комитет по стандартизации Респ. Беларусь – Минск, 2023. – Режим доступа : <https://gosstandart.gov.by/quality-2021-2025-program?ysclid=ln7nxxkmm941249719>. – Дата доступа : 20.09.2023.

3 О проведении семинара-совещания по вопросам технического регулирования, оценки соответствия и управления качеством [Электронный ресурс] / Белорусская железная дорога. – Минск, 2023. – Режим доступа : [https://gomel.rw.by/press\\_center/corporate\\_news/2023/04/o-provedenii-seminara-soveshchaniya-po-voprosam-tehnicheskogo-regulirovaniya-otsenki-sootvetstviya/](https://gomel.rw.by/press_center/corporate_news/2023/04/o-provedenii-seminara-soveshchaniya-po-voprosam-tehnicheskogo-regulirovaniya-otsenki-sootvetstviya/). – Дата доступа : 20.09.2023.

УДК 621.43:629.3

## ОПЕРАТИВНЫЙ КОНТРОЛЬ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЦИЛИНДРО-ПОРШНЕВОЙ ГРУППЫ ТЕПЛОВОЗНОГО ДИЗЕЛЯ В ЭКСПЛУАТАЦИИ

*В. В. ФУРМАН*

*ООО «ППП Дизельавтоматика», г. Саратов, Российская Федерация*

*В. В. ГРАЧЕВ, А. В. ГРИЩЕНКО, Ф. Ю. БАЗИЛЕВСКИЙ*

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

Высокооборотные дизельные двигатели небольшой размерности (с диаметром цилиндра до 210 мм) находят всё более широкое применение в качестве первичных двигателей автономных локомотивов различного назначения. Характерной конструктивной особенностью многих из них является отсутствие индикаторных кранов для подключения средств измерения внутрицилиндрового давления (максиметра или датчика давления), что исключает возможность использования для контроля технического состояния цилиндро-поршневой группы таких двигателей методов диагностирования, основанных на анализе индикаторной диаграммы рабочего процесса в цилиндре. Это обстоятельство обуславливает актуальность поиска иных подходов к решению данной задачи. Известные решения, основанные на использовании анализаторов герметичности цилиндров, требуют частичной разборки топливной аппаратуры и значительных затрат времени на диагностирование многоцилиндрового дизеля.

Один из таких подходов основан на контроле параметров сигнала мгновенной угловой скорости (МУС) коленчатого вала и тока стартерного электродвигателя при холодной прокрутке двигателя.

Технические средства для контроля тока стартера при холодной прокрутке двигателя включены в большинство мотор-тестеров и широко применяются при диагностировании малолитражных автомобильных дизельных и бензиновых двигателей. При этом диагностирование, как правило, сводится к визуальному анализу кривой тока, отображаемой на экране тестера или другого устройства.

В то же время контроль ТС по сигналу МУС в практике реального диагностирования поршневых двигателей внутреннего сгорания (ДВС) применяется намного реже, притом, что, судя по количеству публикаций, эта тема давно и постоянно привлекает интерес специалистов в области диагностики. Однако, как показывает анализ, содержание большинства из этих публикаций сводится к постановке задачи и обоснованию возможности ее решения с использованием отдельных параметров сигнала МУС (как правило, мгновенных значений угловой скорости и ускорения) на основе результатов его моделирования или приближенного расчета.

Поэтому в настоящее время принципиальная возможность использования сигнала МУС и тока стартерного электродвигателя для контроля ТС транспортных, в частности тепловозных, двигателей сомнения не вызывает. Однако проблема реализации этой возможности при решении практических задач по-прежнему актуальна, особенно с учетом широкого применения систем электронного управления топливоподачей, которые могут контролировать сигнал МУС с использованием штатных аппаратных средств.

На основании анализа изменения мгновенной угловой скорости коленчатого вала и тока стартерного электродвигателя в режиме холодной прокрутки при стендовых испытаниях тепловозного дизеля Д50 авторами предложены диагностические параметры, признаки и критерии для контроля работоспособности цилиндров дизеля в период предпусковой холодной прокрутки.

Эффективность предложенных критериев подтверждена анализом результатов холодной прокрутки дизеля с открытыми индикаторными кранами отдельных цилиндров.

Использование предложенных диагностических критериев позволит повысить эксплуатационную надежность и уменьшить расходы на техническое обслуживание тепловозов за счет рационального планирования объемов работ на плановых видах ремонта.

УДК 621.313.33

## ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ АСИНХРОННЫХ ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ЛОКОМОТИВОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

*О. Р. ХАМИДОВ, Н. С. ЗАЙНИДИНОВ*

*Ташкентский государственный транспортный университет, Республики Узбекистан*

В настоящее время одной из основных задач Стратегии развития Узбекской железной дороги до 2030 г. является замена коллекторного тягового электродвигателя локомотивов на частотно-регулируемый асинхронный тяговый привод. Данная задача решается путем создания и внедрения локомотивов с асинхронным тяговым приводом АО «Узбекская железная дорога» «O'ZBEKISTON», «UZ-EL», «O'Z-Y», «UZ-ELR», ЗЭС5К, высокоскоростного электропоезда «Афросиеб», выпускаемого компанией «Гальго»; поезда метрополитена, а также путем перехода на преобразовательную технику на основе разрабатываемых новых достижений в области силовых управляемых полупроводниковых элементов [1–3].

На рисунке 1 представлены математическая модель нейронной сети прямого распространения и структура контроля АТЭД.

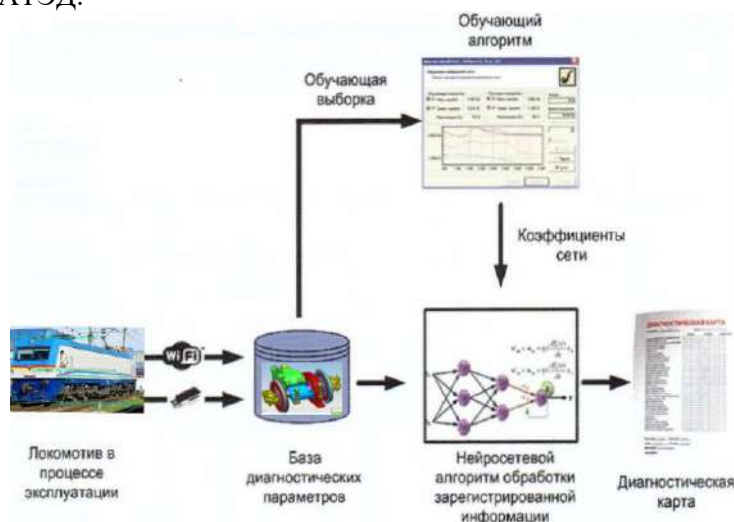


Рисунок 1 – Графическое представление математической модели нейронной сети и структура организации контроля технического состояния АТЭД

Математическую модель нейрона можно описать следующим образом:

$$S = \sum_{n=1}^N X_n W_n + b, \quad (1)$$

где  $X_n$  – входной сигнал нейрона;  $W_1, W_2, \dots, W_n$  – синаптические веса нейронов;  $b$  – сдвиг.

Нейросетевая модель для диагностики АТЭД локомотивов на основе применение нейросетевого анализатора представлена на рисунке 2.

Для создания анализатора технического состояния АТЭД локомотивов использованы нейронные сети, которые являются эффективным математическим аппаратом для решения задач классификации, аппроксимации, прогнозирования, управления, а также идентификации технических систем.

Для нейронного анализатора АТЭД локомотивов входными данными являются ток, напряжение, угловая скорость, момент сопротивления, оцененные параметры и ошибки предикторов. Выходные данные – определенный класс технического состояния АТЭД локомотивов.

Значения выходных сигналов находятся в диапазоне от 0 до 1, при этом наличие сигнала 1 свидетельствует о том, что нейронная сеть полностью «уверена» в данном режиме. При возникновении неисправности выходной сигнал анализатора, отвечающий за нормальный режим, из состояния 1, становится равным состоянию 0, а сигнал, отвечающий за данную неисправность, наоборот, из состояния 0 становится равным состоянию 1 [3–5].

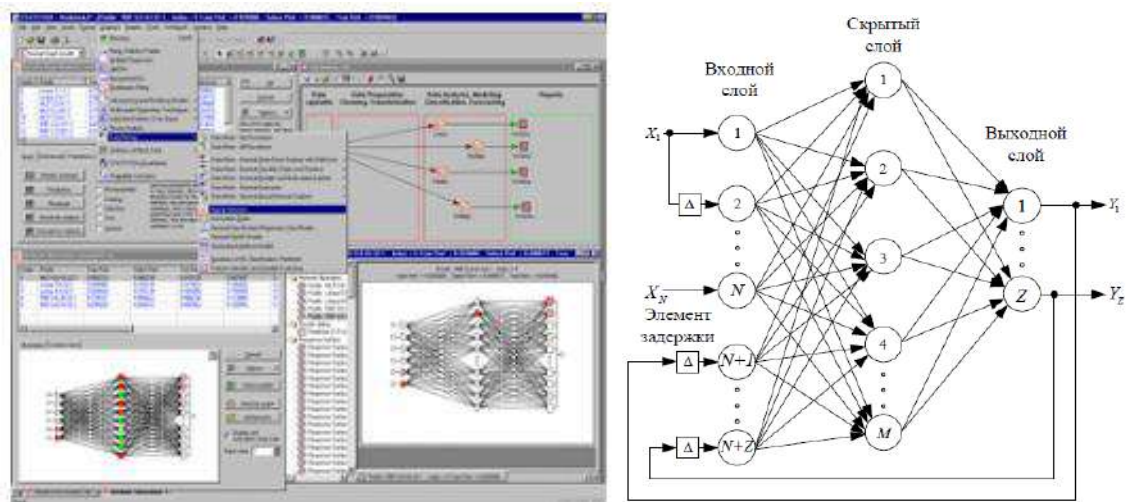


Рисунок 2 – Нейросетевая модель для оценки состояния АТЭД локомотивов

Наиболее адекватной является математическая модель в трехфазных координатах, которая описывает процесс преобразования электроэнергии в локомотивном асинхронном тяговом электродвигателе с короткозамкнутым ротором в переходных и стационарных режимах [1–3].

При построении математической модели АТЭД принимаются следующие допущения: напряжения фаз синусоидальны; не учитываются потери в стали, вызываемые протеканием вихревых токов в магнитопроводе АТЭД и его перемагничиванием; воздушный зазор АТЭД равномерен; энергия магнитного поля сосредоточена в воздушном зазоре АТЭД.

При математическом моделировании и оценке технического состояния АТЭД локомотивов использовалась ИНС пакета программ Simulink/Matlab. Собранная трехфазная модель асинхронного тягового двигателя в программной среде Matlab Simulink позволяет анализировать несимметричные режимы переменных состояний электродвигателя.

Таким образом, показано, что искусственных сети являются мощным и доступным инструментом, способным давать достоверные результаты при технической диагностике асинхронных тяговых электродвигателей подвижного состава. Задача диагностирования с применением нейронных сетей сводится к выбору типа сети, определению параметров архитектуры и ее обучению. Представлена математическая модель асинхронных тяговых двигателей в трехфазной системе координат, которая позволяет максимально достоверно описать физические процессы при повреждении АТЭД.

#### Список литературы

- 1 Хамидов, О. Р. Математическая модель вибровозмущающих сил локомотивного асинхронного электродвигателя / О. Р. Хамидов, М. Н. Панченко // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2013. – № 4 (37). – С. 60–67.
- 2 Хамидов, О. Р. Разработка методики комплексного диагностирования асинхронного тягового электродвигателя подвижного состава железнодорожного транспорта / О. Р. Хамидов, О. Т. Касымов // Материалы конференций ГНИИ «Нацразвитие»: сб. избранных статей. – 2017. – С. 32–39.
- 3 Использование нейро-нечетких диагностических моделей при оценке технического состояния электрооборудования тепловоза / А. В. Агунов [и др.] // Электротехника. – 2017. – № 10. – С. 14–18.
- 4 Хамидов, О. Р. Оценка технического состояния асинхронных тяговых электродвигателей электровозов серии «UZ-EL» средствами вибродиагностики / О. Р. Хамидов, О. Т. Касымов // Материалы конференций ГНИИ «Нацразвитие». – 2017. – С. 13–19.
- 5 Хамидов, О. Р. Вибродиагностика повреждения подшипников качения локомотивных асинхронных электродвигателей / О. Р. Хамидов, А. В. Грищенко // Подвижной состав XXI века: идеи, требования, проекты: материалы VIII Междунар. науч.-техн. конф., Петербургский гос. ун-т путей сообщения, 3–7 июля. – СПб.: ПГУПС, 2013. – С. 174–176.



## РАБОТЫ ПО РАЗРАБОТКЕ РАЗДВИЖНОЙ КОЛЁСНОЙ ПАРЫ ДЛЯ ТРАНСКОЛЕЙНОГО ДВИЖЕНИЯ ГРУЗОВЫХ И ПАССАЖИРСКИХ ВАГОНОВ

*Р. И. ЧЕРНИН, П. А. ДАШУК*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

*А. В. АВХАЧЕВ*

*Могилёвское отделение Белорусской железной дороги*

Историческое развитие железнодорожного транспорта привело к тому что в XXI веке в Европе (континентальной ее части) существуют три различные магистральные ширины колеи: так называемые Европейская 1435 мм, Русская – 1520 (1524) мм и Иберийская – 1668 мм. На сегодня железнодорожный транспорт перестал решать лишь особые (локальные) задачи каждой из стран в отдельности, а вышел на новый уровень, приобрел новое значение в международных экономических связях. И поэтому вопросы минимизации времени прохождения «границ» колеи являлись и являются актуальными (технологии перехода вагонов с одной ширины колеи на другую начали разрабатываться уже в конце XIX – начале XX в.).

Можно выделить три варианта реализации технологии перехода вагонов с одной ширины колеи (процесс смены колеи): перегрузки-пересадки грузов и пассажиров, перестановки тележек или колёсных пар в тележках, а также изменение ширины колеи колёсных пар.

Перегрузка является самым старым из используемых способов смены ширины рельсовой колеи для перемещения грузов и пассажиров. Так, еще на пограничных станциях между царской Россией (затем СССР) и Европой происходила перегрузка грузов и пересадка пассажиров, что увеличивало время пребывания составов в пути и требовало дополнительных материальных затрат. Следует отметить, что практически все перегрузочные работы являются трудоемкими, а для некоторых видов грузов (например, опасных) они нежелательны либо принципиально невозможны. Более прогрессивным способом перехода стыков является перегрузка укрупненных грузовых единиц: контейнеров, контрейлеров и т. п. Но в целом перевалка грузов остается менее продуктивной технологией по сравнению с перестановкой вагонов на тележки под другую колею.

Вторым вариантом реализации технологии смены ширины колеи является перестановка на специализированных пунктах перестановки тележек в грузовых и пассажирских вагонах, но данная технология и ее разновидности также являются ресурсозатратными, хотя и в значительно меньшей степени, чем первый вариант реализации технологии смены колеи.

Наиболее эффективным способом преодоления железнодорожным подвижным составом системных стыков рельсовой колеи является применение раздвижных колёсных пар.

В настоящее время в мировой практике используются различные варианты конструкций раздвижных колёсных пар. Это обстоятельство указывает на то, что на современном этапе развития мировой экономики и международных торговых связей данное направление достаточно актуально. С учётом того, что Белорусская железная дорога находится на транспортном общеевропейском коридоре № 2, разработка собственной конструкции раздвижной колёсной пары позволит повысить её конкурентоспособность как перевозчика.

Обзор существующих вариантов конструкций раздвижных колёсных пар с информацией об особенностях их конструкций, опыта эксплуатации, приведен в работе [1]. По результатам выполненного обзора для дальнейшей разработки выбрана конструкция [2], отличительной особенностью которой является использование для изменения ширины колеи тангенциально-осевого замка (рисунок 1).

По результатам прочностных исследований выбранной конструкции раздвижной колёсной пары, приведенных в [3], было установлено, что максимальные напряжения в элементах составляют 350 МПа. Эти напряжения меньше предела текучести, а значит, можно считать, что прочность конструкции обеспечивается и есть резервы для снижения ее массы, а так как колесная пара является неподдресоренной массой, ее следует всемерно снижать для уменьшения динамического воздействия на железнодорожный путь.

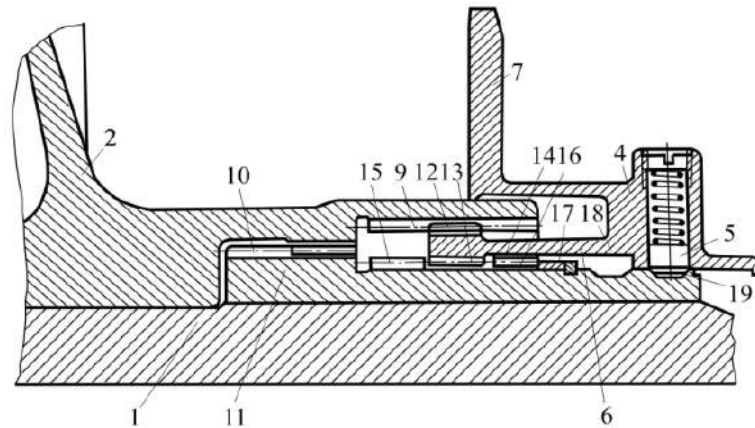


Рисунок 1 – Тангенциально-осевой замок [2]:

1 – ось колёсной пары; 2 – колесо с удлиненной ступицей; 3, 4 – фиксирующее устройство; 5 – подпружиненные сухари; 6 – расположенный концентрично оси стакан; 7 – цилиндрический фланец; 8, 10 – косозубые венцы; 9 – прямозубый венец; 11 – втулка; 12, 13, 14, 15, 16 – зубчатые венцы; 17 – упорное кольцо; 18, 19 – выемки.

На рисунке 2 приведены результаты расчётов конечно-элементной модели тангенциально-осевого замка по составляющим её элементам [3].

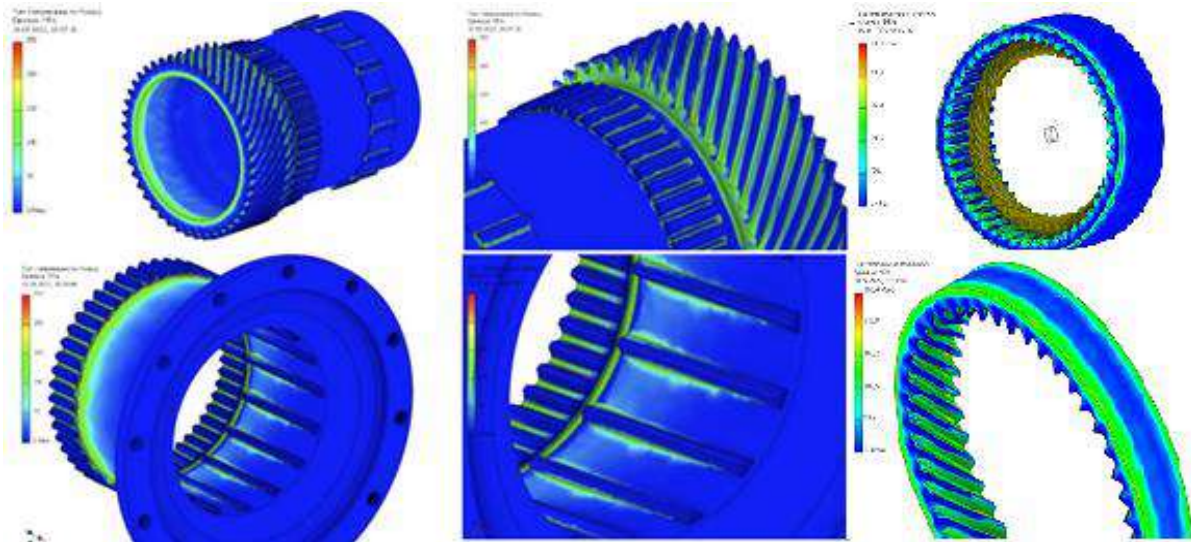


Рисунок 2 – Результаты расчёта элементов тангенциально-осевого замка [3]

Были выполнены работы по оптимизации конструкции рассматриваемого тангенциально-осевого замка и получен оптимизированный вариант для дальнейших расчётов по определению прочности конструкции замка в динамике для установления оптимальной скорости перевода, при которой будет обеспечиваться безопасность движения. Также важными являются исследования по влиянию смены ширины колеи колёсной пары на прочность напрессовки колеса на ось.

#### Список литературы

1 Технические решения по трансколейному движению железнодорожного подвижного состава за счёт изменения межколейного расстояния его ходовых частей / В. Я. Негрей [и др.] // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2022. – № 2 (45). – С. 58–63.

2 А.С. 479667 СССР, МКИ В 60b 19/04 В 61f 7/00. Раздвижная колёсная пара / А. Ф. Андреев, В. В. Новиков, А. А. Кривидкий, В. И. Зайка, Н. И. Мартьянов, И. В. Наумов. – № 1865547/27-11; заявл. 03.01.73; опубл. 05.08.75; приоритет 14.11.75.

3 **Чернин, Р. И.** Расчёт на статическую прочность тангенциально-осевого замка колёсной пары с изменяемой шириной колеи 1520/1435 мм / Р. И. Чернин, П. А. Дашук, А. В. Авхачев // Современные проблемы машиноведения : сб. науч. тр. В 2 ч. Ч. 1 ; под общ. ред. А. А. Бойко. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2023. – С. 148–152.

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И ПОСТРОЙКЕ СОВРЕМЕННЫХ ПАССАЖИРСКИХ ВАГОНОВ

*С. Н. ШАТИЛО*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Основными причинами возникновения пожаров в пассажирских вагонах являются неисправности электрооборудования и нарушение требований пожарной безопасности при монтаже электрической проводки; неисправности в системах отопления и неосторожное обращение с огнем в процессе эксплуатации пассажирских вагонов. Пожары в пассажирских вагонах представляют повышенную опасность т. к. горение происходит в замкнутом пространстве, в котором сосредоточена значительная пожарная нагрузка и находится большое количество пассажиров. Проведенные исследования показали, что современный вагон при пожаре сгорает в течение 7–10 минут, а линейная скорость распространения пожара достигает 2,5 м/мин, в проходах – до 5 м/мин. При этом температура внутри вагона достигает до 1000 °С. Это определяет повышенную опасность пожаров.

Опасными факторами пожара при его возникновении в пассажирском вагоне являются открытое пламя и искры; значительный тепловой поток; повышенная температура; выделение токсичных продуктов горения (окись углерода, хлористый и цианистый водород); снижение концентрации кислорода; снижение видимости при значительном выделении дыма и разрушающиеся элементы конструкции вагона. Пожарная опасность пассажирских вагонов во многом зависит от величины пожарной нагрузки, которая в современных вагонах достигает до 100 кг/м<sup>2</sup>.

Пожарная безопасность должна быть обеспечена системами предотвращения пожара и противопожарной защиты. В целом она должна исключать возникновение пожара в вагоне и обеспечивать безопасность пассажиров и обслуживающего персонала, материальных ценностей в случае пожара. Конструктивные и инженерные решения по обеспечению пожарной безопасности должны быть приняты на стадии проектирования. Эти решения должны соответствовать ГОСТ 12.1.004 «Пожарная безопасность. Общие требования» и быть направлены на снижение вероятности возникновения пожара и риска для пассажиров, работников железнодорожного транспорта. В настоящее время требования пожарной безопасности разработаны для конкретного типа и модели железнодорожного подвижного состава. В них отображены решения, которые направлены на устранение источников зажигания, обеспечение противопожарной устойчивости вагона, ограничение распространения пожара, своевременную и безопасную эвакуацию при пожаре, своевременное обнаружение, локализацию и тушение пожара.

Для повышения противопожарной устойчивости вагона в проекте должны быть заложены материалы, которые применяются для конструкций и внутренней отделки, позволяющие снизить пожарную нагрузку. Неметаллические материалы должны иметь соответствующие показатели пожарной опасности по горючести, воспламеняемости, распространению пламени по поверхности, дымообразующей способности и токсичности продуктов горения. Так, для шумо-, вибро-, термоизоляции кузова вагона должны быть применены, как правило, негорючие материалы. При применении материалов трудногорючих должны быть высокие показатели по другим факторам. Негорючие материалы должны применяться для подшивки термоизоляции крыши. Для перегородок, багажных полок, каркасов спальных полок и кресел, мебели, обшивки стен и других поверхностей, а также для обрешетки стен и потолков должны применяться трудногорючие материалы, имеющие высокие показатели по распространению пламени, дымообразующей способности и токсичности продуктов горения. Обивочные материалы должны быть трудновоспламеняемые при ограничении других показателей. В современных пассажирских вагонах допускается применение труб водоснабжения и отопления из металлополимеров или труб из полимерных материалов с применением негорючих вставок. При использовании негорючей теплоизоляции (минераловатные плиты) допускается применение в качестве гидроизоляции полиэтиленовой пленки. При выборе материалов необходимо учитывать, что они должны иметь соответствующие сертификаты (пожарной безопасности или соответствия) или протоколы испытаний, которые подтверждают приведенные выше показатели пожарной опасности.

С целью ограничения распространения пожара внутри вагона должны быть предусмотрены соответствующие противопожарные преграды (противопожарные перегородки, междуэтажные перекрытия двухэтажных вагонов). Противопожарные преграды должны быть установлены между слу-

жебным отделением с пультом управления электрооборудованием вагона и пассажирским салоном. Кроме этого, надпотолочное пространство пассажирского салона должно быть разделено не менее чем на три противопожарные зоны установкой противопожарных преград. Для вагонов открытой планировки с креслами для сидения такое решение не применяется. Конструктивно противопожарные преграды должны примыкать к металлическим конструкциям кузова вагона по всему контуру. При необходимости все зазоры между противопожарной преградой и металлом обшивки должны быть уплотнены набивкой из негорючего или трудногорючего материала. При разработке конструкции противопожарных преград должны быть учтены нормативные требования по пределу огнестойкости, который определяется по времени наступления признаков следующих предельных состояний: потери целостности (E), потери теплоизолирующей способности (I) и потери несущей способности (R). При этом предел огнестойкости противопожарной преграды между служебным отделением и пассажирским салоном должен быть не менее E 30/I 15, а между купе – EI 15. Предел огнестойкости светопрозрачного заполнения (остекления) дверей в противопожарных преградах должен быть не менее EI 30. Междуподэтажное перекрытие двухэтажных вагонов для обеспечения пожарной безопасности должно выполнять функцию противопожарной преграды и иметь предел огнестойкости не менее REI 30.

Особое внимание уделяется проектированию электрооборудования вагона. При этом регламентируется электрическая прочность изоляции электрических цепей вагона, а также корпуса и футляра аккумуляторов, которые должны быть изготовлены из трудногорючих или трудновоспламеняемых материалов. Должна быть защита электрических цепей от перегрузок и коротких замыканий. При применении электронагревателей или электропечей для отопления температура на поверхности наружных кожухов не должна превышать 55 °С. Особое внимание уделяется взрывобезопасности при эксплуатации аккумуляторных батарей. Аккумуляторные боксы должны изготавливаться во взрывозащитном исполнении, а концентрация водорода внутри аккумуляторных ящиков не должна превышать 0,7 %. Электропроводка пассажирского вагона должна быть выполнена с применением кабельных изделий с соответствующими показателями пожарной опасности, которые регламентируются ГОСТ 31565-2012 «Кабельные изделия. Требования пожарной безопасности». При выборе кабельных изделий в данном случае необходимо учитывать, что класс пожарной опасности данных изделий зависит от области применения в пассажирском вагоне. При этом выделены три области применения: для аварийного освещения и пожарной сигнализации; для основного освещения и других электрических цепей в пассажирских помещениях, отключаемых при аварийной ситуации; для электрических цепей, проложенных за пределами пассажирских помещений. Наиболее высокие требования предъявляются к электропроводке для аварийного освещения и пожарной сигнализации. В этом случае допускаются к применению электрические провода и кабели, имеющие класс пожарной опасности в пределах П1б.7.1.2.1 – П2.7.2.2.2, для других вариантов применения кабельных изделий класс пожарной опасности находится в пределах П1б.8.1.2.1 – П2.8.2.2.2. Пожарная безопасность вагона во многом зависит также от способа прокладки электропроводки по конструкциям вагона (в металлических коробах и трубах с ограниченной подвижностью, в металлорукавах с ограниченной подвижностью, в жгутах и кабель-каналах). При этом прокладка может осуществляться по негорючим материалам – непосредственно, а по горючим материалам – с применением специальных подкладок из негорючих материалов или в металлорукавах.

При проектировании систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха должны быть учтены требования по конструктивному исполнению данных систем и обеспечению противопожарных разделок в местах вывода дымовытяжных труб и изоляции негорючими или трудногорючими материалами с противопожарной отступкой. Температура на поверхности конструктивных элементов вагона из горючих материалов не должна превышать 60 °С, а на поверхностях из трудногорючих материалов – 120 °С. Электрокалориферы и электропечи необходимо оборудовать системой автоматического терморегулирования. Дополнительные требования предъявляются к прокладке воздухопроводов систем вентиляции и кондиционирования воздуха. Для ограничения распространения пожара через воздухопроводы в них должны устанавливаться противопожарные клапаны, автоматически и дистанционно перекрывающие воздухопроводы. Должно предусматриваться автоматическое отключение систем вентиляции кондиционирования воздуха и воздушного отопления при пожаре. Современные пассажирские вагоны должны быть оборудованы автоматическими системами пожарной сигнализации и средствами пожаротушения. Для обеспечения безопасных условий эвакуации пассажиров должны предусматриваться эвакуационные выходы.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ УСТАЛОСТНЫХ ТРЕЩИН В ЛОБОВЫХ ЧАСТЯХ ОБМОТКИ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ТЕПЛОВОЗА

М. А. ШРАЙБЕР

Петербургский государственный университет путей сообщения имени Александра I,  
Российская Федерация

Процесс расслаивания изоляции лобовых частей обмотки тягового электродвигателя тепловоза моделируется с помощью анализа методом конечных элементов при квазистатической нагрузке. При этом вершины трещины на изгибе испытывают смешанную нагрузку, сочетающую напряжения раскрытия и напряжения сдвига. Чтобы инициировать рост трещины, предварительная трещина размером 1 мм расположена в центре изгиба. При этих упрощенных предположениях динамика роста расслоения в направлении двух сторон исследуется с учетом глобального поведения зависимости «напряжение – деформация» и изменения скорости вершины трещины.

Предполагается, что материал изоляции многослойный с пропиточным слоем. Динамика роста расслоения изучается с учетом глобального поведения «напряжение – деформация» и скоростей движения вершины трещины.

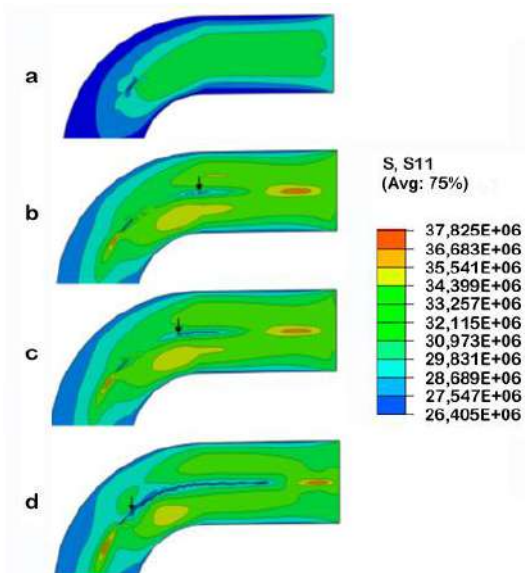


Рисунок 1 – Контуры гармонического напряжения сдвига при динамическом росте трещины (за левой вершиной трещины следует стрелка):  
а – исходное состояние; б –  $N_i = 10$  циклов;  
с –  $N_i = 100$  циклов; циклов; д –  $N_i = 1000$  циклов

При перпендикулярной нагрузке в изгибе преобладает радиальное растягивающее напряжение, которое достигает своего максимального значения в центре криволинейной области, ниже центральной линии изгиба (рисунок 1).

Преобладание напряжений постепенно меняется с ростом напряжения растяжения на левом конце трещины на сильное увеличение напряжения сдвига непосредственно перед правым концом трещины. Левая сторона вершины трещины показывает преобладание напряжения растяжения, тогда как правая сторона вершины трещины показывает преобладание напряжения сдвига.

Вторичная трещина расширяется в двух направлениях. Левый конец трещины растет, пока не сливается с центральной трещиной. Центральная трещина остается неподвижной в течение этого времени и даже после слияния. Линейно-упругий анализ не покажет каких-либо признаков высоких касательных напряжений для возможной области вторичной трещины из-за того, что на ранних стадиях нагружения видны только высокие уровни напряжения в вершине трещины. Формирование вторичной трещины можно проследить, сравнив усилия сдвига и развитие повреждений вдоль поверхности раздела.

Это может быть связано с развитием сложного повреждения вдоль границы раздела, которое влияет на податливость на более поздних этапах загрузки. Параметр поврежденности начинается с нуля (неповрежденная граница раздела) и достигает единицы при образовании трещины. Область максимального повреждения расширяется вокруг обоих концов трещины. Однако повреждение вдали от вершин трещин остается меньше единицы. Это означает, что уровень повреждения не настолько высок, чтобы допустить образование вторичной трещины.

Однако в середине плеча также наблюдается участок ненулевой поврежденности, и при дальнейшем увеличении нагрузки параметр поврежденности увеличивается быстрее в области вторичной трещины вдали от вершины трещины. Новая зона повреждения зарождается и растет в области вторичной трещины. При дальнейшем нагружении параметр поврежденности перестает увеличиваться вблизи вершин трещины, а повреждение распространяется вокруг вторичной трещины, вызывая ее рост.

## Список литературы

- 1 Шрайбер, М. А. Конечно-элементное моделирование тепловых процессов асинхронного тягового электродвигателя / М. А. Шрайбер // Железнодорожный подвижной состав: проблемы, решения, перспективы : сб. материалов первой Междунар. науч.-техн. конф., Ташкент, 20–23 апреля 2022 г. – 2022. – С. 203–208.
- 2 Шрайбер, М. А. Моделирование термомеханических напряжений в изоляции тягового электродвигателя переменного тока. IV Бетанкуровский международный инженерный форум : электронный сб. тр. – СПб. : ПГУПС, 2022. – С. 410–412.
- 3 Шрайбер, М. А. Влияние термомеханической нагрузки на старение изоляции тяговых электродвигателей тепловозов / М. А. Шрайбер // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2022. – Т. 19, № 2. – С. 242–248.
- 4 Грищенко, М. А. Экспериментальные исследования тепловых процессов в якоре тягового электродвигателя тепловоза / М. А. Грищенко // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2010. – № 3 (24). – С. 78–89.

УДК 669.18

## ОПТИМИЗАЦИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ РАЗМЕРОВ ЗВЕНЬЕВ МЕХАНИЗМА ПОПЕРЕЧНО-СТРОГАЛЬНОГО СТАНКА

С. З. ЮНУСОВ, Ш. И. МАМАЕВ, А. Н. АВДЕЕВА, Т. М. ТУРСУНОВ

Ташкентский государственный транспортный университет, Республика Узбекистан

Среди многих приоритетных направлений развития Узбекистана, принятых указом президента на 2022–2026 годы, ключевой целью является увеличение КППД на душу населения в 1,6 раза за счёт высоких темпов роста экономики, включая горнодобывающую промышленность, сельское хозяйство, а главное – машиностроение. В реализации этой задачи особую роль играет создание современного технологического оборудования. Большую группу этого оборудования составляют долбежные и строгальные станки, которые используются в механических цехах, на всех крупных заводах Узбекистана (включая горно-металлургический комбинат в городе Алмалык, горно-металлургический завод в городе Навои, агрегатный завод сельскохозяйственных машин и механический завод в Ташкенте), а также в мелкосерийном производстве.

На рисунке 1 изображена кинематическая схема поперечно-строгального станка с кулисным механизмом привода. Механизм состоит из стоек 0, кривошипа 1, шатунов 4, 6, коромысла-кулисы 2 и кулис 3, 5. Станок работает от электродвигателя, который передает вращение шестисторонней коробки скоростей на вал, оборудованный скользящей шпанкой. Шпанка держит тройной блок шестерен, гарантирующий валу режим из трех скоростей. Следовательно, во время движения блока вдоль оси вала происходит поочередный захват шестерен с шестернями, закрепленными на шпонке на валу [1]. Работа поперечно-строгального станка (рисунок 1) происходит следующим образом. Резец совершает горизонтальное возвратно-поступательное движение со скоростями  $v_{p,x}$  (рабочего хода) и  $v_{x,x}$  (холостого хода). Это движение характеризуется числом двойных ходов в минуту полуза. Один двойной ход состоит из рабочего хода, при котором резец срезает слой металла сечением  $f = ts = ab$ , мм<sup>2</sup>, и холостого хода, при котором резец возвращается в исходное положение [1].

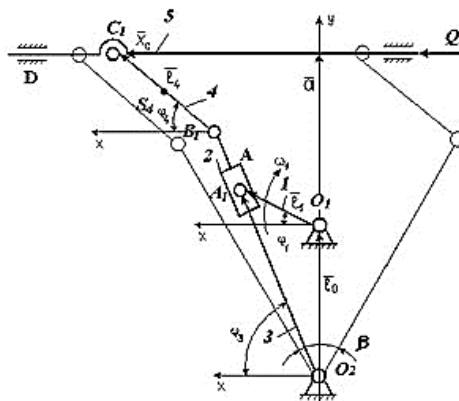


Рисунок 1 – Механизм поперечно-строгального станка

Для составления аналитических зависимостей воспользуемся условием замкнутости контуров их кинематических цепей, так как оно более удобно для плоских механизмов. Составляя уравнения проекции звеньев на соответствующие оси координат, устанавливают функциональную связь между кинематическими параметрами, характеризующими движение входных и выходных звеньев механизмов.

Изображенный на рисунке 1 шестизвенный механизм состоит из кривошипа 1, кулисного камня 2, качающейся кулисы 3, шатуна 4 и ползуна 5, совершающего возвратно-поступательное движение относительно стойки 6. Начальным звеном является кривошип, совершающий вращательное движение с угловой скоростью  $\omega_1$ . Кривошип является также и ведущим звеном, так как обладает обобщенной координатой – углом  $\varphi_1$ . Выбираем прямоугольную систему координат  $XOY$ , начало которой совпадает с центром шарнира  $O_1$ , ось  $X$  проходит через точки  $O_2$  и  $B$ , а ось  $Y$  проводится

параллельно движению ползуна 5. Углы  $\varphi_1$ ,  $\varphi_3$  и  $\varphi_4$  отсчитываются от положительного направления оси  $X$  в направлении вращения кривошипа 1. Записываем условие замкнутости контура, составленного из векторов  $l_{AB}$ ,  $l_{AC}$  и  $l_{CB}$  звеньев 1, б и 3 в виде векторного уравнения:

$$l_{AB} = l_{AC} + l_{CB};$$

$$EB \sin \varphi_3 = l_1 \sin \varphi_1 + l_0; \quad EB \cos \varphi_3 = l_1 \cos \varphi_1 + l_1; \quad l_0 + \varphi = l_4 \sin \varphi_4 + l_3 \sin \varphi_3;$$

$$X_D = l_4 \cos \varphi_4 + l_3 \cos \varphi_3; \quad l_3 \cos \varphi_4 = l_1 \cos \varphi_1 + (l_3 - EB) \cos \varphi_3;$$

$$\cos \varphi_4 = \frac{l_1 \cos \varphi_1}{EB} - EB^2 = l_0^2 + l_1^2 - 2l_1 l_0 \cos(90 + \varphi_1) = l_0^2 + l_1^2 + 2l_1 l_0 \sin \varphi_1; \quad EB = \sqrt{l_0^2 + l_1^2 + 2l_1 l_0 \sin \varphi_1},$$

$$\cos \varphi_3 = \frac{l_1 \cos \varphi_1}{\sqrt{l_0^2 + l_1^2 + 2l_1 l_0 \sin \varphi_1}}, \quad X_D = l_4 \cos \varphi_4 + \frac{l_3 l_1 \cos \varphi_1}{\sqrt{l_0^2 + l_1^2 + 2l_1 l_0 \sin \varphi_1}}; \quad \sin \varphi_3 = \sqrt{1 - \frac{l_1^2 \cos^2 \varphi_1}{l_0^2 + l_1^2 + 2l_1 l_0 \sin \varphi_1}}.$$

Дифференциал уравнения по  $\varphi_1$ :

$$0 = l_4 \cos \varphi_4 d\varphi_4 + l_3 \cos \varphi_3 d\varphi_3;$$

$$dX_D = -l_4 \sin \varphi_4 d\varphi_4 - l_3 \sin \varphi_3 d\varphi_3;$$

$$0 = U_{43} l_4 \cos \varphi_4 + l_3 \cos \varphi_3;$$

$$\frac{dX_D}{d\varphi_3} = -l_4 U_{43} l_4 \sin \varphi_4 - l_3 \sin \varphi_3 = U_{53}.$$

Представленные тригонометрические уравнения являются основой для аналитического метода кинематического анализа механизма поперечно-строгального станка. Составив алгоритм и программу расчётов в вычисленной среде Mathcad [2], авторы статьи получили математическую модель зависимости изменения промежуточных передаточных отношений от длин звеньев механизма.

Проанализировав график зависимости изменения передаточного отношения «кривошип – кулиса»  $U_{31}$  от длины кривошипа (рисунок 2), авторами статьи сделан вывод, что оптимальные значения кривошипа находятся в диапазоне от 250 до 300 миллиметров, так как именно здесь возникают максимальные значения передаточного отношения  $U_{31}$ . Расчёты сделаны на один оборот кривошипа.

$$U_{31} = f(l_1) \text{ при } \varphi_1 = 0 \dots 360^\circ.$$

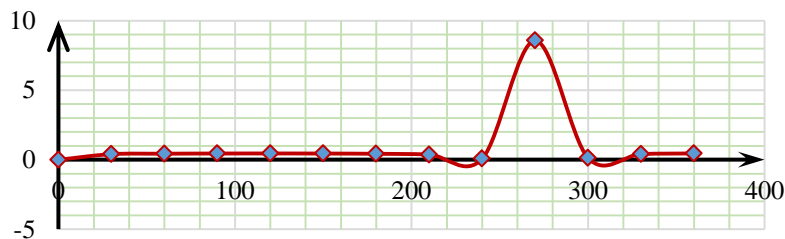


Рисунок 2 – График зависимости изменения передаточного отношения  $U_{31}$  от длины кривошипа за один оборот

В результате исследования была разработана математическая модель работы и аналитического исследования кинематического анализа механизма поперечно-строгального станка. В работе получены математические выражения, которые описывают перемещение выходного – рабочего звена, в виде функций углов поворота входных и промежуточных звеньев.

Проведены расчёты оптимальных размеров кривошипа, кулисы и шатуна, механизма поперечно-строгального станка, при заданном значении расстояния между линией движения резца и местом крепления кривошипа к стойке, с использованием прикладной программы MathCAD.

Предложена перспектива совершенствования существующих машин, в состав которых входят кулисные механизмы, аналогичные поперечно-строгальному станку, и изобретения новых.

#### Список литературы

- 1 Халилов, И. А. Способ синтеза рычажного механизма, обеспечивающего заданный закон движения / И. А. Халилов // Вестник машиностроения. – 2017. – № 3. – С. 3–5.
- 2 Мацюк, И. Н. Кинематический анализ плоских рычажных механизмов высоких классов в программе MathCAD / И. Н. Мацюк // Теория механизмов и машин. – 2012. – Т. 10., № 1. – С. 65–70.
- 3 Optimization of the operation of the mechanism of the cross planer / S. Mamayev [et al.] // E3S Web of Conferences. – 2023. – Vol. 401. – P. 05026. – EDP Sciences.

## ЦЕПНАЯ ПЕРЕДАЧА ДЛЯ ЦИКЛОВЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН

С. З. ЮНУСОВ, Ш. А. МАХМУДОВА

Ташкентский государственный транспортный университет, Республика Узбекистан

На нынешнем этапе развития хлопкоперерабатывающей отрасли основной упор делается на энергосбережение и долговечность производственных машин, что ставит перед исследователями новые цели и задачи. Одной из них является разработка новых типов конструкций передач.

В процессе переработки хлопка-сырца нагрузки на рабочие органы очень часто или, можно сказать, периодически меняются из-за внутреннего сопротивления системы, массы и влажности перерабатываемого сырья. Это приводит к тому, что нагрузки на привод меняются. Такие частые изменения нагрузок на привод приводят к различным механическим последствиям. Например: усталость материала, излишние колебания системы, изменения конструктивных параметров оборудования и т. д., что недопустимо и в целом отрицательно влияет на процесс переработки сырья. В хлопкоочистительной промышленности широко применяются ременные и цепные передачи.

Основными недостатками ременных передач являются переменность передаточного числа вследствие проскальзывания, сокращение долговечности с возрастанием скорости движения ремней, электризация и вследствие этого невозможность применения во взрывоопасных средах, значительные нагрузки на опорах валов [1].

Цепная передача обычно используется для передачи вращательного движения между двумя параллельными валами. Эта передача механической энергии при помощи гибкого элемента – цепи, за счёт сил зацепления. Может иметь как постоянное, так и переменное передаточное число (например, цепной вариатор).

Передача состоит из цепи 1, цепных колёс – звездочек 2 и валов 3, на которые звездочки насажены. Цепи огибают ведущую и ведомую звездочки. Зацепление звездочек с цепью обеспечивает передачу движения. Долговечность цепных передач зависит от свойств материалов звездочек, качества их изготовления и монтажа. Звездочки малых диаметров могут изготавливаться заодно с валом. Для экономии материалов зубчатые венцы цепных колёс целесообразно делать отдельно от центра. Крупные звездочки изготавливают с диском или со спицами; они могут быть и составными (рисунок 1).

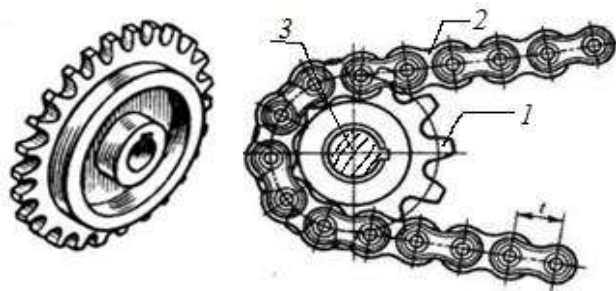


Рисунок 1 – Цепная передача

Цепные передачи применяют при больших межосевых расстояниях, когда зубчатые передачи невозможно использовать из-за громоздкости, а ременные передачи – в связи с требованиями компактности или постоянства передаточного отношения. В зависимости от конструкции цепей применяют передачи мощностью до 5000 кВт при окружных скоростях до 30–35 м/с. Наиболее распространены цепные передачи мощностью до 100 кВт при окружных скоростях до 15 м/с [2].

Основными достоинствами цепных передач являются относительно высокие значения мощности, высокий КПД, большое межосевое расстояние, возможность распределения передаваемой силы между пятью и шестью зубьями малых звездочек, меньшая, по сравнению с ременными передачами, нагрузка на валы и их опоры, возможность передачи вращения одной цепью нескольким валам.

В сравнении с ременными передачами они характеризуются следующими достоинствами: отсутствием проскальзывания и постоянством среднего передаточного отношения; отсутствием предварительного натяжения и связанных с ним дополнительных нагрузок на валы и подшипники; передачей большой мощности как при высоких, так и при низких скоростях; сохранением удовлетворительной работоспособности при высоких и низких температурах; приспособлением к любым изменениям конструкции удалением или добавлением звеньев.

Цепные передачи универсальны, просты и экономичны. По сравнению с зубчатыми передачами они менее чувствительны к неточностям расположения валов, ударным нагрузкам, допускают практически неограниченные межцентровые расстояния, обеспечивают более простую компоновку, большую подвижность валов друг относительно друга.



Основными недостатками цепных передач является то, что во время работы рабочий вал привода при увеличении наружной нагрузки за счет зацепления продолжает вращаться с нагрузкой. Это приводит к тому, что шарниры цепи растягиваются. Работа цепной передачи при растянутой цепи приводит к тому, что расстояние между шарнирами увеличивается. В этом случае долговечность цепной передачи резко снижается. Существующие цепные передачи не обеспечивают останов ведомой звездочки при повышенных внешних нагрузках.

Для решения этой задачи предлагается новая усовершенствованная конструкция ведомой звездочки цепной передачи. Новая конструкция цепной передачи (рисунок 2) включает ведущую 1 и ведомую 2 звездочки, охватывающую их цепь 3, натяжное устройство 4. Ведомая звездочка 2 выполнена составным способом. Ведомая звездочка 2 состоит из основания 5, жестко связанного с валом 6, надетый на него упругой втулки 7 и наружной втулки 8, наружная поверхность которой выполнена синусоидальной формы. При этом радиусы впадин и выступов синусоиды совпадают с размерами цепи.

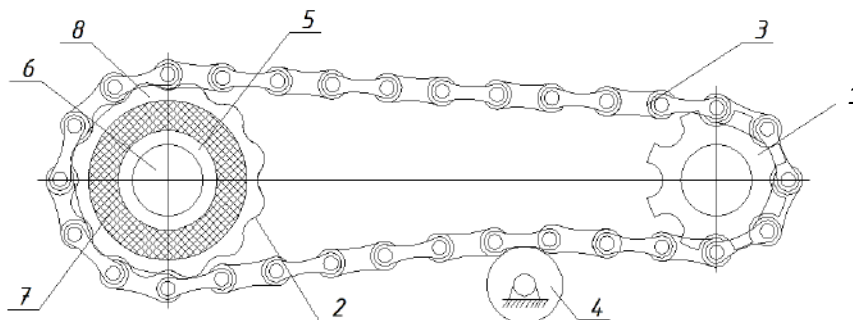


Рисунок 2 – Новая цепная передача

Передача работает следующим образом. Вращательное движение от ведущей звездочки 1 передается к ведомой звездочке 2 через цепь 3. В процессе работы, если увеличивается нагрузка на рабочий вал 6, упругая втулка 7 деформируется в достаточной степени по оси звездочки, в свою очередь уменьшается натяжение. Это приводит к тому, что между цепью 3 и ведомой (рабочей) звездочкой 2 не происходит зацепления. Фактически процесс вращения рабочего вала останавливается. Цепь 3 начинает проскальзывать по синусоидальным зубьям звездочки 2 за счет деформации упругой втулки 7, т. е. нагрузка через цепь 3 на ведущую звездочку 1 не передается. При уменьшении нагрузки передача опять будет работать в нормальном режиме. Таким образом, можно преодолеть от нагрузки на конструкцию, в частности, на цепь 3 и на двигатель привода. Уменьшение диаметра вершин звездочки 2 зависит от передаваемой мощности и скорости вращения вала привода, при этом увеличивается надежность цепной передачи и обеспечение необходимых остановок ведомой звездочки при значительном увеличении внешних нагрузок. Данную конструкцию цепной передачи рекомендуется использовать в тихоходных приводах технологических машин.

#### Список литературы

- 1 Гузенков, П. Г. Детали машин / П. Г. Гузенков. – М. : Высш. шк., 1982. – С. 121–137.
- 2 Воробьев, Н. В. Цепные передачи / Н. В. Воробьев. – М. : Машиностроение, 1968. – С. 39–42.

УДК 67.05

## ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ НА ДИНАМИКУ ТРЕХМАССОВОЙ СИСТЕМЫ

С. З. ЮНУСОВ, Ш. А. МАХМУДОВА, С. Н. КЕНЖАЕВ

*Ташкентский государственный транспортный университет, Республика Узбекистан*

Рассмотрим трехмассовую систему, где требуется обеспечение крутильных колебаний третьей массы (рисунок 1) с необходимой амплитудой и частотой при воздействии технологического сопротивления. При этом колебания угловой скорости и момента первой и второй массы должны быть минимальными.

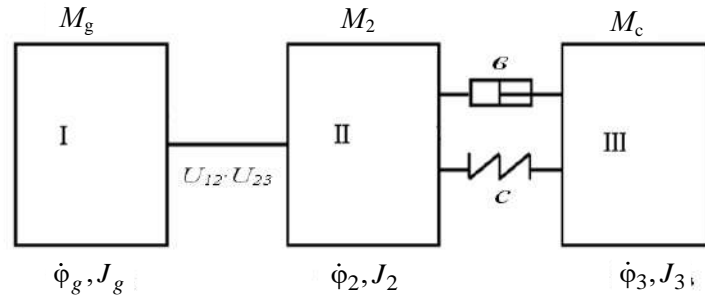


Рисунок 1 – Расчетная схема трехмассовой системы с ременной передачей

Для обеспечения вышеуказанных режимов работы системы решена задача динамики в виде машинного агрегата. При этом следует обосновать и рекомендовать инерционные, а также упруго-диссипативные параметры системы. Система дифференциальных уравнений, описывающие движение трехмассовой системы ускорителя сырцового валика пильного джина, имеет вид

$$\begin{aligned} \dot{M}_g &= 2M_k\omega_c - 2M_k p\dot{\phi}_g - \omega_c S_k M_g; \\ J_g \ddot{\phi}_g &= M_g - U_{12}^{-1} M_{12}; \\ J_2 \ddot{\phi}_2 &= M_{12} - c(\phi_2 - U_{23}\phi_3) - b(\dot{\phi}_2 - U_{23}\dot{\phi}_3); \\ J_3 \ddot{\phi}_3 &= U_{23}^{-1} c(\phi_2 - U_{23}\phi_3) + U_{23}^{-1} b(\dot{\phi}_2 - U_{23}\dot{\phi}_3) - M_c; \\ M_c &= M_1 - M_0 \sin \omega t, \end{aligned}$$

где  $M_g, M_k$  – движущий и критический моменты двигателя;  $\omega_c$  – угловая частота сети;  $\dot{\phi}_g, \dot{\phi}_2, \dot{\phi}_3$  – угловые скорости ротора двигателя, промежуточного и вала ускорителя,  $c^{-1}$ ;  $U_{12}, U_{23}$  – передаточные отношения редуктора и упругой передачи;  $S_k$  – критическое скольжение двигателя;  $M_c$  – момент сопротивления от технологической нагрузки, Н·м;  $\omega$  – частота изменения сопротивления;  $M_1, M_0$  – постоянное и амплитудное составляющие момента технологического сопротивления;  $M_{12}$  – взаимодействующий момент между первой и второй массой.

На основе полученных решений построены графики, характеризующие движение машинного агрегата, определен максимальный размах колебаний угловой скорости рабочего вала, неравномерность вращения валов привода  $\dot{\phi}_g, \dot{\phi}_2, \dot{\phi}_3$  и крутящий момент на валу электродвигателя  $M_g$ . Известно, что математическая модель машинного агрегата позволяет изучать переходной процесс пуска системы. Из полученного решения задачи видно, что при расчетных значениях параметров система в основном выходит на установившийся режим за 0,1–0,15 с, а с учетом дополнительных угловых колебаний вращающихся масс за счет упруго-диссипативных свойств в системе переходной процесс пуска затягивается до 2,2–2,6 с. Следует отметить, что для уменьшения времени переходного пуска машинного агрегата целесообразным считается уменьшение суммарного момента инерции вращающихся масс, увеличение коэффициента диссипации упругого элемента (резины). При этом для увеличения неравномерности  $\delta_g, \delta_2, \delta_3$  эффективным является уменьшение момента инерции рабочего вала. Это объясняется тем, что возмущение, приводящее к неравномерности угловых скоростей системы, приложено к третьей массе [2].

На рисунке 2 представлены графические зависимости изменения движущего момента двигателя и размаха угловых скоростей. Анализ зависимостей показывает, что увеличение нагрузки  $M_c$  приводит не только к возрастанию нагрузки на электродвигатель, но и к увеличению размаха колебаний угловых скоростей вращающихся масс системы. Так, при увеличении  $M_c$  от 30 Н·м до 95 Н·м, нагрузка на двигатель возрастает до 20–21 Н·м, размах угловой скорости выходного вала повышается до 4,6 рад/с. Кроме того, при возрастании  $M_c$  до 95 Н·м, средние значения угловых скоростей уменьшаются по нелинейной закономерности. Так,  $\dot{\phi}_g$  уменьшается с 151,7 до 144,9 рад/с, а  $\dot{\phi}_3$  – с 29,8 до 25,7 рад/с.

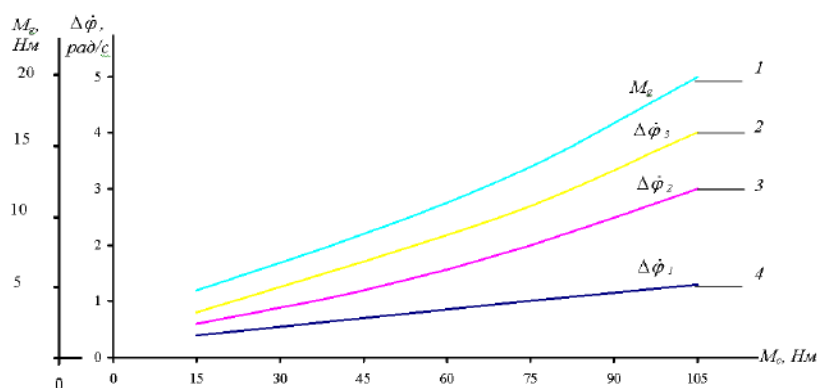


Рисунок 2 – Зависимости изменения движущего момента двигателя, размаха угловых скоростей масс машинного агрегата от изменения технологического сопротивления:

$$1 - M_g = f(M_c); 2 - \Delta\dot{\varphi}_3 = f(M_c); 3 - \Delta\dot{\varphi}_2 = f(M_c); 4 - \Delta\dot{\varphi}_1 = f(M_c)$$

Анализ полученных результатов показывает, что с увеличением жесткости от 13,5 до 54 Н·м/рад размах угловой скорости ускорителя сырцового валика уменьшается с 4,6 до 1,4 рад/с, а  $\Delta\dot{\varphi}_g$  с 3,1 рад/с до 1,2 рад/с. При этом размах  $\Delta M_g$  уменьшается с 2,85 до 0,35 Н·м. Это объясняется тем, что с увеличением круговой жесткости упругой втулки система становится «единой» (ближе к одномассовой) или передаточные отношения между массами, приближаются к постоянному значению. При увеличении массы системы пропорционально уменьшается неравномерность угловой скорости масс системы. Учитывая, что для обеспечения необходимых (из условий технологического процесса) значений неравномерности  $\delta_3 = 0,11 \dots 0,15$ , наиболее рациональными значениями коэффициента круговой жесткости упругой передачи являются 36–54 Н·м/рад. Для уменьшения времени переходных процессов в машинном агрегате целесообразным считается увеличение коэффициента диссипации упругого элемента. Для обеспечения времени пуска системы до 0,8–1,5 с. и значительного снижения переходных процессов в установившемся режиме движения машинного агрегата рекомендуемые значения коэффициента диссипации  $b = 3,5 \dots 4,0$  Н·м/рад.

Анализ графических зависимостей изменения движущего момента двигателя и размаха угловых скоростей показывает, что увеличение нагрузки  $M_c$  приводит не только к возрастанию нагрузки на электродвигатель, но и к увеличению размаха колебаний угловых скоростей вращающихся масс системы. На основе динамического анализа трехмассовой системы с учетом технологического сопротивления построены графики, характеризующие движение машинного агрегата, определены максимальный размах колебаний угловой скорости рабочего вала, неравномерность вращения валов привода  $\dot{\varphi}_g, \dot{\varphi}_2, \dot{\varphi}_3$  и крутящий момент на валу электродвигателя  $M_g$ .

#### Список литературы

- 1 Асинхронные двигатели серии 4А / А. Э. Кравчик [и др.]. – М. : Энергоиздат, 1982. – 504 с.
- 2 Задгенизов, В. Г. Исследование влияния основных параметров двухмассовой колебательной системы на ее динамические характеристики / В. Г. Задгенизов, С. Х. Файзов // Polytech Journal. – 2022. – Т. 26, № 2. – С. 164–172. – DOI :10.21285/1814-3520-2022-2-164-172.

## 2 УПРАВЛЕНИЕ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ

УДК 656.222.3:656.073.73

### ВЛИЯНИЯ ОПЕРАЦИЙ ПРИЕМА И СДАЧИ ВАГОНОВ, ВЫПОЛНЯЕМЫХ НА СТАНЦИИ ПЕРЕДАЧИ ВАГОНОВ НА СРОК ДОСТАВКИ

*А. А. АКСЁНЧИКОВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Создание конкурентоспособных условий для транзитных перевозок через Республику Беларусь – приоритетное направление в стратегии Белорусской железной дороги. Наиболее значимым параметром, влияющим на конкурентоспособность железнодорожного транспорта, являются срок доставки груза (товара). В связи с этим основная задача Белорусской железной дороги – уменьшение времени нахождения транзитного поезда на территории Республики Беларусь.

Доставка груза по назначению в установленные сроки имеет важное значение для экономики Республики Беларусь и является одной из основных обязанностей Белорусской железной дороги по выполнению договора перевозки.

Срок доставки груза определяется по формуле

$$T_{\text{дост}} = t_0 + t_{\text{дост}} + \sum t_{\text{доп}},$$

где  $t_0$  – установленное время на операции по отправлению груза (одни сутки);  $t_{\text{дост}}$  – срок доставки груза, сут;  $\sum t_{\text{доп}}$  – время на дополнительные операции, сут.

Срок доставки определяется на весь путь следования груза исходя из Правил исчисления сроков доставки грузов железнодорожным транспортом общего пользования.

Методология контроля и управления сроком доставки грузов в системе доставки груза должна базироваться на следующих видах нормативов доставки грузов.

*Юридический срок доставки груза ( $T_{\text{ю}}$ )* – срок доставки груза, рассчитанный в соответствии с Правилами перевозок грузов или установленный договором-контрактом на конкретную перевозку. Для участвующей в перевозке  $i$ -й дороги срок доставки груза  $T_{\text{ю}i}$  устанавливается в зависимости от вида сообщения, вида отправки, скорости перевозок, тарифного расстояния, наличия начально-конечных и дополнительных операций в пределах данной дороги.

*Технологический срок доставки груза ( $T_{\text{т}}$ )* – срок доставки груза, рассчитанный в соответствии с действующей нормативной организацией грузового движения (план формирования грузовых поездов и график движения поездов). Срок доставки груза  $T_{\text{т}}$  может быть больше либо меньше срока доставки груза  $T_{\text{ю}}$  как по отдельным дорогам, так и в целом по маршруту следования. Это связано в основном с отклонениями вагонопотоков от тарифного маршрута следования и с неравномерным распределением по маршруту операций переработки и поездообразования на технических железнодорожных станциях.

Технологический срок доставки груза в международном сообщении будет определяться суммой времени нахождения поезда на территории  $i$ -й страны:

$$T_{\text{т}} = \sum_{i=1}^k t_{\text{пер } i},$$

где  $t_{\text{пер } i}$  – время нахождения поезда на территории  $i$ -й страны, ч;  $k$  – количество стран, встречающихся на пути следования груза.

Время нахождения поезда на территории  $i$ -й страны будет складываться из времени нахождения поезда на входной и выходной СПВ, времени обработки транзитного поезда на технических желез-

нодорожных станциях данной страны и времени движения поезда между техническими железнодорожными станциями.

*Контрольный срок доставки груза ( $T_k$ )* – срок доставки груза, по которому контролируется выполнение срока доставки груза.

*Оперативный срок доставки груза ( $T_o$ )* – динамическая характеристика срока доставки грузов (в отличие статических юридического, технологического, контрольного). Этот срок доставки груза для дороги  $i$  определяется с учетом оперативных корректировок плана формирования грузовых поездов и потерь (экономии) времени при перевозке по предшествующим ( $i - 1$ ) дорогам.

Рассмотрены два направления следования транзитных грузовых поездов в международном сообщении через территорию Республики Беларусь из России в Литву (Гомель (Закопытье) – Молодечно (Гудогай) по 9-му международному (Критскому) транспортному коридору и из Польши в Россию (Брест – Орша (Красное) по 2-му международному (Критскому) транспортному коридору).

Грузовой поезд проходит транзитом через Республику Беларусь. Исходя из этого  $t_{\text{доп}}$  будет равно нулю (так как никаких грузовых операций с грузом производиться не будет), в этом случае  $T_{\text{ю}} = t_{\text{тар}}$ . Расстояние, по которому рассчитывается плата за перевозку ( $l$ ), составляет: из России в Литву (Гомель (Закопытье) – Молодечно (Гудогай)  $l = 378$  км; из Польши в Россию (Брест – Орша (Красное)  $l = 564$  км. При перевозке большой скоростью норма суточного пробега поезда для первого и второго случая  $l_{\text{тар}} = 320$  км/сут.

При следовании грузового поезда из России в Литву он проходит входную СПВ Гомель, три технические железнодорожные станции: Жлобин, Осиповичи, Минск – и выходную СПВ Молодечно.

Контрольный срок доставки грузов  $T_k$  будет равняться юридическому сроку доставки груза  $T_{\text{ю}}$ , так как рассматриваем движение грузового поезда в пределах одной дороги.

Оперативный срок доставки грузов  $T_o$  определен по исполненному графику движения поездов, проходящих по Белорусской железной дороге.

Анализируя произведенные расчеты, можно сказать, что расчетные сроки доставки груза разнятся от реального срока доставки груза.

Проанализировав времена нахождения поездов на станциях передачи вагонов, технических станциях и времени движения поездов по участкам между техническими станциями, можно сделать следующий вывод.

Ускорение продвижения международных поездов по территории Республики Беларусь можно осуществить следующими мероприятиями:

– капитальные вложения в модернизацию и обновление технических средств и подвижного состава, для увеличения скорости движения поезда по транспортным коридорам, что приведет к уменьшению времени нахождения поездов в движении между техническими станциями (капитальные вложения в реконструкцию верхнего строения пути, закупку нового подвижного состава, для увеличения скорости движения поезда по участку; реконструкция путевого развития станций);

– совершенствование технологии обработки поездов на станциях передачи вагонов, что уменьшит нахождение поездов на этих станциях (оптимизация технологии обработки поездов на станциях передачи вагонов).

Если первое мероприятие является трудоемким, долгосрочным и требует больших капитальных вложений, то второе мероприятие на первом этапе является наиболее предпочтительным.

В процессе изучения и исследования времени нахождения транзитных поездов международного сообщения на станциях передачи вагонов Брест, Барановичи, Орша, Витебск, Лида, Молодечно было установлено, что время нахождения поездов на этих станциях зависит от технологии обработки поездов (в том числе от приемо-сдаточных операций), рода груза, который находится в поездах, и контроля технологических каналов, участвующих в обработке поездов.

Технологический канал представляет собой функционально самостоятельный, технологический модуль, характеризующийся временем выполнения единичных операций и некоторым средним временем простоя транспортных единиц за сутки или другой отрезок времени.

Таким образом, при проведении контроля и оперативном управлении сроком доставки груза необходимо учитывать различные факторы, которые могут влиять на него. Одним из таких факторов являются приемо-сдаточные операции, выполняемые на СПВ, которые влияют на срок доставки груза.

## **ОСНОВЫ НОВОГО ПОДХОДА К ИССЛЕДОВАНИЮ, РАЗРАБОТКЕ И ВНЕДРЕНИЮ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПРИПОРТОВЫМИ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ**

*М. В. БАКАЛОВ*

*Ростовский государственный университет путей сообщения,  
г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация*

Текущие условия развития логистических систем доставки грузов, характеризующиеся высокой размерностью, зашумленностью информации, неопределенностью ситуаций, турбулентностью функционирования [1] требуют изменения идеологии транспортного обслуживания (моделей, схем и методов). Особую роль в процессе доставки грузов играют припортовые транспортно-технологические системы. В которых традиционно функционирует значительное число участников перевозочного процесса [2, 3]. Совершенствование указанной идеологии требует реализации не-скольких этапов, которые могут быть представлены следующим образом.

I Анализ развития транспортно-технологических систем припортовых регионов, который включает:

- характеристику припортовых транспортно-технологических систем России;
- анализ эволюции транспортно-технологических систем;
- исследование основных трендов развития припортовых транспортных систем за рубежом;
- анализ взаимоотношений и ответственности участников перевозочного процесса.

В эпоху цифровой и интеллектуальной трансформации транспортной сферы традиционные взаимоотношения, смысл ответственности участников транспортного процесса меняется. Теперь это не только операторы автоматизированных и автоматических систем управления, но и чатботы, роботы, виртуальные (индивидуальные и коллективные) агенты, которые тесно взаимодействуют с человеком, вовлеченным в транспортный процесс [4]. В настоящее время для всех этих участников нет разработанных регламентов, нет правовых нормативов отношений.

II Совершенствование структуры и организации взаимодействия участников перевозок в припортовых транспортно-технологических системах, которое содержит следующие подэтапы.

1 Анализ взаимодействия участников перевозочного процесса: конкуренция и кооперация [5].

Категории «конкуренция», «кооперация» и «сотрудничество» в новых условиях приобретают новый смысл. Всем вышеперечисленным участникам легче придать свойства агента, автоматически функционирующего по заданной программе так, как это происходит в муравьиной колонии, пчелиной семье. У них нет врожденных эмоций, амбиций, но есть способность к самопожертвованию. Это позволяет легко выйти на механизмы коллективного интеллекта.

2 Представление припортовой транспортно-технологической системы в виде транспортного ценоза (с учетом роли и места в нем компаний холдингового типа, средних и малых транспортных предприятий).

Транспорт – обслуживающая сфера. Его структура, цели, задачи существенным образом зависят от базовых отраслей экономики и общественной жизни. Эта подчиненность не позволяет говорить о транспортных объединениях, как о независимых ценозах. Кроме того, транспортные подотрасли (автомобильная, железнодорожная, морская и пр.) тесно взаимодействуют друг с другом. Поэтому уместно говорить о транспортных квазиценозах.

3 Уточнение роли и места саморегулируемых организаций в припортовых транспортно-технологических системах.

Объемы перевозок и скорости транспортных процессов в настоящее время таковы, что соответствующие транспортные системы не поддаются анализу и управлению человеком. Единственный выход – создание самоорганизующихся и саморегулируемых транспортных систем, которые способны без прямого участия человека совершенствовать свою структуру и параметры.

4 Организация единого информационного пространства участников перевозочного процесса с выявлением проблем и перспектив развития [6].

III Систематизация и разработка методов и инструментов мультиагентного взаимодействия в припортовых транспортно-технологических системах [7], включающих:

- технологические процессы работы;
- оценку и развитие регламентов взаимодействия участников перевозочного процесса;
- мультиагентные системы;
- самоорганизующиеся системы;

IV Анализ и разработка механизмов согласования интересов участников перевозок, включая оценку особенностей государственного регулирования в транспортно–технологических системах (организационно–нормативный подход).

Внедрение цифровых и интеллектуальных транспортных систем изменяет роль и смысл государственного управления транспортом. На смену жесткой системы прямого управления приходят многоэтапное управление (например, через СРО), индикативное управление, формирующее пространство для управления сложными транспортными объектами.

Это требует совершенствования существующих и синтеза новых средств и методов согласования интересов участвующих сторон. Вот некоторые из них:

– взаимодействие участников перевозок на основе ГЕМ распределения подвижного состава (технологический подход);

– согласование интересов на основе теории активных систем;

– исследование механизмов распределения ресурсов;

– использование положений теории игр при согласовании интересов;

– синтез общей методологии согласования интересов участников перевозок.

5 Внедрение и расчет экономических аспектов мультиагентного взаимодействия в припортовых транспортно–технологических системах, в том числе:

– анализ экономических аспектов взаимной ответственности участников перевозочного процесса;

– разработка предложений по совершенствованию нормативно–правовой базы, регламентирующей ответственность участников перевозок;

– расчет ожидаемого экономического эффекта от использования разработанных инструментов и методов;

– апробация разработанных механизмов в припортовой транспортно–технологической системе (на примере Северо–Кавказской железной дороги).

Таким образом, предложенный подход позволит усовершенствовать процессы управления в припортовых транспортно–технологических системах, повысить их эффективность.

#### Список литературы

1 **Бородин, А. Ф.** Проблемы комплексного развития железнодорожной инфраструктуры в припортовых транспортных узлах / А. Ф. Бородин // Транспорт Российской Федерации. – 2017. – № 4 (71). – С. 45–50.

2 **Павлов, И. Г.** О скорости и сроках доставки грузевых и порожних вагонов / И. Г. Павлов, В. Н. Зубков, М. В. Бакалов // Железнодорожный транспорт. – 2014. – № 12. – С. 10–15.

3 **Мамаев, Э. А.** Развитие транспортно-логистических услуг на припортовых железных дорогах в условиях цифровой трансформации отрасли / Э. А. Мамаев, В. Н. Зубков, Е. А. Чеботарева // Наука и техника транспорта. – 2021. – № 4. – С. 43–49.

4 Нейросетевое исследование транспортных систем / О. Н. Числов // Транспорт: наука, техника, управление. ВИНТИ РАН. – 2021. – № 10. – С. 9–14.

5 **Бакалов, М. В.** Системный подход к вопросу взаимодействия и конкуренции в региональной транспортной системе / М. В. Бакалов // Транспорт и логистика: стратегические приоритеты, технологические платформы и решения в глобализованной цифровой экономике : сб. науч. тр. III Междунар. науч.-практ. конф. – Ростов н/Д : РГУПС, 2019. – С. 36–39.

6 **Алибеков, Б. И.** Мультиагентные системы в логистике: информационно-аналитические аспекты / Б. И. Алибеков, Э. А. Мамаев // Вестник Дагестанского государственного университета. Сер. 1. Естественные науки. – 2017. – Вып. 4. – Т. 32. – С. 56–62.

7 Multi-agent optimization of the intermodal terminal main parameters by using AnyLogic simulation platform: Case study on the Ningbo-Zhoushan Port / A. Rakhmangulov [et al.] // International Journal of Information Management. – 2021. – Vol. 57. – P. 102–133. – DOI : 10.1016/j.ijinfomgt.2020.102133.

УДК 656.07+06

### ОРГАНИЗАЦИЯ МУЛЬТИАГЕНТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В ПРИПОРТОВЫХ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

*Ю. А. БАКАЛОВА*

*Ростовский государственный университет путей сообщения,  
г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация*

Объектом настоящего исследования является региональная транспортная система, осуществляющая поставку грузов в морские порты – припортовая транспортная система (ПТС) [1]. Предметом

исследования выступают организация и управление как собственно перевозками, так и соответствующим транспортным производством (техническое обслуживание и ремонт оборудования (ТО-иР), снабжение объекта необходимыми ресурсами, организация взаимодействия всех участников (внутренних и внешних агентов) и пр.).

Предмет исследования распространяется на исследование теоретических, методических подходов к организации мультиагентного взаимодействия в ПТС, а также инструментария повышения эффективности участников перевозочного процесса, включая вопросы взаимодействия предприятий различных видов транспорта и предприятий грузовладельцев, вопросы конкуренции и кооперации, методы мультиагентного взаимодействия.

Актуальность темы определяется тем, что успешное функционирование ПТС зависит от слаженной работы значительного количества участников перевозочного процесса: грузоотправителей, грузополучателей, владельцев инфраструктуры железнодорожного транспорта, подвижного состава, перевозчиков, государственных структур и др.

ПТС – устоявшееся обозначение сложного транспортного комплекса, в названии которого присутствует категория «система» [2]. По сути же ПТС системой не является. В ней можно выделить различные формы организации: система, сеть, ценоз. Действительно, в ней нет:

- жестких связей, как, например, внутри одной организации между ее подразделениями;
- единой цели участников (более того, как правило, цели участников противоречивы);
- единого ресурсного обеспечения работ;
- единого информационного пространства, в котором есть данные обо всех участниках процессов в ПТС. То есть, в нашей задаче (организация взаимодействия в ПТС) мы оперируем категориями «агенты» вместо категории «элементы», характерной для систем.

#### **Проблемы взаимодействия участников ПТС.**

1 Отсутствие единого протокола обмена данными, баз данных и баз знаний с регламентированным доступом участников (то, что и составляет единое информационное пространство взаимодействия участников перевозочного и обеспечивающих процессов).

2 Неэффективная кооперация и конкуренция между хозяйствующими субъектами (ХС), видами транспорта, участвующими в работе ПТС [3].

3 Отсутствие единого, независимого (неангажированного) органа контроля и принятия решений.

4 Дополнительная нагрузка на инфраструктуру при переходе груза с одного вида транспорта на другой, что вызывает эксплуатационные и финансовые потери, значительную долю транспортной составляющей в цене российских товаров [4].

Особую актуальность приобретают вопросы методического обеспечения, разработки новых, совершенствования существующих методов организации и управления взаимодействием участников транспортного процесса в припортовых транспортно-технологических системах с учетом клиентоориентированности, мультиагентности транспортных процессов, взаимоучета интересов участников перевозок, цифровизации транспортной отрасли и др.

#### **Предложения по совершенствованию работы ПТС.**

Предложения по совершенствованию мультиагентного взаимодействия в ПТС можно проклассифицировать по трем группам, характеризуемым структурой возможных отношений: организационные меры, развитие технологий анализа и синтеза взаимодействия, разработка соответствующего математического инструментария.

1 *Организационные структуры.* Агенты ПТС могут формировать различные структуры:

– системные – проявляются на локальных участках работы ПТС (например, внутри отдельных предприятий). В этом случае оргмеры по развитию и поддержанию функционирования составляющих ПТС хорошо разработаны и определяются менеджментом (теория организационного управления) организации;

– сетевые – проявляются в рамках отдельных технологических процессов по перевалке грузов. В этом случае на первое место выходят сетевые графики, оперограммы технологических процессов;

– технико-технологические ценозы [5] – проявляются в рамках транспортного полигона, на котором осуществляется функционирование ПТС.

– регламентированные формы сетевых структур, подходящие к ПТС, кластеры и саморегулируемые организации (СРО) [6] – их объединение возможно через создание некоторого надоргана, функционирующего на основе единого сетевого технологического процесса.



2 *Технологии анализа и синтеза взаимодействия агентов в ПТС*. В основе этого подхода лежит организационно-технологическая надежность (ОТН) [7, 8].

3 *Математический инструментарий взаимодействия участников перевозочного процесса*.

Базовый математический инструментарий исследования ПТС включает SWOT- и PEST-анализы, когнитивный анализ [9], морфологический анализ [10].

Среди множества моделей и методов отметим еще два наиболее важных подхода, описывающих ПТС. Это теория массового обслуживания [11] и теория активных систем [12].

#### Список литературы

- 1 **Черняев, А. Г.** На основе развития инфраструктуры и полигонных технологий / А. Г. Черняев, В. Н. Зубков, М. В. Бакалов // Железнодорожный транспорт. – 2016. – № 9. – С. 32–37.
- 2 **Волкова, В. Н.** Основы теории систем и системного анализа : учеб / В. Н. Волкова, А. А. Денисов. – СПб. : Изд. СПбГПУ, 2005. – 520 с.
- 3 **Бакалов, М. В.** Системный подход к вопросу взаимодействия и конкуренции в региональной транспортной системе / М. В. Бакалов // Транспорт и логистика: стратегические приоритеты, технологические платформы и решения в глобализованной цифровой экономике : сб. науч. тр. III Международ. науч.-практ. конф., 2019. – С. 36–39.
- 4 **Павлов, И. Г.** О скорости и сроках доставки груженых и порожних вагонов / И. Г. Павлов, В. Н. Зубков, М. В. Бакалов // Железнодорожный транспорт. – 2014. – № 12. – С. 10–15.
- 5 **Кудрин, Б. И.** Классика технических ценозов. Общая и прикладная ценология / Б. И. Кудрин. – Томск : ТГУ, Центр системных исследований, 2006. – Вып. 31. Ценологические исследования. – 220 с.
- 6 **Белоцерковский, А.** Саморегулируемые организации в высшем профессиональном образовании: «прогноз погоды» / А. Белоцерковский // Высшее образование в России. – 2008. – № 12. – С. 3–9.
- 7 **Верескун, В. Д.** Математический инструментарий управления сетевым технологическим процессом / В. Д. Верескун, Е. Г. Шепилова // Транспорт: наука, техника, управление. – 2013. – № 8. – С. 12–13.
- 8 **Верескун, В. Д.** Организационно-технологическая надежность и эффективность функционирования производственных объектов железнодорожного транспорта / В. Д. Верескун. – Новосибирск : Изд-во СГУПС, 2010. – 256 с.
- 9 **Горелова, Г. В.** Методы теории графов в когнитивном анализе и моделировании социально-экономических систем / Г. В. Горелова, В. П. Карелин // Вестник Таганрогского института управления и экономики. – 2005. – № 1. – С. 74–78.
- 10 **Колесников, М. В.** Методика разработки морфологической идентификации параметров управления предприятием / М. В. Колесников // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2005. – № 1. – С. 81–83.
- 11 **Лябах, Н. Н.** Системы массового обслуживания: развитие теории, методология моделирования и синтеза / Н. Н. Лябах, М. А. Бутакова. – Ростов н/Д : ЮНЦ РАН, РГУПС, 2004. – 283 с.
- 12 **Новиков, Д. А.** Состояние и перспективы теории активных систем / Д. А. Новиков // Управление большими системами : сб. трудов. – 2004. – № 9. – С. 7–26.

УДК 656.2

## О ПЕРСПЕКТИВНЫХ ВАРИАНТАХ ОСВОЕНИЯ ПЕРЕВОЗОК ГРУЗОВ СОЮЗНОГО ГОСУДАРСТВА

*А. Ф. БОРОДИН, И. А. ПОРЕЧИНА*

*АО «Институт экономики и развития транспорта», г. Москва, Российская Федерация*

В соответствии с паспортом федерального проекта «Развитие железнодорожных подходов к морским портам Северо-Западного бассейна», утвержденным в составе транспортной части комплексного плана модернизации и расширения магистральной инфраструктуры Российской Федерации на период до 2024 года, предусматривается обеспечение суммарной провозной способности железных дорог на подходах к портам Северо-Западного бассейна в размере 145,6 млн т в с 2020 по 2024 год. Такая провозная способность была рассчитана исходя из устоявшихся связей с учетом сохранения грузовых перевозок в сообщении с железнодорожными пограничными пунктами пропуска Северо-Западного полигона.

Однако с учетом санкционной политики в отношении России, сокращения грузоперевозок через железнодорожные пункты пропуска в сообщении с недружественными странами в 2022 году произошло переключение отдельных связей на морские порты. В 2022 году объемы перевозок грузов железнодорожным транспортом через морские порты Северо-Западного полигона составили 148,5 млн т (снижение через железнодорожные пункты пропуска со странами Балтии в 2022 году составило 14,2 млн т к уровню 2021 года).

Динамичные изменения в структуре и мощности транспортных потоков в Европейской части железнодорожной сети в 2022–2023 годах и на перспективу до 2030 г. связаны как с перераспределением перевозок на морские порты, так и с ростом загрузки транспортного коридора Север – Юг, возросшей концентрацией грузопотоков угля, руды и химических удобрений, беспрецедентным ростом контейнерных перевозок с увеличением объемов отправления контейнерных поездов.

Вывоз грузов железнодорожным транспортом из Республики Беларусь через порты Северо-Запада в 2022 году составил 5,1 млн т; при этом резервы перевозочной мощности направления перевозки практически исчерпаны.

Сценарные проработки освоения перспективных грузопотоков должны предусматривать обоснование:

- мероприятий по развитию пропускных и провозных способностей, гармонизированное с развитием мощностей морских терминалов с учетом неопределенности значений корреспонденций перспективных транспортных потоков;
- изменения категоричности железнодорожных участков, где происходит существенное снижение размеров движения поездов, с соответствующим снижением расходов по их содержанию;
- унификации норм массы и длины грузовых поездов на вариантных направлениях перевозок [1];
- применения методов интенсификации использования перевозочной мощности железных дорог на лимитирующих направлениях [2].

Потенциально Северо-Западный полигон может служить инфраструктурной базой формирования новых логистических цепочек транзитных перевозок грузов из Республики Беларусь.

Сценарное моделирование предусматривало варианты увеличения годовых объемов перевозок транзитных грузов в диапазоне до 20 млн т с распределением по морским портам Санкт-Петербург, Бронка, Усть-Луга, Приморск и Мурманск.

Особенностью данной задачи является принципиальное различие двух зон следования транспортных потоков. Дальний подход (направление Завережье – Невель – Дно – Луга – Гатчина (через Батецкую и через Псков) имеет возможности для развития (удлинение станционных путей, восстановление 6 разъездов и станции Черняковицы, а также оборудование участка Батецкая – Луга автоблокировкой (36 км).

Ближний подход (предузловые участки и внутриузловые ходы Санкт-Петербургского узла) имеет высокую загрузку в настоящее время и в расчетной перспективе, при ограниченных возможностях увеличения перевозочных мощностей [3].

При этом альтернативные маршруты следования либо весьма капиталоемки (как, например, восстановление линии Псков – Гдов с выходом на Веймарн, строительство Юго-Западного обхода Санкт-Петербургского узла Владимирская – Бронка), либо дают большое увеличение расстояний перевозки (например, через Брянск – Вязьму – Осугу – Шаховскую – Новосokolьники).

Поэтому организация поездопотоков на направлениях перевозок должна быть такой, чтобы исключить потери мощности лимитирующих участков и станций.

Наиболее предпочтительным к реализации является вариант, предполагающий распределение объемов перевозок по портам Санкт-Петербург, Бронка, Усть-Луга и Мурманск со сроком окупаемости проекта для ОАО «РЖД» 7,9 лет. Реализацию данных мероприятий необходимо закончить в 2026 году.

Дополнительно были проработаны альтернативные варианты пропуска грузопотока из Республики Беларусь с различными объемами и точками погашения грузопотока и сравнение их экономических показателей. Варианты концентрации пропуска перспективного грузопотока из Республики Беларусь в один из портов Северо-Запада (Бронка, Приморск или Мурманск) являются практически некупаемыми. Их целесообразно рассматривать в дальнейшей перспективе при суммарном годовом грузопотоке более 20 млн тонн.

Детализация предлагаемых решений должна быть проработана с применением гибридной технологии имитационного моделирования [4] и принципов решения задач компромиссного управления [5], которые обеспечивают согласование параметров взаимодействующих транспортных инфраструктур.

Согласно детальному плану мероприятий комплексного инвестиционного проекта «Развитие и обновление железнодорожной инфраструктуры на подходах к портам Северо-Западного бассейна» в 2025

году будет создана провозная способность на подходах к портам Северо-Западного бассейна 156,2 млн т. По результатам выполненных расчетов надлежит актуализировать детальный план с включением дополнительных мероприятий, направленных на обеспечение перевозки грузов Союзного государства. При этом необходимо дополнительное развитие пропускных способностей направлений Дмитров – Сонково – Мга (второй этап развития), Заверезье – Дно – Гатчина и использование высвобожденных пропускных способностей существующих направлений.

Другим крупным комплексом проблем является дальнейшее развитие транспортно-экономических связей Союзного государства с Китайской Народной Республикой и государствами Центральной и Южной Азии, которое основано прежде всего на контейнеризации перевозок широкой номенклатуры грузов с соответствующим развитием терминальной сети, инфраструктурного и ресурсного обеспечения перевозок в контейнерных поездах, в том числе длинносоставных, объединенных, скоростных.

#### Список литературы

- 1 Комплексные решения проблем развития инфраструктуры и перевозочных ресурсов / А. Ф. Бородин [и др.] // Мир транспорта, 2017. – Т. 15, № 1. – С. 6–17.
- 2 Повышение и использование перевозочной мощности полигонов сети: эффективные стратегия и тактика / А. Ф. Бородин [и др.] // Железнодорожный транспорт, 2022. – № 7. – С. 8–16.
- 3 Взаимодействие и развитие железнодорожных узлов Центра и Северо-Запада сети ОАО «РЖД» / А. Ф. Бородин [и др.] // Бюллетень ученого совета АО «ИЭРТ». – 2023. – № 8–1. – С. 44–61.
- 4 Методы гибридной технологии имитационного моделирования при выборе вариантов реконструктивных мероприятий по развитию железнодорожных направлений и крупных узлов / А. Ф. Бородин [и др.] // Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2021) : тр. четырнадцатой Междунар. конф. / под общ. ред. С. Н. Васильева, А. Д. Цвиркуна. – М., 2021. – С. 963–971.
- 5 Пулатов, П. Н. Организация вагонопотоков и рационализация эксплуатационной работы при перевозках в международном сообщении / П. Н. Пулатов, Д. В. Рубцов // Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование (ИСУЖТ-2018) : тр. седьмой науч.-техн. конф. – М. : НИИАС, 2018. – С. 35–39.

УДК 656.225:004.896

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДЕЛИ ЦИФРОВОГО ВИРТУАЛЬНОГО ГРУЗОВОГО ПОЕЗДА В РЕШЕНИИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ЗАДАЧ

*В. В. ВДОВЕНКО, В. Г. КУЗНЕЦОВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Основной транспортной единицей Единой технологии перевозочного процесса (ЕТПП) на железнодорожном транспорте является грузовой поезд, который объединяет состав вагонов и локомотив в соответствии с планом формирования (ПФ), графиком движения (ГДП) и другими НПА. В информационном плане грузовой поезд интегрирует большой массив данных о грузах, вагонах, тяговом подвижном составе, собственниках, месте нахождения в транспортной сети и состоянии в транспортном процессе [1]. В системах оперативного управления информация о грузовом поезде синтезируется в АСУ локального уровня участниками перевозочного процесса (перевозчиками, клиентами, экспедиторами, операторами и т. п.) на основе первичных данных о грузе, транспортных средствах, операциях, а также иных условиях и событиях. Процесс перехода от бумажных носителей к электронным средствам коммуникаций на основе электронного натурального листа (ЭНЛ), электронного документооборота, электронной перевозки и подобных информационных средств позволяет создать цифровой виртуальный грузовой поезд (ЦВГП) [1, 2].

ЦВГП является интегрированным информационным транспортным объектом (объединяет информацию о грузах, вагонах и локомотивах в один объект – переменный массив данных) интеллектуальной технологической системы автоматизированного управления перемещением грузов и транспортных средств посредством комплексных отраслевых систем ИАС ПУР ГП (БЧ), АСОУПЗ (РЖД) и т. п. (обобщенно ИСУПП – информационная система управления перевозочным процес-

сом). Использование ЦВГП позволяет расширить возможности применения интеллектуальных технологий в системах управления железных дорог (ЦУП, ЦУМР и др.), логистических цепях доставки грузов клиентов, перевозчиков, экспедиторов и других участников перевозочного процесса [3].

Концепция использования ЦВГП основывается на корпоративной информационной базе ИАС ПУР ГП (ИСУПП) и ее модели перевозочного процесса (МПП), которая имеет достаточную структуру, необходимую для ЦВГП: поездная модель (ПМД); локомотивная модель (ЛМД); модель отправок (ОМД); вагонная модель (ВМД) [4].

*Поездная модель (ПМД)* является важнейшей сетевой моделью перевозочного процесса и представляет собой совокупность массивов, отражающих информацию о составах поездов и операциях с ними на станциях. Предлагается следующий идентификатор ПМД, который отражает параметры ЦВГП исходя из задач формирования и пропуски поезда:

$$I^{ПМД} = \{(P_{pq}, Q, m, \vartheta_T, \dots); (T_{\phi}, T_{обр.о}, T_{пр.л}, T_{отпр}, \dots); \{T_s\}, \dots, (T_{приб}, T_{обр.п}, \dots)\},$$

где  $P_{pq}$  – станция формирования и назначения;  $Q$  – вес поезда;  $m$  – длина состава, в вагонах;  $\vartheta_T$  – ограничение скорости по грузу или по вагону;  $T_{\phi}$  – время формирования поезда;  $T_{обр.о}$  – время обработки поезда по отправлению;  $T_{пр.л}$  – время прицепки поездного локомотива;  $T_{отпр}$  – время отправления;  $\{T_s\}$  – совокупность операций проследования поездом станций;  $T_{приб}$  – время прибытия на станцию расформирования;  $T_{обр.п}$  – время обработки состава по прибытии.

*Отправочная модель дороги (ОМД)* обеспечивает информацию о вагоне с грузом. ОМД позволяет через ЦВГП отслеживать пользователям (по установленному протоколу с использованием блокчейн-технологий) перемещение и состояния вагона с грузом в железнодорожной сети.

Основой формирования базы данных ОМД является АС «Электронная перевозка», с помощью которой грузоотправители подают заявку на перевозку. В автоматизированной системе САПОД формируется в электронном виде необходимая информация о грузах в виде товаротранспортных и товаросопроводительных документов. Данная информация транслируется в ИАС ПУР ГП, что позволяет сформировать ЭНЛ, который содержит необходимую информацию о грузах и является основой ЦВГП. Предлагается следующий идентификатор ОМД, который включает необходимые для ЦВГП параметры, отражаемые этой моделью:

$$I^{МОД} = \{(\Gamma_1, \Gamma_2, \Gamma_3, \Gamma_{pq}; \dots \{\Gamma\}); (T_1^r, T_2^r, T_3^r, T_4^r, \dots)\},$$

где  $\Gamma_1$  – род груза в соответствии с номенклатурой;  $\Gamma_2$  – объем перевозимого груза;  $\Gamma_3$  – особенности груза в соответствии с Правилами перевозок;  $\Gamma_{pq}$  – станция погрузки и выгрузки;  $\{\Gamma\}$  – совокупность других параметров;  $T_1^r$  – подача заявки на перевозку;  $T_2^r$  – предъявление груза к перевозке;  $T_3^r$  – хранение на складе;  $T_4^r$  – погрузка груза в вагон и др.

*Вагонная модель дороги (ВМД)* зарождается посредством банка данных АС САПОД (ЭТРАН) и представляет собой подсистемы данных, отражающих информацию о каждом вагоне и имеющий основной ключ доступа – инвентарный номер вагона. Предлагается следующий идентификатор ВМД, который включает необходимые для ЦВГП параметры, отражаемые в модели:

$$I^{ВМД} = \{(V_1, V_2, V_3, V_4, V_5, \dots); (T_{п}, T_{в}, T_{р}, \dots)\},$$

где  $V_1$  – тип вагона;  $V_2$  – грузоподъемность;  $V_3$  – ограничение скорости;  $V_4$  – объем кузова;  $V_5$  – категория годности;  $T_{п}$  – операция погрузки;  $T_{в}$  – операция выгрузки;  $T_{р}$  – техническое обслуживание (текущий, деповской) и др.

На путях накопления станции моделируется процесс составообразования в соответствии с множеством установленных назначений ПФ по согласованным расчетным параметрам. Из вагонной модели идентифицируются данные на каждый вагон формируемого состава ЦВГП с новым набором характеристик: количество вагонов по роду подвижного состава и состоянию, условная длина состава, вес поезда, особые условия перемещения вагонов в составе и т. д. После того как состав сформировался, в модель ЦВГП включаются локомотив и локомотивная бригада, моделируется график отправления его со станции.

Локомотивная модель дороги (ЛМД) используется для решения задач управления локомотивным парком и содержит сведения о продвижении локомотивов и изменении их состояний, об объединении и разъединении секций локомотивов, об изменении контролируемого парка локомотивов и др. Локомотивная часть ЦВГП определяет тяговые возможности в процессе движения грузового поезда от станции формирования до станции расформирования и параметры движения поезда по участкам в соответствии с ГДП. Предлагается следующий идентификатор ЛМД, который включает необходимые параметры, отражаемые этой моделью:

$$I^{ЛМД} = \{ (L_T, L_c, L_M, L_g, L_{сек}, \dots); (T_{вых}, T_{пр}, T_o, \dots, \{T_s\} \dots) \},$$

где  $L_T$  – тип локомотива;  $L_c$  – серия локомотива;  $L_M$  – мощность;  $L_g$  – ограничение скорости;  $L_{сек}$  – секционность;  $T_{вых}$  – выход из депо;  $T_{пр}$  – прицепка локомотива к составу;  $T_o$  – отправление состава;  $\{T_s\}$  – операции в пути из ПМД и др.

Поездная модель железнодорожной администрации (ЖДА) формируется на основе ЭНЛ-ТГНЛ, которая образуется на станции формирования поездов каждой железной дороги, и должна быть сопряжена с данными взаимодействующих железных дорог. Исходя из условий поездообразования на технических станциях и пропуска по участкам на маршруте следования может быть установлен идентификатор ЦВГП, через необходимую совокупность параметров, приемлемых перевозчику, оператору инфраструктуры и иным участникам перевозочного процесса:

$$I^{ЦВГП} = (\{m\}; \{Q\}; \{P_n\}; \{P_q\}; \{T_p, T_q\} \dots).$$

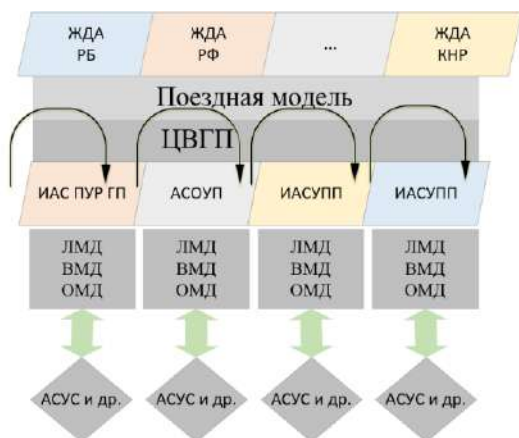


Рисунок 1 – Циркуляция информации ЦВГП через модели и системы

Модель ЦВГП реализуется через сетевую распределительную систему и должна обеспечить передачу данных из одной системы в другую и доступ пользователям (рисунок 1).

Информационная среда ЕТПП на железнодорожном транспорте формируется посредством локальных, интегрированных отраслевых и межотраслевых автоматизированных систем, которые создают исходную базу данных для информационной среды ЦВГП: АС «МЕСПЛАН»; АС ССП; АС «Электронная перевозка»; АС САПОД; АСУС и других [5].

В ИСУПП может быть использован функционал цифровой технологии «Блокчейн». В системе управления движением грузовых поездов блокчейн-технологии позволяют повысить качество планирования и регулирования процессов ЕТПП, что обеспечи-

вает устойчивость цепочки перемещения вагонов в поездах и снижение поездных затрат ЕТПП. Блокчейн-технологии позволяют идентифицировать участников транзакционных отношений при реализации ЕТПП, что снижает риски и дополнительные расходы.

Развитие геоинформационных систем (ГИС) позволяет перейти на новый уровень использования ЭНЛ и осуществить посредством ЦВГП привязку вагонов к объектам инфраструктуры, привязку вагонов к клиентам на станциях, привязку вагонов к маневровым локомотивам и др.

Применение ЦВГП актуально при решении следующих задач:

- автоматизации планирования маневровой работы на технических станциях за счет моделирования поездообразования;
- автоматизации тяговых ресурсов и расчет параметров движения поезда по участку;
- автоматизации ведения грузовых поездов на участках;
- автоматизации разработки актуального ГДП;
- планирования подвода вагонов к клиентам, геоинформационной локации грузов клиентов на маршруте следования в реальном масштабе времени;
- взаимодействие участников перевозочного процесса на основе блокчейн-технологий;
- автоматизация планирования поездной работы в ЦУП, ЦУМР железных дорог.

Для повышения качества оперативного управления необходимо повышать объем автоматизированной обработки данных, уровень автоматизированного информационного обеспечения. Внедрение технологии ЦВГП позволяет:

- повысить уровень автоматизации информационного обеспечения за счет создания нового информационного решения ЦВГП, которое учитывает необходимые атрибуты данных (ПМД, ВМД, МОД, ЛМД) и дислокацию на сети грузовых поездов в реальном масштабе времени;
- создавать новые информационные решения для управления поездообразованием и регулирования движением поездов, основанные на ГБД (геоинформационных базах данных), элементом этой базы является ЦВГП;
- уменьшить энтропию принятия управленческих решений, за счет возможности развития информационно-аналитических методов управления и моделирования поездной работы с использованием ЦВГП (ЦУП, ЦУМР, станции, клиенты).

#### Список литературы

- 1 Автоматизированные диспетчерские центры управления эксплуатационной работой железных дорог : [монография] / П. С. Грунтов [и др.] ; под общ. ред. П. С. Грунтова. – М. : Транспорт, 1990. – 288 с.
- 2 **Ерофеев, А. А.** Интеллектуальные система управления перевозочным процессом на железнодорожном транспорте : [монография] / А. А. Ерофеев. – Гомель : БелГУТ, 2022. – 407 с.
- 3 **Вдовенко, В. В.** Информационная среда формирования модели цифрового виртуального грузового поезда / В. В. Вдовенко // Сборник студенческих научных работ. – Гомель : БелГУТ, 2023.
- 4 **Буянов, В. А.** Автоматизированные информационные системы на железнодорожном транспорте / В. А. Буянов, Г. С. Ратин. – М. : Транспорт, 1984. – 238 с.
- 5 **Кузнецов, В. Г.** Комплексный подход к информационным технологиям оперативного управления поездной работой на Белорусской железной дороге / В. Г. Кузнецов, А. А. Ерофеев, М. В. Федорцов // Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте (ИСУЖТ–2013). – М., 2013. – С. 80–82.

УДК 656.222.3

## ИННОВАЦИОННАЯ СИСТЕМА ОРГАНИЗАЦИИ ВАГОНПОТОКОВ

*С. В. ДОРОШКО, В. Я. НЕГРЕЙ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Существенные колебания и уменьшение мощности назначений вагонопотоков значительно увеличили простой транзитных вагонопотоков. Смещение мощности струй вагонопотоков в зону 50–100 вагонов в сутки приводит к повышению чувствительности критерия оптимальность управления вагонопотоками и требует поиска инновационных технологий.

Принципиальным ограничением действующей системы организации вагонопотоков является принятие решений на основе средних значений вагонопотоков и жестких требований плана формирования поездов.

Прежде всего необходимо изменить подходы к выбору расчетных вагонопотоков. Теоретический анализ и решение важнейших вопросов системы организации перевозок показывает, что они были выполнены при достаточно жестких ограничениях и допущениях, которые не в полной мере учитывают реальные условия работы железнодорожных станций и сегодня на практике используется вариант, который рекомендует вести расчеты на средние плановые вагонопотоки. Например, вероятностный характер колебаний транспортных потоков представлен детерминированной моделью. Исследования, выполненные в БелГУТе, НИИЖТе, МГУПСе, НИИЖТе, ПГУПСе, ХГАЖТе, ДГУЖТе и других организациях, доказали вероятностную природу транспортных потоков, и были предложены адекватные методы ее описания. Исследования колебаний мощности назначений плана формирования, показали, что суммарное распределение суточных колебаний струй вагонопотоков при  $N \geq 120$  ваг./сут описываются в большинстве ситуаций с достаточной для практических целей точностью нормальным законом распределения. При значениях мощности вагонопотока  $N$  менее 120 ваг./сут суммарное распределение суточных колебаний струй вагонопотоков описывается нормальным или законами Эрланга или Пуассона, в отдельных случаях логарифмически нормальным законом или законом Эрланга (существующие условия работы Белорусской железной дороги в большинстве мощности струй вагонопотоков колеблются в диапазоне  $N = 4 \dots 80$  ваг./сут).

Учитывая вышеприведенное, предлагается новая концепция организации вагонопотоков и распределения сортировочной работы основанная на вероятностно-статистическом подходе, при этом необходимо отказаться от расчетов на средние и минимальные плановые потоки.

Кроме того, целесообразность расчета ПФП основана на безошибочности прогноза средних вагонопотоков. Исследования в этой области показали, что выполнить прогноз эталонных значений вагонопотоков без ошибки практически невозможно. Последнее обстоятельство имеет особое значение в условиях рыночной экономики и политической нестабильности. В первую очередь следует учитывать объективные колебания вагонопотоков и ошибки их прогнозирования, отклонения расчетных нормативов от их действительных значений, резкий спад размеров движения, вероятностный характер транспортных процессов. Например, суточные колебания и ошибки прогноза действительных значений вагонопотоков отличаются от среднесуточных плановых на 18–350 %. Исследования показывают, что при вероятностно-статистическом подходе к выбору расчетных величин вагонопотоков от  $N_{\min}$  до  $N_{\max}$  при мощности струй вагонопотоков более 120 ваг./сут размер ошибок в результате принятых допущений существующей методики составляет минус 28,1–18,2 %, а при мощности струй вагонопотоков 10–60 ваг./сут – минус 28,6–95,6 %.

Также большинство теоретических построений базировалось на концепции независимости стабильности струи от ее мощности, независимости критерия оптимизации от структуры вагонопотоков, а выводы – на предположении, что структура перевозимых грузов не влияет на принятие окончательных решений.

Существующая методика расчета продолжительности нахождения вагонов на станции не учитывает вероятностных величин процессов приема, расформирования, формирования и отправления вагонопотоков. С целью совершенствования методики расчета нормативов ПФП рекомендуется:

- производить расчет продолжительности нахождения вагонов в парке прибытия с учетом уровня загрузки сортировочной горки и неопределенности колебаний вагонопотока. Исследования показали, что влияние указанных вероятностных величин, позволяет снизить относительную ошибку при расчете простоя составов в парке прибытия в пределах от 3 до 7 % по отношению к традиционной методике расчета;

- выполнять расчет продолжительности расформирования составов на сортировочной горке с учетом влияния ряда факторов: количества групп вагонов в составе; количества вагонов в составе; числа отцепов, запрещенных к спуску с горки без локомотива, и их расположения в составе; выхода из строя отдельных технических систем горки; ошибок персонала; «нерасцепов» и других причин. Анализ работы горочных станций Белорусской дороги показал, что в среднем за год повреждается от 800 до 900 вагонов, то есть темп повреждения вагонов – от 2 до 2,5 в сутки. Исследования показали, что относительная ошибка при расчете средней продолжительности расформирования состава для средних условий находится в границах 1,5–2 %, т. е. имеет место занижение данного норматива при применении существующей методики;

- выполнять расчет продолжительности от окончания накопления до выставки в парк отправления с учетом уровней загрузки сортировочной горки, вытяжных путей и неопределенности колебаний вагонопотока. Исследования показали, что для диапазона загрузки локомотивов от 0,6 до 0,95 величина ошибки в определении данного норматива лежит в границах 3–27 %.

В результате суточных колебаний вагонопотоков экономия на один вагон потока систематически занижается. Это приводит к тому, что существующая система организации вагонопотоков ориентирована на «выталкивание» вагонов с сортировочных и участковых станций с целью сокращения их простоя.

Для повышения эффективности системы организации вагонопотоков целесообразно перейти на адаптивную технологию, которая имеет два уровня. Первый уровень внутридорожный, а второй – междорожный.

Принципиальной особенностью адаптивной технологии является возможности выбора технических станций формировать в зависимости от ситуации одногруппные, двухгруппные или трехгруппные поезда и повышение транзитности формируемых поездов по мере проследования очередной технической станции.

В докладе рассматриваются различные варианты адаптивной технологии. При достаточном количестве путей для накопления вагонов на внутридорожном уровне (количество  $k$  станций на направлении изменяется от 4 до 6) количество перецепок групп вагонов определяется по формуле

$$n_n = \frac{(k-2) + (k-3) \cdot 2 + (k-4) \cdot 3 + \dots}{2}, \quad (1)$$

где  $k$  – количество технических станций на направлении.

Например, для направления из 4 станций  $n_n = 2$ , для 5 станций – 5, а для 6 станций – 10 перцепков.

Эффективность адаптивной технологии по критерию вагоно-часы будет положительной, если

$$\Delta B = Cm(k - 1) + T_{\text{эк}} \sum_{j=1}^n N_{\text{пер},j} \geq \beta Cm(k - 1) + n_n t_{\text{пер}}(m - N_n), \quad (2)$$

где  $T_{\text{эк}}$  – экономия продолжительности в приведенных вагоно-часах от пропуска одного вагона струи  $N$  через  $j$ -ю станцию без переработки;  $N_{\text{пер},j}$  – среднесуточная мощность струи вагонопотока, перерабатываемой на  $j$ -й технической станции;  $\beta$  – коэффициент, учитывающий влияние неравномерности процесса на увеличение простоя вагонов под накоплением;  $t_{\text{пер}}$  – средние приведенные затраты времени на перцепку вагонов на попутной технической станции.

Ключевой особенностью адаптивной технологии является сокращение неопределенности такого сложного технологического процесса, как накопление составов. Адаптивная технология организации вагонопотоков на основе формирования одно-, двух- и трехгруппных поездов и повышения организованности формируемых потоков по мере продвижения их на направлении позволит существенно повысить показатели работы железнодорожного транспорта, а также качество обслуживания клиентов.

#### Список литературы

1 **Дорошко, С. В.** Адаптивная система организации вагонопотоков / С. В. Дорошко // Вестник ДНУЖТа им. акад. В. Лазаряна. – Вып. 34. – 2010. – С. 39–45.

2 **Негрей, В. Я.** Расчет плана формирования поездов с учетом ограничения по сроку доставки грузов / В. Я. Негрей, С. В. Дорошко // Проблемы и перспективы развития транспортных систем и строительного комплекса : тезисы докл. Междунар. науч.-практ. конф. – Гомель : БелГУТ, 2003. – С. 55–57.

3 **Негрей, В. Я.** Эффективность формирования групповых поездов на внутридорожных направлениях / В. Я. Негрей, С. В. Дорошко // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2008. – № 1 (16). – С. 24–28.

4 **Петров, А. П.** План формирования поездов / А. П. Петров. – М. : Трансжелдориздат, 1950. – 483 с.

5 **Правдин, Н. В.** Прогнозирование грузовых потоков / Н. В. Правдин, Н. Л. Дыканюк, В. Я. Негрей. – М. : Транспорт, 1987. – 247 с.

УДК 159.9

## ЗНАЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ПЕЗДОВ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

*А. Г. ЗЕНКЕВИЧ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Безопасность движения – это основной фактор, характеризующий железнодорожный транспорт, так как движение всегда связано с риском и повышенной опасностью. Железную дорогу часто называют зоной повышенной опасности. Белорусская железная дорога – не исключение, и обеспечению безопасности движения и эксплуатации транспорта здесь придается огромное значение. Постоянно осуществляется контроль за обеспечением безопасности движения поездов.

Во исполнение требований Закона о железнодорожном транспорте и устава в Управлении и отделениях Белорусской железной дороги созданы структурные подразделения. В число их основных задач и входит организация данной работы. В отделениях ее ведут аппараты главного ревизора по безопасности движения поездов, в Управлении – служба безопасности движения поездов.

Основопологающим документом в данной работе является приказ Начальника Белорусской железной дороги от 05.01.2012 № 4Н «О совершенствовании работы по обеспечению безопасности движения поездов на Белорусской железной дороге». Документ позволил создать работоспособную систему, направленную на профилактику и предупреждение нарушений безопасности движения поездов, а также установил порядок расследования этих нарушений.

Возникновение аварийной ситуации невозможно полностью исключить в результате организационных или технических мероприятий. Риск в работе железнодорожного транспорта – это неизбежность. Риск является мерой вероятности опасности и степени тяжести последствий от нарушения безопасности движения поездов. На транспортный риск оказывает влияние проявление множества факторов как субъективного, так и объективного характера. Однако чтобы уменьшить и мини-



минимизировать возникновение риска, связанного с безопасностью движения поездов, необходима система, которая должна работать постоянно.

В обеспечении бесперебойного функционирования созданной системы на первом месте находится работа ревизоров по безопасности движения поездов как отделенческого, так и дорожного уровня. Они должны найти пути своевременного вскрытия недостатков и воздействия на «узкие» места в работе железнодорожного транспорта общего пользования таким образом, чтобы ошибки, недоработки и упущения отдельных железнодорожников не заканчивались нарушениями.

Работа в данном направлении проводится в плановом порядке. Прежде всего, это комплекс взаимосвязанных организационных, технических, экономических и социально-психологических мероприятий, направленных на усиление дисциплины и повышение надежности в работе технических средств.

Планирование всего комплекса работ проводится ежегодно, более детально – ежемесячно. В основе планирования – анализ состояния безопасности движения поездов, требования приказов и распоряжений руководства магистрали по вопросам обеспечения безопасности.

Годовой анализ составляется по каждому отделению и в целом по ГО «Белорусская железная дорога». Периодические анализы предназначаются для объективной оценки обеспечения безопасности движения поездов и составляются службами Управления Белорусской железной дороги, непосредственно участвующими в перевозочном процессе, а также отделами отделений дороги по отраслям и аппаратом главного ревизора по безопасности движения поездов отделения дороги. Первостепенной задачей такого анализа, прежде всего, является определение главных причин, повлекших нарушение безопасности движения поездов. Их устранению уделяется основное внимание.

В целом анализ должен быть непрерывным и наглядным, ведь на основе полученных данных за аналогичный предыдущий период безопасность движения поездов планируется заранее.

В качестве профилактических мер по предупреждению нарушений безопасности движения поездов можно выделить проводимый еженедельно единый День безопасности, в течение которого руководители и специалисты структурных подразделений Управления Белорусской железной дороги, руководители организаций и их структурных подразделений должны посетить трудовые коллективы, встретиться с работниками, тщательно изучить положение дел и дать оценку проводимой деятельности по организации безаварийной работы. Проведение дней безопасности позволяет своевременно вскрывать недостатки, оперативно принимать меры по их устранению, а в случае необходимости привлекать к ответственности работников, допустивших нарушения.

Для эффективного решения проблемы контроля состояния человека и построения автоматических устройств, частично дублирующих его действия, необходим современный подход, рассматривающий человека во взаимосвязи и взаимодействии со средой его обитания.

Подбор персонала – процесс выявления из нескольких претендентов одного или нескольких работников, наиболее полно удовлетворяющих установленным требованиям, и принятие решения об их дальнейшем назначении на соответствующую должность.

Человек совершает ошибки, и с этим необходимо считаться. Человек имеет право на ошибку (конечно, речь идет не об умышленных нарушениях). И чем больше отклонение состояния человека от его оптимального, тем больше вероятность ошибки. Поэтому необходимо построить систему безопасности таким образом, чтобы минимизировать последствия этих ошибок.

Достигнутый положительный результат обеспечения безопасности движения – это правильное и экономное использование имеющихся ресурсов, которое позволит повысить уровень безопасности движения поездов и качество предоставляемых услуг.

УДК 656.13.08

## **ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВИДИМОСТИ СИГНАЛОВ ПЕРЕЕЗДНОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ**

*С. Н. КАРАСЕВИЧ*

*Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва*

*В. В. ЕРХОВ*

*ГБУ «МосТрансПроект», Москва, Российская Федерация*

К числу ключевых факторов, влияющих на безопасность движения автомобилей в зоне железнодорожного переезда, относят видимость сигналов переездной сигнализации с расстояния, которое необходимо для остановки транспортного средства. На железнодорожных переездах, не оборудованных

дованных шлагбаумами и обладающих ограниченными условиями видимости на подходах, расстояние видимости сигналов переездной сигнализации имеет определяющее значение для своевременного предупреждения водителей об условиях и регламенте движения в его зоне. На практике часто случается, что транспортные средства, растительность или другие объекты закрывают видимость сигналов переездной сигнализации и резко увеличивают риск ДТП.

Например, расположение железнодорожного переезда на коротких прямых вставках между кривыми в плане и ограничение условий видимости на подходах к нему создает сложные условия движения для водителей автодорожных транспортных средств. При неожиданном появлении железнодорожного переезда из-за поворота водитель должен иметь достаточно времени, чтобы после обнаружения сигналов переездной сигнализации принять меры к остановке транспортного средства без риска возникновения ДТП. Расстояние видимости сигналов переездных светофоров должно быть достаточным, и когда это не обеспечивается, на подходах к железнодорожному переезду необходимо введение ограничения скорости, соответствующего дальности видимости сигналов переездной сигнализации.

В настоящее время запрещающие движение автомобилей сигналы светофорной сигнализации на многополосных улицах и автомобильных дорогах могут быть не видны вследствие движения крупногабаритных транспортных средств по соседним полосам движения. При этом решающее значение для безопасности движения имеет обеспечение возможности и достаточной дальности видимости сигналов переездной сигнализации, информирующей о наличии и состоянии переезда.

В Австрии на железнодорожных переездах для улучшения условий видимости сигналов переездных светофоров предусматривают дополнительное размещение светофорных секций на левой стороне дороги, а также переездные светофоры продублированы в обе стороны. Работа предупреждающих светодиодных сигналов, размещенных на шлагбаумах, синхронизирована с работой переездной светофорной сигнализацией. Нормативы США (Highway-Rail Crossing Handbook) для обеспечения безопасности движения и улучшения условий видимости сигналов переездных светофоров на железнодорожных переездах предусматривают дополнительное размещение секций переездных светофоров на консолях, также светофорные секции обращены в обе стороны.

Таким образом, видна целесообразность дублирования секций светофоров переездной сигнализации на консолях и левой стороне дороги (улице) для обеспечения надежных условий видимости сигналов переездных светофоров. При этом оценку условий видимости в зоне железнодорожного переезда необходимо выполнять с учетом дальности видимости сигналов переездных светофоров, что не заложено в национальные нормативные требования в настоящее время.

Действующая редакция Приказа Министерства транспорта Российской Федерации «Об утверждении Условий эксплуатации железнодорожных переездов» предусматривает положения о том, что светофоры переездной сигнализации устанавливаются с правой стороны по направлению движения транспортных средств. В отдельных случаях (условия видимости, интенсивность движения) устанавливаются дополнительные светофорные головки или дублирующие переездные светофоры. Предлагается внести изменения в нормативные документы, регламентирующие порядок обустройства и эксплуатации железнодорожных переездов и предусмотреть, что в случаях на автомобильных дорогах и улицах с одной полосой движения автомобилей в одну сторону переездные светофоры должны быть продублированы с левой стороны дороги (улицы). На автомобильных дорогах и улицах с двумя и более полосами движения в одну сторону переездные светофоры должны быть продублированы на консолях над проезжей частью с правой стороны по направлению движения транспортных средств.

Причины ДТП на железнодорожных переездах связаны с необеспеченной видимостью в зоне железнодорожного переезда и отсутствием своевременной информации об условиях движения. Даже в случаях, когда главными причинами ДТП на переездах являются невнимательность водителя и превышение скорости, сопутствующими причинами – необеспеченная видимость отсутствие и своевременной информации об условиях движения.

В Российской Федерации на железнодорожных переездах в соответствии с действующими нормативами применяется автоматическая светофорная сигнализация с бело-лунным мигающим огнем – переездная сигнализация, при которой переездные светофоры имеют дополнительную сигнальную головку с бело-лунным мигающим сигналом (огнем), свидетельствующим об отсутствии приближающегося к переезду поезда и исправности устройств сигнализации. Круглый бело-лунный мигающий сигнал, расположенный на железнодорожном переезде, в соответствии с ПДД разрешает движение транспортных средств через переезд. При выключенных мигающих бело-лунном и красном сигналах движение разрешается при отсутствии в пределах видимости приближающегося к переезду поезда. На основе проведенного анализа установлена целесообразность использования для обозначения переездов желто-

го мигающего светового сигнала, работающего в режиме мигания в период времени, когда движение через переезд разрешено (применение секции светофора Т.7 по ГОСТ Р 52289–2019).

Практика применения в этих целях одиночного мигающего бело-лунного сигнала показала, что в условиях недостаточной метеорологической видимости (туман, метель, дождь и т. п.) эффективность его использования низка.

В соответствии с действующей редакцией Правил дорожного движения в России желтый мигающий сигнал разрешает движение и информирует о наличии нерегулируемого перекрестка или пешеходного перехода, предупреждает об опасности. Наличие этого сигнала будет информировать участников дорожного движения об исправности переездной сигнализации и дополнительно обозначать железнодорожный переезд, что особенно важно в темное время суток и в условиях недостаточной видимости. Установка светодиодной секции с желтым мигающим сигналом целесообразна на пересечениях, где не обеспечены удовлетворительные условия видимости и оснащения его одними предупреждающими дорожными знаками и разметкой недостаточно.

Применение светофора, работающего в режиме желтого мигания, для обозначения опасных мест на улично-дорожной сети (нерегулируемые перекрестки, пешеходные переходы и др.) успешно апробировано в России и за рубежом. Нормативы Великобритании, Австрии предусматривают использование на переездах светофорной секции с желтым (янтарным) мигающим сигналом. Желтый (янтарный) цвет лучше привлекает внимание человека.

Таким образом, предложено внести изменения и дополнения в нормативные документы в части требований к обустройству светофорной переездной сигнализации, что повысит безопасность дорожного движения. Потребуется внести изменения в Правила дорожного движения, Приказ Министерства транспорта Российской Федерации «Об утверждении Условий эксплуатации железнодорожных переездов ГОСТ Р 52289–2019. Технические средства организации дорожного движения. Правила применения дорожных знаков, разметки, светофоров, дорожных ограждений и направляющих устройств, ГОСТ 33893–2016. «Межгосударственный стандарт. Системы железнодорожной автоматики и телемеханики на железнодорожных переездах. Требования безопасности и методы контроля» и другие нормативные документы.

УДК 656.138

## **УПРАВЛЕНИЕ ТРАНСПОРТНЫМ СПРОСОМ НА ОСНОВЕ ПАРКОВОЧНОЙ СТРАТЕГИИ**

*С. Н. КАРАСЕВИЧ*

*Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва*

*В. В. ЕРХОВ*

*ГБУ «МосТрансПроект», Москва, Российская Федерация*

Парковочная политика чаще всего подразумевает удовлетворение потребности пользователей личного транспорта в размещении их транспортных средств у тех или иных объектов. Несмотря на ряд работ, направленных на изучение мирового опыта, в отечественной практике парковочное пространство, по-прежнему не воспринимается как инструмент управления транспортным спросом в общегородском масштабе.

На наш взгляд, парковка как средство управления транспортным спросом является одним из важнейших, в настоящее время значительно недооцененных, инструментов транспортной политики крупных и крупнейших городов. Грамотно установленные правила и стоимость парковки помогают регулировать интенсивность автомобильного движения и способствуют достижению следующих целей в области транспорта.

1 Сокращение нагрузки на улично-дорожную сеть. Грамотной парковочной политикой, городские власти могут стимулировать ряд водителей использовать общественный транспорт или выбирать объездные маршруты. Это позволяет сократить транспортную нагрузку на улично-дорожную сеть.

2 Рациональное использование парковочных мест. Плата за парковку побуждает водителей оставлять машины на менее востребованных участках, также увеличивает оборачиваемость парковочного места. Это увеличивает эффективность использования парковки.

3 Создание источников дохода. Средства, полученные от платных парковок, могут быть направлены на развитие городской среды или общественного транспорта.

4 Снижение экологического вреда. Уменьшение количества автомобилей на улицах позволит снизить уровень загрязнения воздуха и шума.

5 Повышение безопасности движения. Увеличение количества передвижений на общественном транспорте снижает количество ДТП.

Таким образом, умелое применение методов управления спросом на парковочные места является эффективным инструментом транспортной политики для развития экологичного и комфортного городского пространства.

Стоит отметить, что внедрение платного паркинга сопряжено с рядом рисков. Так, при введении платных парковок могут возникнуть следующие проблемы:

- недовольство водителей. Платные парковки чаще всего вызывают резкое недовольство граждан;
- трудности для посетителей города. Туристы и случайные гости могут испытывать затруднения с поиском парковки, или ее оплатой, особенно если она регулируется мобильным приложением или специальными терминалами;
- негативное влияние на мелкий бизнес. Магазины и предприятия, расположенные в платных парковочных зонах, часто опасаются потерять клиентов, поскольку посетители не захотят платить за стоянку;
- трудности для резидентов. Введение платного паркинга может вызвать жалобы со стороны местных жителей;
- перенос нагрузки в соседние районы. Часть водителей может перепарковываться в ближайшие бесплатные районы, тем самым создавая неудобства уже в других районах.

В целом стоит признать, что введение платных парковок – это сложный и конфликтный процесс, требующий детальной проработки и информирования населения. Необходимо тщательно отслеживать последствия и вносить коррективы в систему исходя из реальных проблем города.

Учитывая негативные эффекты от введения платного паркинга необходимо помнить, что, в рамках парковочной политики существуют способы снижения негативного эффекта.

В качестве таких альтернатив могут рассматриваться следующие меры:

- ограничение времени парковки. Можно ввести требование не оставлять машину на одном месте дольше определенного времени. Эта мера увеличивает оборачиваемость парковок и стимулирует к пользованию общественного транспорта;
- регулирование количества парковочных мест. Вместо введения платы можно ограничить создание новых парковочных мест, особенно в центральных районах. Это заставит водителей искать альтернативы автомобилю;
- развитие общественного транспорта и ее инфраструктуры. Улучшение транспортной системы и создание благоприятных условий для движения пешеходов и велосипедистов позволит сократить спрос на автомобиль;
- изменение границ существующих платных зон. Вместо полного запрета бесплатной парковки можно расширить платные зоны постепенно, отслеживая реакцию граждан.
- администрирование нарушения правил парковки. Строгий контроль соблюдения правил остановки и стоянки с одновременным приспособлением габаритных параметров УДС, не допускающим хаотичный паркинг;
- повышение штрафов. При наличии эффективной системы администрирования можно повысить штрафы за нарушение парковки. Данный метод вероятнее всего вызовет недовольство автовладельцев;
- рыночное или обоснованное ценообразование. Стоимость парковки должна обеспечивать плановую заполняемость и оборачиваемость парковочных мест.

Таким образом, существует ряд комплексных мер по управлению транспортным спросом, которые могут смягчить негативные последствия введения платных парковок или запрета на остановку и стоянку. Однако наиболее эффективным остается механизм ценообразования.

Предложенные альтернативы: ограничение времени парковки, развитие общественного транспорта и увеличение штрафов – имеют преимущества и недостатки, которые представлены на рисунке 1.

Плюсы	Минусы
Ограничение времени парковки	
Простота в реализации	Менее эффективно в снижении количества автомобилей
Меньшее недовольство граждан	Сложнее администрировать нарушения
Развитие общественного транспорта	
Позитивное влияние на экологию и комфорт горожан	Требует значительных капиталовложений
	Длительность реализации
Увеличение штрафов	
Простота в реализации	Вызовет недовольство населения
Быстрый эффект	Само по себе не решит проблему дефицита парковочных мест

Рисунок 1

В целом наиболее комплексным подходом является развитие общественного транспорта и ее инфраструктуры. Однако он требует самых больших временных и финансовых затрат.

Поэтому часто лучшим решением оказывается введение платных парковок при условии четкой коммуникации с населением, введением обоснованного тарифа и использования поступлений для улучшения транспортной системы в целом. Это позволяет достичь максимального эффекта с наименьшими проблемами.

В любом случае при введении ограничений на парковку необходимо принимать меры по улучшению работы общественного транспорта.

Таким образом, в статье сформулированы обоснования и предложения по эффективному управлению транспортным спросом в городах.

УДК 629.463

## **ВЛИЯНИЕ ДЕФОРМИРУЕМОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ КРЕПЛЕНИЯ ГРУЗОВ НА ИХ ДИНАМИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ В ПРОЦЕССЕ ТРАНСПОРТИРОВКИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ ТРАНСПОРТОМ**

*Н. М. КАТЧЕНКО*

*Белорусская железная дорога, г. Минск*

*М. Г. ГЕГЕДЕШ, С. А. ПЕТРАЧКОВ, Е. Н. ПОТЫЛКИН*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

При определении способов размещения и крепления грузов в вагоне учитываются следующие нагрузки:

- продольные горизонтальные инерционные силы, возникающие вследствие соударения вагонов при движении поезда, во время маневров, роспуска с горок и в процессе торможения;
- поперечные горизонтальные инерционные силы, возникающие при движении вагона и вписывании в кривые и переходные участки пути;
- вертикальные силы, вызванные ускорениями при колебаниях движущегося вагона;
- ветровая нагрузка;
- сила трения;
- масса груза.

Продольные, поперечные и вертикальные инерционные силы, силы ветра и трения во время перевозки достигают максимальных значений не одновременно. Наибольшие продольные инерционные силы возникают во время соударений вагонов при маневрах и в поездах. Поперечные и вертикальные силы в это время невелики. Поэтому силы, действующие на груз при перевозке, учитываются при расчете размещения и закрепления в двух расчетных сочетаниях. Первое соответствует соударению вагонов при маневрах, роспуске с сортировочных горок, трогании, осаживании и торможении поезда (продольная инерционная сила, сила трения в продольном направлении), а второе – движению поезда с наибольшей допустимой скоростью при вписывании в кривые и переходные участки пути. При этом учитываются поперечная, вертикальные инерционные силы, ветровая нагрузка, сила трения в поперечном направлении.

Наиболее часто используемыми средствами крепления груза в продольном и поперечном направлениях являются деревянные бруски и металлическая проволока. При перевозке грузов в большинстве случаев бруски подвергаются смятию, в незначительной мере влияет на динамическое поведение груза при его перевозке железнодорожным транспортом. В то же время проволочные растяжки, увязки, обвязки в сравнении с брусками более эластичны и в процессе транспортировки в большей степени подвержены деформации, растяжению.

Для обеспечения сохранности перевозимых железнодорожным транспортом грузов на железнодорожных технических станциях имеются пункты осмотра вагонов в техническом и коммерческом отношении. Одной из функций таких пунктов является подтягивание проволочных средств крепления, натяжение которых ослабло в процессе перевозки.

На Белорусской железной дороге технические станции расположены на расстоянии 100–150 км друг от друга, что позволяет оперативно осуществлять подтягивание проволочных средств крепления,

обеспечив тем самым сохранность перевозимых грузов. На железных дорогах других стран, например Российской Федерации, расстояния между техническими станциями может достигать 300–350 км. Поэтому необходимо выполнить оценку степени влияния деформируемости элементов крепления и упаковки тарно-штучных грузов на их динамическое поведение в процессе транспортировки железнодорожным транспортом.

С этой целью исследовано растяжение проволочных растяжек, используемых для закрепления тяговых генераторов ТД-802, размещенных на универсальной платформе.

В процессе транспортировки представленного груза возможна деформация (растяжение) проволочных растяжек, которая повлечет смещение груза в продольном направлении. Указанное смещение генератора будет сопровождаться изменением угла наклона растяжек к плоскости вагона как в продольном, так и в поперечном направлениях.

На основании выполненных расчетов получены зависимости, отражающие динамику параметров проволочной растяжки (рисунок 1, б).

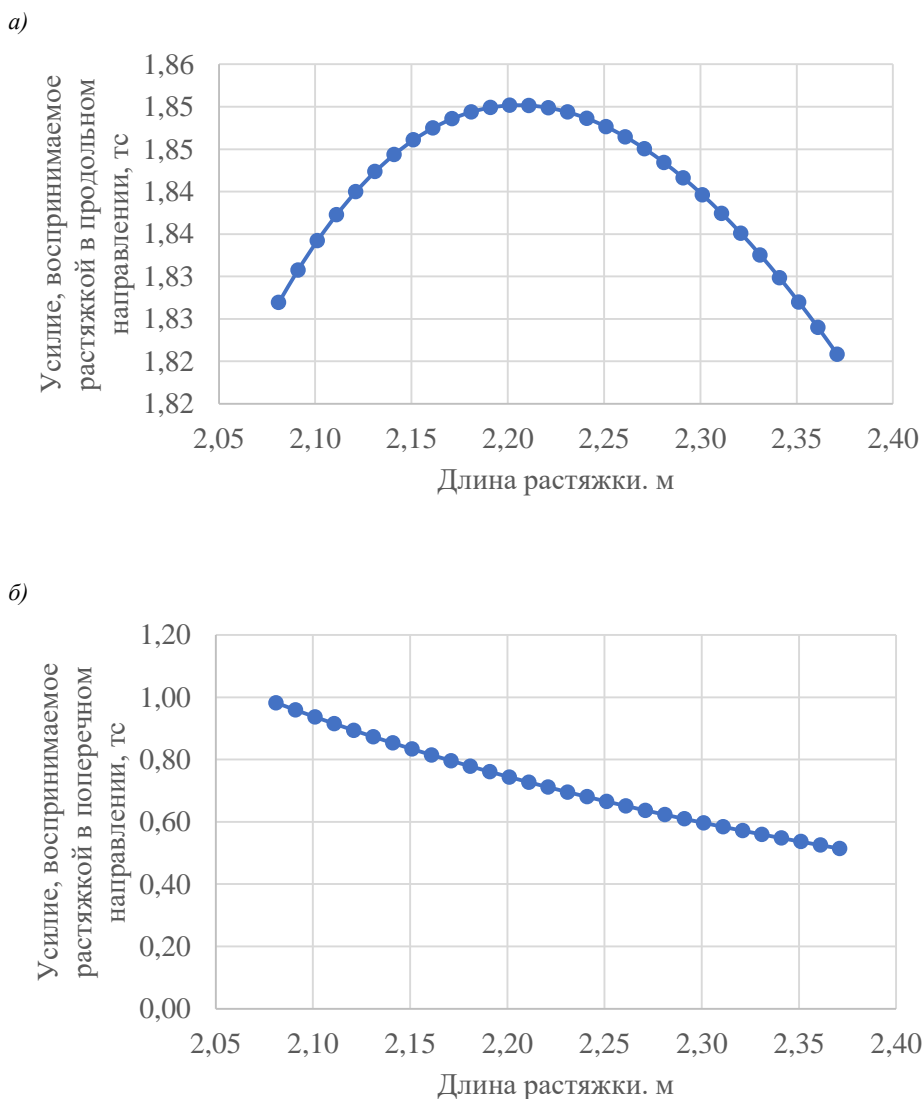


Рисунок 1 – Графики зависимости усилия, воспринимаемого растяжкой в продольном (а) и поперечном (б) направлениях, от ее длины

Анализ полученных зависимостей показал следующее:

1 Удлинение проволочной растяжки в процессе транспортировки сопровождается изменением угла ее наклона к полу вагона. Для рассмотренного примера деформация растяжки на 30 см сопровождалась уменьшением угла наклона на 3°.

2 При изменении длины растяжки наблюдается динамика усилий, воспринимаемых ей в продольном и в поперечном направлениях, причем эти усилия могут принимать пиковые значения. Как видно из рисунка 1, *a* в рассмотренном примере пиковое значение усилия пришлось на продольное направление и составило 1,85 тс.

3 Полученные зависимости отражают общие принципиальные особенности влияния деформируемости элементов крепления и упаковки грузов на их динамическое поведение в процессе транспортировки железнодорожным транспортом.

*Работа выполнена при поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (проект T22M–073).*

УДК 656.212.5:656.2.08

## **ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ЦИФРОВЫЕ РЕШЕНИЯ В ОРГАНИЗАЦИИ КОМИССИОННЫХ МЕСЯЧНЫХ ОСМОТРОВ**

*В. Г. КОЗЛОВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В настоящее время на Белорусской железной дороге проходит опытную эксплуатацию автоматизированная система «Комиссионный месячный осмотр» (АС КМО). Организация и проведение комиссионных месячных осмотров (далее – КМО) железнодорожных станций является одной из ключевых задач системы обеспечения безопасности движения на железнодорожном транспорте, автоматизация процессов которой позволяет сократить технические и трудовые ресурсы, повысить эффективность принятия управленческих решений за счет системного оперативного анализа и контроля.

На первом этапе разработки был проведен системный анализ деятельности организации в области проведения комплексного технического обслуживания на различных железнодорожных станциях и разработана соответствующая бизнес-модель процессов организации и проведения КМО. В дальнейшем это позволило определить технические требования, включая различные механизмы идентификации возможных неисправностей в элементах инфраструктуры. Разработан классификатор неисправностей, необходимых для идентификации объектов проведения КМО, комплекса технических средств железнодорожной станции, возможных неисправностей технических средств и нормативов их устранения. Это позволяет создавать акты о проведении КМО в унифицированном формате для всех железнодорожных станций, а также осуществлять контроль и проводить системный комплексный анализ полученных результатов. Для сокращения количества операций, связанных с вводом значений параметров объектов и их неисправностей, были разработаны карты возможных состояний инфраструктуры и адаптивный механизм идентификации значений параметров, который позволяет автоматически сформировать значения остальных параметров объекта инфраструктуры на основе части введенных данных. Следует отметить, что адаптивный механизм идентификации основан на принципах создания гибких автоматизированных систем. При изменении классификатора или карты возможных состояний объектов не требуется внесение изменений в программное обеспечение или базу данных. Механизм способен адаптироваться к новым данным без влияния на предыдущие результаты КМО, все варианты и изменения классификации будут учтены при анализе. Это обеспечивает возможность проведения комплексного анализа и оперативного контроля состояния инфраструктуры станций Белорусской железной дороги.

На втором этапе для ускорения процесса формирования актов и уменьшения количества операций, связанных с вводом значений параметров объектов и их неисправностей, в АС КМО внедрен ряд интеллектуальных цифровых решений. Одним из таких решений является интеграция в АС КМО отдельной независимой подсистемы распознавания речи оператора. Специалистам, занимающимся проведением и формированием актов КМО, теперь достаточно произнести вслух информацию об объекте, установленных неисправностях и других параметрах КМО, а подсистема распознавания речи автоматически заполнит соответствующие поля акта осмотра. Пользователю остается только подтвердить сформированную запись. При этом адаптивный механизм идентификации значений позволит на основе карты возможных состояний объекта по части вводимых пара-

метров автоматически определить значения остальных параметров. Это значительно ускоряет процесс формирования актов о неисправностях объекта инфраструктуры железнодорожной станции. Необходимо отметить, что данная подсистема является локальной и не зависит от внешних информационных ресурсов. Это необходимое условие информационной безопасности Белорусской железной дороги, которое не допускает утечки служебной информации и на физическом уровне обеспечивает кибербезопасность информационной инфраструктуры.

Основой подсистемы распознавания речи является математическая языковая модель, основанная на применении полносвязной нейронной сети. Эта модель предварительно обучена на большом объеме аудиоданных, содержащих различные голоса, акценты и фразы из толкового словаря, что позволяет с достаточной точностью распознавать речь оператора. Для улучшения точности распознавания речи в условиях непрерывного перевозочного процесса на станции, модель может быть дополнительно обучена под местные условия. Это включает в себя учет шумов и помех в звуковой записи речи, которые могут возникать в данных условиях. Обучение можно осуществлять также под индивидуальные особенности речи пользователя и учитывать сформированный классификатор неисправностей, тем самым уточняя языковую модель и уменьшая вероятность неправильных распознаваний. Данная подсистема представляет собой мощный инструмент, способный анализировать и интерпретировать звуковые сигналы, преобразуя их в форму, необходимую для формирования актов КМО.

Автоматизированная система «Комиссионный месячный осмотр» с интегрированной подсистемой распознавания речи оператора представляет собой инновационное решение для оптимизации процесса комиссионных месячных осмотров железнодорожных станций. Это позволяет значительно сократить затраты и повысить эффективность управления безопасностью и обслуживанием инфраструктуры железнодорожного транспорта, что имеет важное значение для обеспечения безопасности движения на железной дороге. При этом интеграция АС КМО в интеллектуальную систему управления перевозочным процессом позволит смежным информационно-управляющим системам получать актуальную и оперативную информацию о состоянии объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта.

#### Список литературы

1 Повышение безопасности эксплуатационной работы железнодорожных станций за счет цифровой трансформации бизнес-процессов комиссионных месячных осмотров / В. Г. Козлов [и др.] // Проблемы безопасности на транспорте : материалы XII Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 160-летию Бел. ж. д. / под общ. ред. Ю. И. Кулаженко. – Гомель : БелГУТ, 2022. – С. 32–33.

УДК 656.212.5:656.2.08

## ПРИМЕНЕНИЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ РАСЧЕТА ЭНЕРГОЗАТРАТ НА ТЯГУ ПОЕЗДОВ

*В. Г. КОЗЛОВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Организация движения поездов на железнодорожном транспорте требует значительных энергетических затрат. За 2021 г. на Белорусской железной дороге в общих расходах на организацию перевозочного процесса на локомотивное хозяйство приходилось 35,8 %, из которых энергозатраты на тягу поездов составляли 47,5 %. Оптимизация расхода топлива имеет большое значение как с точки зрения экономии ресурсов и сокращения эксплуатационных расходов, так и для снижения негативного воздействия на окружающую среду. В приведенном исследовании рассматривается возможность применения методов машинного обучения для создания моделей, способных моделировать и прогнозировать расход топлива на тягу поездов до осуществления поездки.

Для решения поставленной задачи необходимо разработать математические модели, позволяющие прогнозировать расход топлива на тягу поездов до поездки. Для создания моделей использован подход, основанный на анализе и обработке больших объемов данных о фактически выполненных поездках с применением методов машинного обучения.



Необходимо отметить, что значительный вклад по решению данной проблемы и созданию соответствующих методов по определению и расчету расхода топлива на тягу поездов внесли ученые кафедры локомотивов БелГУТа под руководством С. Я. Френкеля.

В общем виде модель расчета расхода топлива на тягу поездов можно представить как [1]:

$$B = b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n,$$

где  $b_1, \dots, b_n$  – коэффициенты пропорциональности (вес связи);  $x_1, \dots, x_n$  – эксплуатационные факторы.

В качестве эксплуатационных факторов учитывают, в частности в грузовом движении, перевозочную работу, пробег, массу состава, среднюю нагрузку на ось вагона, техническую скорость движения, количество предупреждений об ограничении скорости движения и др. В качестве источника данных для построения регрессионной модели принята оперативная информация о поездках локомотивных бригад и расходе дизельного топлива.

Расчет расхода топлива на тягу поездов с применением нейронных сетей основан на методике машинного обучения с учителем, которая заключается в поиске алгоритма преобразования входных данных (эксплуатационные факторы) в выходные (расход топлива). Для этого используется модель полносвязной нейронной сети, состоящая из одного слоя с пятью нейронами. Количество нейронов определяется количеством входных эксплуатационных факторов для обучения. Так как это единственный слой, его размерность равна размерности результата – выходного значения модели – количество килограмм топлива.

Во время обучения модель получает на вход значения эксплуатационных факторов, выполняет преобразования, используя значения внутренних весов (переменных), и возвращает значения, которые должны соответствовать количеству расхода топлива. Для подсчета корректировок значений внутренних весов используется функция оптимизации, целью которой является поиск значения весов таким образом, чтобы максимально приближенно описывать корреляционные связи входных данных с результатом.

Проведенные исследования и анализ результатов расчета энергозатрат на тягу поездов показали, что предложенный подход позволяет создавать модели, способные с достаточно высокой точностью прогнозировать расход топлива до поездки. При этом в ней отсутствуют серьезные механизмы адаптации к большому числу не вошедших в модель параметров (числа остановок поезда, опытности машиниста и т. д.), а точность обеспечена лишь за счет многомерного линейного усреднения исходных данных. Очень важное значение имеет процесс обучения, который каждый раз может давать различные значения весов. Важно подобрать способ обучения и не переобучить модель. Для этого предлагается первоначальные значения весов нейронной сети устанавливать методом регрессионного анализа, а дальнейшие корректировки осуществлять методом градиентного спуска.

#### Список литературы

1 Френкель, С. Я. Прогнозирование расхода энергоресурсов на тягу поездов методами регрессионного анализа / С. Я. Френкель, А. П. Дединкин // Проблемы безопасности на транспорте : материалы XI Междунар. науч.-практ. конф. (Гомель, 25–26 ноября 2021 г.) : в 2 ч. Ч. 1. – Гомель : БелГУТ, 2021. – С. 172–173.

УДК 004.8, 624.9

## ПРИМЕНЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИЕЙ ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ НА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГАХ

*О. И. КОС, В. Ю. СМИРНОВ*

*Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация*

В эпоху всеобщей цифровизации применение алгоритмов искусственного интеллекта становится всё более популярным. Наиболее успешно генетические алгоритмы искусственного интеллекта применяются для решения сложных нелинейных многомерных задач оптимизации, в том числе за-

дач управления эксплуатацией сложных технических систем, таких как искусственные сооружения на железных дорогах, например, мостовые конструкции.

В данной работе генетический алгоритм искусственного интеллекта применяется для решения задачи оптимального распределения времен замен или ремонтов элементов искусственных сооружений за все время эксплуатации. Эта задача обладает рядом специфических особенностей, таких как стохастический характер переменных величин, большое их количество, а также интервальные оценки их размещения на временной шкале.

В данной статье под генетическим алгоритмом искусственного интеллекта будем понимать алгоритм поиска решения, используемый для решения задач оптимизации с использованием механизмов, аналогичных естественному отбору в природе. Данный генетический алгоритм искусственного интеллекта является разновидностью эволюционных вычислений, с помощью которых решаются оптимизационные задачи с использованием методов естественной эволюции, таких как селекция, кроссинговер и мутация, роль которых в алгоритмах искусственного интеллекта аналогична их роли в живой природе. Генетический алгоритм искусственного интеллекта хорошо масштабируется под сложность решаемой задачи.

Рассмотрим искусственное сооружение на железной дороге, состоящее из большого числа разных элементов. В ходе ее эксплуатации требуется эффективно ремонтировать и заменять исчерпавшие ресурс элементы для обеспечения безотказности работы этого искусственного сооружения [1–4]. В данной работе задача оптимизации эксплуатации искусственного сооружения за счет эффективной замены ее элементов решается с помощью генетического алгоритма искусственного интеллекта [5].

Замена элементов искусственного сооружения осуществляется через оптимальные интервалы замен (ремонтов), которые рассчитаны в соответствии с методикой, изложенной в статьях [1, 6].

Множеством решений данной задачи является оптимальная, т. е. эффективная с точки зрения эксплуатации, совокупность оптимальных времен замен (ремонтов) элементов искусственного сооружения. Ограничением при решении данной задачи оптимизации является требование на совокупность оптимальных интервалов, заключающееся в том, что эти интервалы могут быть уменьшены до ближайшего интервала, но не могут быть увеличены, так как в этом случае не будет обеспечена надежность искусственного сооружения.

Критерий оптимальности решения задачи выражен целевой функцией, значения которой используют для сравнения решений. В данной задаче целевой функцией является сумма следующих затрат в процессе эксплуатации искусственного сооружения:

- стоимость замен (ремонтов) элементов искусственного сооружения;
- затраты на выезд специалистов для ремонта (замены) элементов;
- стоимость времени работы элементов, которые были заменены раньше времени своей оптимальной замены.

В данной задаче под оптимальным решением будем понимать оптимальный набор времен замен (ремонтов) элементов для всего искусственного сооружения в целом, который доставляет минимум целевой функции и удовлетворяет заданному ограничению на совокупность оптимальных интервалов.

Для построения оптимального набора времен замен (ремонтов) элементов для всего искусственного сооружения, т. е. оптимальной схемы ее эксплуатации сначала проводится оптимизация за счет сдвигов времен замен (ремонтов) путем применения генетического алгоритма искусственного интеллекта, что приводит к уменьшению количества выходов на объект и, следовательно, к сокращению издержек. Затем проводится оптимизация, заключающаяся в синхронизации времен замен (ремонтов) элементов по времени с целью дальнейшего сокращения количества выходов на объект.

Для того чтобы с помощью генетического алгоритма искусственного интеллекта сократить количество замен и ремонтов элементов искусственного сооружения, то есть обеспечить минимизацию экономических затрат на ее эксплуатацию при условии обеспечения заданного уровня надежности, были применены модернизированные операторы генетического алгоритма: гибридная селекция, включающая помимо метода рулетки элитарный отбор и отбор усечением; гибридный кроссинговер, включающий помимо метода одноточечного кроссинговера метод кроссинговера с уменьшением замены; гибридный метод мутации, включающий помимо метода точечной мутации метод мутации с вероятностью, т. е. случайное изменение набора интервалов для того, чтобы заново начать поиск наилучшего решения.

Разработанное программное обеспечение для решения задач оптимизации замен элементов искусственных сооружений на основе генетического алгоритма искусственного интеллекта было применено для оптимизации замен или ремонтов элементов искусственного сооружения, а именно моста, расположенного через реку Нерусса (478 км II пути участка Брянск – Суземка). За 30 лет эксплуатации по регламенту планировалось осуществить 50 выездов на объект для замены или ремонтов элементов. За счет применения генетического алгоритма искусственного интеллекта для этой искусственного сооружения количество выездов на объект можно сократить до 20, а за счет синхронизации уменьшить еще на два, что в общем итоге сократит количество выездов до 18, т. е. на 64 %. Это может обеспечить снижение издержек на эксплуатацию данного искусственного сооружения на 24 %, т. е. принести существенный экономический эффект при условии обеспечения заданного уровня надежности.

#### Список литературы

- 1 Кос, О. И. Оптимальный интервал предупредительных замен для искусственных сооружений железных дорог / О. И. Кос, В. Ю. Смирнов // Мир транспорта. – 2013. – Т. 11, № 1. – С. 152–155.
- 2 Кос, О. И. Рекуррентный алгоритм расчета и прогнозирования вероятности безотказной работы искусственных сооружений / О. И. Кос // Транспортное строительство. – 2014. – С. 30–32.
- 3 Кос, О. И. Схема управления техническим состоянием искусственных сооружений / О. И. Кос // Мир транспорта. – 2016. – Т. 14, № 5. – С. 199–201.
- 4 Smirnov, V. U. Program module for calculating the optimal interval of preventive substitutions / V. U. Smirnov, O. I. Kos // "Quality management, Transport and information. Security Information Technologies (IT&QM&IS) : International Conference – 2017. Saint Petersburg, 24–30 September 2017. – 2017. – DOI : 10.1109/ITMQIS.2017.8085811
- 5 Кос, О. И. Применение генетического алгоритма в задаче оптимизации замены элементов системы / О. И. Кос, В. Ю. Смирнов // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2022. – № 5. – С. 76–89.
- 6 Кос, О. И. Математическая модель управления техническим состоянием элементов сложных технических систем на основе закона распределения функции отказов элементов / О. И. Кос, В. Ю. Смирнов // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2022. – № 6. – С. 3–10.

УДК 656.25

### СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЗАКОНОДАТЕЛЬНОЙ БАЗЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА В СФЕРЕ БЕЗОПАСНОСТИ И ГАРМОНИЗАЦИЯ СО СТРАНАМИ-ПАРТНЕРАМИ

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

К приоритетным задачам совершенствования законодательной базы Республики Беларусь относятся вопросы обеспечения транспортной безопасности, которая является составной частью национальной безопасности государства. От состояния и качества безопасной работы транспортного комплекса Республики Беларусь зависят его конкурентоспособность на международном рынке транспортных услуг и увеличение транзитных потоков через территорию республики.

В рамках определения условий безопасности перевозочного процесса следует систематизировать требования безопасности к объектам инфраструктуры железнодорожного транспорта общего и необщего пользования, подвижному составу, а также иным объектам, расположенным на инфраструктуре и участвующим в оказании услуг железнодорожного транспорта.

Обеспечение безопасности включает основные направления осуществления транспортной деятельности: безопасность инфраструктуры, подвижного состава, систем управления движением поездов и маневровой работой на станциях, профессиональную подготовку работников и др.

Повышение надежности технических средств, подвижного состава и безопасности транспортной деятельности на железнодорожном транспорте является неотъемлемой частью стратегических программ развития Республики Беларусь:

– Национальной стратегии устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2030 года [1];

– Стратегии инновационного развития транспортного комплекса Республики Беларусь до 2030 года [2];

– Государственной программы «Транспортный комплекс» Республики Беларусь на 2021–2025 годы [3].

В Республике Беларусь понятие безопасности на транспорте регламентировано на уровне законодательства [4, 5]. Обеспечение безопасности транспортной деятельности следует рассматривать как систему экономических, организационно-правовых, технических и иных мер, предпринимаемых органами государственной власти и управления, участниками перевозочного процесса и иными заинтересованными лицами.

Отдельные процессы обеспечения безопасности перевозок на железнодорожном транспорте регламентируются в технических нормативных правовых актах (далее – ТНПА) государственного объединения «Белорусская железная дорога» (далее – Белорусская железная дорога), которыми в соответствии с Законом Республики Беларусь «О железнодорожном транспорте» [5] осуществляется управление перевозочным процессом на железнодорожном транспорте общего пользования.

В структуре Белорусской железной дороги выстроена многоуровневая функционально-территориальная система контроля безопасности движения: в Управлении Белорусской железной дороги – служба безопасности движения поездов; в отделениях дороги – аппарат главного ревизора по безопасности движения поездов; на крупных железнодорожных станциях, депо, дистанциях и других структурных подразделениях – инженеры по безопасности движения поездов.

Координирующим организационную деятельность в области безопасности движения документом является приказ Начальника Белорусской железной дороги «Об организации работы по обеспечению безопасности движения и эксплуатации железнодорожного транспорта на Белорусской железной дороге» [6], которым наиболее системно установлены базовые направления системы мер по обеспечению безаварийной работы.

Обеспечение безопасности услуг железнодорожного транспорта затрагивает деятельность множества участников перевозочного процесса, которые взаимодействуют на едином полигоне железных дорог Республики Беларусь. Участники перевозочного процесса как субъекты транспортной деятельности обязаны иметь предусмотренные нормативными правовыми актами (далее – НПА) Республики Беларусь специальные разрешения и сертификаты соответствия и (или) декларации о соответствии объектов транспортной деятельности, а также выполняемых транспортных работ и оказываемых транспортных услуг требованиям ТНПА [4].

Все участники перевозочного процесса должны подпадать под действие единых требований к безопасности, чтобы гарантировать необходимый уровень обеспечения безопасности на железнодорожном транспорте и равные условия доступа. Участники перевозочного процесса для получения доступа к железнодорожной инфраструктуре должны иметь сертификат безопасности. Сертификат безопасности должен быть выдан на основе подтверждения создания у участника перевозочного процесса (перевозчика) системы управления безопасностью (далее – СУБ), которая соответствует стандартам и правилам безопасности национальным и международным НПА для соответствующей сферы услуг.

Государственные органы управления контролируют риски и СУБ транспортной деятельности перевозчика на железнодорожном транспорте. При оценке соответствия перевозчика заявленной СУБ государственные органы контроля обеспечения безопасности имеют право посещать и инспектировать на месте участника перевозочного процесса, проверять, а также запрашивать соответствующую дополнительную информацию.

Функции государственного контроля обеспечения безопасности транспортной деятельности выполняет орган (организация), уполномоченная НПА.

Вопросы безопасности относятся к межсистемным, поскольку затрагивают международные транспортно-логистические цепи перевозок, осуществляемые по инфраструктуре железнодорожного транспорта Республики Беларусь. Интеграция железнодорожного транспорта Республики Беларусь в общее транспортное пространство Союзного государства с Российской Федерацией, Содружества Независимых Государств (далее – СНГ), Европейского союза (далее – ЕС), Евразийского экономического союза (далее – ЕАЭС), трансконтинентального пространства Азия – Европа и других связана с формированием адаптированной к международной практике и конкурентной системе оказания комплекса транспортных услуг, совершенствованием и развитием нормативной правовой базы в области транспорта, обеспечением взаимодействия с международными транспортными ор-

ганизациями, членом которых является Республика Беларусь, а также международными организациями, определяющими транспортную политику.

Особенностью обеспечения безопасности транспортной деятельности на железнодорожном транспорте Республики Беларусь является преимущественное осуществление эксплуатационной работы на колее 1520 мм, которая во многом определяет совокупность требований к безопасности. Взаимодействие в перевозках по европейской колее 1435 мм осуществляется с польскими перевозчиками. В рамках этого взаимодействия имеются необходимые соглашения, в которых отражены и вопросы безопасности.

Базовые требования к безопасности транспортной деятельности на железнодорожном транспорте по колее 1520 мм определены в рамках Совета по железнодорожному транспорту государств – участников СНГ и стран Балтии. Советом сформированы и приняты НПА в области транспорта.

Договором о Евразийском экономическом союзе от 29.05.2014 [7] установлено, что требования к безопасности на транспорте (транспортной безопасности и безопасности эксплуатации транспорта) определяются законодательством государств-членов и международными договорами. В то же время в рамках ЕАЭС приняты Положения рекомендации Коллегии Евразийской экономической комиссии от 29.03.2016 № 4 «Об общих подходах к требованиям по сертификату безопасности на железнодорожном транспорте и порядка его выдачи». Республика Беларусь проводит работу по принятию соответствующих законодательных и нормативных правовых актов.

Белорусская железная дорога как национальный оператор инфраструктуры и перевозчик является членом Международного союза железных дорог (МСЖД) и Организации сотрудничества железных дорог (ОСЖД), в состав которых входят европейские страны, а также основные партнеры в области перевозок грузов и пассажиров. В рамках МСЖД, ОСЖД осуществляется формирование согласованной транспортной политики в области международных железнодорожных перевозок, совершенствование международного транспортного права, стандартизации и унификации в области железнодорожного транспорта, в том числе и в области безопасности.

Для гармонизации положений НПА Республики Беларусь в области железнодорожного транспорта необходимо также оценить методы правового регулирования, применяемые в странах ЕС. Целесообразна гармонизация с основополагающими директивами Европейского парламента и Совета: «О безопасности на железнодорожном транспорте» [8], «Об эксплуатационной совместимости трансъвропейской железнодорожной системы традиционного типа» [9], «О безопасности на железных дорогах Сообщества» [10].

Директива Европейского союза № 2016/798 «О безопасности на железнодорожном транспорте» распространяется на членов ЕС и определяет директивные требования на железнодорожном транспорте колеи 1435 мм. Важным условием директивы является сертификация при выдаче разрешения транспортным предприятиям для осуществления деятельности на железнодорожном транспорте ЕС, которая является инструментом для принятия решения о доступе к услугам транспортного рынка. Директивой предусматривается централизация выдачи такого сертификата.

При реализации специальных транспортных проектов, затрагивающих интересы множества стран (высокоскоростное пассажирское сообщение, контейнерные перевозки, «шелковый путь» и т. п.), как правило, предусматривается специальная проработка вопросов безопасности и их принятие на международном уровне.

Совершенствование взаимодействия железнодорожного транспорта в международном железнодорожном пространстве и адаптация к европейским нормам безопасности возможны при оценке:

- согласованности с европейскими нормами безопасности национальных и международных НПА с участием Республики Беларусь, а также действий по направлениям интеграции сфер транспортной безопасности;

- рисков, приводящих к снижению уровня безопасности инфраструктуры, подвижного состава, систем управления, и системы мер, направленных на снижение влияния риск-факторов на безопасность транспортной деятельности;

- методологических подходов к выдаче сертификатов безопасности на осуществление транспортной деятельности по оказанию услуг на железнодорожном транспорте, сертификации продукции, используемой на железнодорожном транспорте;

- требований к системе подготовки и переподготовки работников, занятых транспортной деятельностью, обеспечением безопасности транспортной деятельности и адаптации образовательных программ международным требованиям;
- адаптации международных норм безопасности в рамках международных организаций (МСЖД, ОСЖД, ЕАЭС, ЕС, Совета по железнодорожному транспорту СНГ и др.) с целью реализации системного подхода к данной проблеме.

#### Список литературы

- 1 Национальная стратегия устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2030 г. : одобр. на заседании Президиума Совета Министров Респ. Беларусь от 2 мая 2017 протокол № 10. – Минск, 2017. – 148 с.
- 2 Стратегия инновационного развития транспортного комплекса Республики Беларусь до 2030 г. : утв. приказом Министерства транспорта и коммуникаций Респ. Беларусь от 25 фев. 2015 № 57-Ц // Транспортный вестник. – 2015.
- 3 Государственная программа «Транспортный комплекс» на 2021–2025 гг. : утв. постановлением Совета Министров Респ. Беларусь от 23 мар. 2021 № 165. – Минск, 2021. – 66 с.
- 4 Об основах транспортной деятельности : Закон Респ. Беларусь от 05 мая 1998 № 140-3 : с изм. и доп. – Минск, 1998. – 8 с.
- 5 О железнодорожном транспорте : Закон Респ. Беларусь от 6 янв. 1999 № 237-3 : с изм. и доп. – Минск, 1999. – 15 с.
- 6 Об организации работы по обеспечению безопасности движения и эксплуатации железнодорожного транспорта на Белорусской железной дороге : приказ Нач. Бел. ж. д. от 29.11.2021 № 370Н. – Минск : Бел. ж. д., 2021. – 160 с.
- 7 Договор о Евразийском экономическом союзе от 29 мая 2014 : с изм. и доп. – Астана, 2014. – 442 с.
- 8 О безопасности на железнодорожном транспорте : директива № 2016/798 Европейского парламента и совета ЕС (новая редакция), Страсбург, 11 мая 2016 года : опуб. в Офиц. журнале N L 138, 26.5.2016. – С. 102–149.
- 9 Об эксплуатационной совместимости трансъвропейской железнодорожной системы традиционного типа : директива № 2001/16/ЕС Европейского парламента и Совета. – Страсбург, 2001.
- 10 О безопасности на железных дорогах Сообщества. – Директива № 2004/49/ЕС Европейского парламента и совета ЕС. – Страсбург, 2004.

УДК 656.2 629.42(075)

### ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЯГОВЫХ РЕСУРСОВ

*Д. Ю. ЛЕВИН*

*Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте, г. Москва, Российская Федерация*

Использование тяговых ресурсов определяет перевозочные возможности железнодорожного транспорта и их реализацию. Важной характеристикой тяговых ресурсов является весовая норма поездов. Весовая норма грузовых поездов присутствует в исходных данных при расчете пропускной и провозной способности, составлении графика движения поездов, расчете плана формирования и всех нормативно-технологических документов. В соответствии с существующими Правилами тяговых расчетов весовая норма поездов зависит от мощности локомотивов и продольного профиля пути. При этом не учитывается огромное число эксплуатационных и экономических влияющих факторов. Так сложилось исторически. То есть весовая норма поездов определяет эксплуатационную работу и эффективность перевозочного процесса, а обратное влияние отсутствует. Современные условия работы железнодорожного транспорта при дефиците перевозочных возможностей требует более гибкого взаимодействия весовой нормы поездов и перевозочного процесса.

Задача определения весовой нормы поездов может быть прямой и обратной. То есть можно определять влияние существующих норм веса и длины поездов на использование перевозочных возможностей, а можно при заданном грузообороте (объеме перевозок) – оптимизировать нормы веса и длины поездов. На каждом участке (направлении) при заданном грузообороте вес поездов определяет размеры движения и существенно влияет на использование перевозочных возможностей и показатели эксплуатационной работы. Для каждого участка целесообразно определить число поездов (размеры движения) и параметры поездов, обеспечивающих максимальный объем перевозок.

Цель определения весовой нормы поездов должна зависеть от поставленных критериев: максимум объема перевозок (для грузонапряженных направлений), минимум затрат (для направлений, имеющих резерв перевозочных возможностей), ускорение перевозки (для пассажирских поездов и скоростных поездов).

Исторически сложилось ошибочное мнение, усиливают ли техническое оснащение участка, увеличивают мощность локомотивов или грузоподъемность вагонов, что все это направлено, в первую очередь, на увеличение пропускной способности. В то время, как повышение веса поездов уменьшает пропускную способность участков, но увеличивает провозную способность и позволяет меньшим числом поездов перевозить больше грузов.

Современный железнодорожный транспорт работает в условиях неопределенности, неравномерности и неритмичности, которые усугубляются дефицитом путей и несоответствием реальных ситуаций нормативно-технологическим документам. В условиях неопределенности и большого диапазона колебаний загрузки инфраструктуры и использования подвижного состава полезная работа локомотивов составляет чуть более 12 ч в сутки, в среднем 25 % локомотивных бригад выходят на работу, когда нет составов (и наоборот) и т. д.

В этих условиях повышение эффективности использования тяговых ресурсов требует перехода на новый уровень диспетчерского управления перевозочным процессом, т.е. от фиксации диспетчерами прошедших и происходящих событий к прогнозированию и моделированию предстоящего перевозочного процесса.

Общим недостатком существующих методик регулирования локомотивным парком является отсутствие достоверных и необходимой глубины исходных данных. В результате, диспетчерский аппарат часто встает перед фактом: несоответствие числа формируемых составов и возможностей своевременного обеспечения их локомотивами, в пунктах смены локомотивов длительное ожидание составами локомотивов и наоборот и т. д. Простой составов в ожидании локомотивов и локомотивных бригад свидетельствуют не только об отсутствии эффективной системы регулирования локомотивным парком, но и отсутствию управления процессом формирования составов на сортировочных станциях, т. е. этот процесс протекает без учета реальных возможностей своевременного обеспечения составов локомотивами. Решение проблемы заключается в предвидении таких ситуаций и заблаговременном принятии мер по приведению в соответствие потребностей и возможностей. Процессное моделирование управления перевозочным процессом предполагает планирование не стихийно складывающихся обстоятельств, а создание и поддержание оптимальных условий эксплуатационной работы железных дорог и эффективности перевозочного процесса.

Нормативно-технологические документы, как правило, рассматриваются на заданные размеры перевозок, в том числе и на максимальные, при отсутствии непредвиденных затруднений. Но оперативная работа по управлению перевозочным процессом как раз во многом и заключается в преодолении этих затруднений.

Одной из причин возникновения очередей на железных дорогах является несоответствие потоков грузов, вагонов, составов, поездов и возможностей их обслуживания. Даже когда среднесуточный размер потока может не превышать пропускной, перерабатывающей, выгрузочной способности, его неравномерность и колебания времени обслуживания всё равно приводят к очередям.

Предстоящий перевозочный процесс зарождается на сортировочных станциях. В настоящее время это происходит в ходе неуправляемого, пассивного процесса накопления составов. Современный пассивный неуправляемый процесс накопления составов не создает достоверной исходной информации необходимой глубины для оперативного планирования и регулирования локомотивного парка и организации работы локомотивных бригад, не учитывает возможностей своевременного обеспечения сформированных составов локомотивами, обеспечения «ниток» графика движения и насыщения участков поездами, соответствия четных и нечетных поездов в пунктах смены локомотивов, загрузку и условия работы технических и грузовых станций и т. д.

Повышение эффективности использования тяговых ресурсов предусматривает:

- определение для каждого участка (направления) числа и параметров поездов, обеспечивающих максимальный объем перевозок;
- установление (кроме максимальной весовой нормы (результат тяговых расчетов)) оптимальной весовой нормы, учитывающей все эксплуатационные и экономические влияющие факторы;
- учет при установлении оптимальной весовой нормы использования пропускной и перевозочной способности; участковой скорости; вероятности отказов инфраструктуры и подвижного состава; времени накопления составов; объема переработки вагонов на технических станциях; использования, потребности и производительности локомотивов; расхода топлива (энергоснабжения); эксплуатационных тонно-километров (грузооборот); грузонапряженности линий (оценка выбора критериев) и т. д.;

- диспетчерское регулирование локомотивного парка не по информации о прошедших и происходящих событиях, а на основе прогнозирования и моделирования предстоящего перевозочного процесса;
- увеличение достоверности и глубины исходной информации при планировании использования локомотивов;
- увеличение достоверности и глубины исходной информации при планировании выхода и вызова локомотивных бригад;
- установление необходимости захода локомотива в основное или обратное депо после прибытия поезда на техническую станцию;
- заблаговременное планирование и контроль захода и выхода локомотивов из локомотивного депо;
- установление в зависимости от загрузки участка (направления) весовой нормы грузовых поездов по следующим критериям: максимальный объем перевозки грузов, минимум затрат, ускорение перевозки;
- определение целесообразности и сфер эффективности организации вождения соединенных поездов.

Интенсивное развитие современных цифровых технологий, средств информатизации и искусственного интеллекта, бережливых и энергосберегающих подходов к организации перевозочного процесса создали предпосылки к повышению эффективности работы железнодорожного транспорта. Появляются возможности повышения гибкости управления и варибельного анализа различных сценариев эксплуатационной работы.

УДК 656.22

## **ЦИФРОВАЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНАЯ СТАНЦИЯ**

*Д. Ю. ЛЕВИН*

*Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте, г. Москва, Российская Федерация*

Современные сортировочные станции работают в условиях неопределенности, неравномерности и неритмичности, которые усугубляются дефицитом путей и несоответствием реальных ситуаций нормативно-технологическим документам.

Совершенствование работы сортировочных станций должно быть не в приспособлении к стихийным условиям, а в ликвидации неопределенности, создании оптимальных условий работы и управлении всеми технологическими операциями. А учитывая, что перевозочный процесс начинается, организуется и формируется на станциях, управление работой станций должно быть началом управления и всем перевозочным процессом.

Управлять можно только предстоящими событиями. Поэтому дальнейшее развитие информационных систем должно заключаться не только в выдаче выходных форм, а прежде всего в заблаговременном предвидении и прогнозе предстоящей эксплуатационной работы, заблаговременном выявлении трудностей и предотвращении их.

В современных нормативных документах при расчете числа путей на станциях используется коэффициент неравномерности прибытия поездов 1,15, т. е. отклонение от среднего значения на 15 %. В то время как на крупнейшие сортировочные станции при перерабатывающей способности сортировочных горок 5–6 составов в час поезда прибывают в диапазоне от 0 до 10 поездов в час.

Современный технологический процесс работы сортировочной станции содержит две составляющие: последовательность операций и нормы времени на их выполнение. Для эффективного оперативного управления работой станции этого недостаточно. Требуется третья составляющая – создание оптимальных условий для выполнения технологического процесса. Несоблюдение этого условия в настоящее время вызывает содержание избытка вагонного парка, задержки поездов перед станциями, межоперационные простои и невозможные потери перерабатывающей способности горок.

Оперативное управление работой сортировочной станции целесообразно рассматривать как работу самой станции (выполнение норм времени технологического процесса и объем переработки) и внешние условия, характеризующиеся, прежде всего, подводом поездов, обеспечением сформиро-



ванных составов локомотивами и своевременностью вывоза поездов со станции. То есть если внешние условия складываются стихийно, то усилий работников станции оказывается недостаточно, чтобы реализовать пропускную и перерабатывающую способности станции.

Почти половина времени нахождения вагонов на современных сортировочных станциях – это межоперационные простои. Поезда простаивают по неприему станциями, вагоны – в ожидании выполнения технологических операций, сформированные составы – в ожидании поездных локомотивов, готовые поезда – в ожидании отправления и т. д. Все эти непроизводительные издержки, неэффективное использование подвижного состава, пропускной и перерабатывающей способностей станций пока не находят отражения ни в нормировании эксплуатационных показателей, ни в технологических процессах работы станций, ни в нормативно-технологических документах.

Увеличение за последние 30 лет средней длины поездов с 50 до 70 вагонов привело к увеличению объема переработки на сортировочных станциях в 2 раза. Это объясняется тем, что увеличился минимальный размер вагонопотока, выгодный для выделения в самостоятельное назначение. Часть струй вагонопотоков, которые раньше выделялись в самостоятельное назначение, теперь объединяются с более короткими струями вагонопотоков и дополнительно перерабатываются на попутных технических станциях.

Отклонения действующего варианта плана формирования поездов от оптимального варианта вызывают увеличение: объема переработки вагонов в 1,5–2 раза, затрат времени на переработку и накопление составов на 50 %, числа формируемых назначений – на 15–20 %. Вместо того, чтобы оперативно реагировать и корректировать план формирования поездов, действует автоматизированная система контроля за его выполнением.

Если на любой сортировочной станции сравнить моменты завершения накопления составов в течение суток за несколько лет, увидим, что они никогда не повторяются. Время накопления составов каждого назначения находится в очень широком диапазоне. Колебания продолжительности процессов накопления составов зависят от многих факторов, прежде всего, от изменения среднесуточных и почасовых размеров поступающих вагонопотоков.

Среднесуточные величины струй вагонопотоков, выделенные в самостоятельные назначения, значительное число дней в году неэффективны из-за колебаний их размеров в тех случаях, когда они снижаются и становятся меньше минимально допустимой величины. И наоборот, струи вагонопотоков, не выделенные в самостоятельные назначения, определенное число дней в году эффективны. А это, как правило, более дальние назначения, чем включенные в план формирования.

Сортировочные станции работают не в оптимальном режиме. Об этом свидетельствует анализ простоя транзитного вагона с переработкой на сортировочных станциях: на выполнение технологических операций приходится примерно 20 % времени, накопление – 40 % и межоперационные простои – 40 % времени нахождения вагонов на станции.

В настоящее время организация вагонопотоков в поезда осуществляется в двухмерном пространстве на основании сопоставления затрат на накопление составов и экономии в пути следования от пропуска без переработки. В то же время в оперативных условиях на приведенные затраты и экономию вагоно-часов на станции формирования и в пути следования дополнительное влияние оказывают несвоевременное обеспечение составов локомотивами и отправление готовых поездов (особенно в период предоставления «окон» и трудностях с «вывозом»), замедление движения поездов в пути следования, задержки в ожидании приема на станции и выполнения технологических операций и т. д.

Часто возникает необходимость перераспределения сортировочной работы между техническими станциями из-за несоответствия интенсивности подвода поездов и возможности их переработки. Причем это несоответствие может возникнуть из-за изменения как интенсивности подвода поездов к станции, так и перерабатывающей способности самой станции.

В ходе реформирования железнодорожного транспорта инвентарный парк вагонов стал приватным. Вместе с этим потерял актуальность один из основных критериев системы организации вагонопотоков – сокращение времени оборота вагонов. Соответственно не могут быть критерием для оценки плана формирования поездов затраты, связанные с организацией вагонопотоков, выраженные в приведенных вагоно-часах.

В настоящее время организация вагонопотоков влияет на затраты железнодорожного транспорта из-за несоблюдения срока доставки грузов и переработки вагонов на технических станциях. По-

этому в качестве критериев оценки организации вагонопотоков предлагается использовать эти показатели.

Для частного парка вагонов целесообразно использовать Правила перевозок грузов, где норма суточного пробега грузовой скоростью установлена в зависимости от расстояния перевозки и видов отправки.

При расчете плана формирования одногруппных поездов на сети железных дорог целесообразно использовать комбинирование объединением струй вагонопотоков и выбор конфигураций поездопотоков, т. е. распределение формирования и расформирования составов на выделенных станциях. Появляется возможность в процессе выполнения расчетов плана формирования управлять транзитностью вагонопотоков и загрузкой технических станций. Это достигается решением комбинаторной задачи объединения струй вагонопотоков по выбранным оптимальным параметрам. Использование критерия минимальной переработки вагонов на технических станциях позволяет упорядочить перебор вариантов, значительно сократить их число и выполнять расчеты при помощи компьютера без ограничения участия в расчетах станций.

В процессе расчета плана формирования одногруппных поездов последовательно рассматриваются все струи вагонопотоков, начиная с самых дальних. При неудовлетворении достаточному условию выполняется процедура объединения их с более короткими струями вагонопотоков с переработкой на одной, двух, трех и более станциях до тех пор, пока будет удовлетворено достаточное условие или объединение приведет к участковому назначению. Такой метод позволяет рассчитывать план формирования одногруппных поездов для неограниченного числа станций на разветвленном полигоне.

УДК 656.07+06

## **ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ЗАДАЧИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ ПРИПОРТОВЫМИ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ**

*Н. Н. ЛЯБАХ*

*Майкопский государственный технологический университет, Российская Федерация*

*Е. А. ЧЕБОТАРЕВА*

*Ростовский государственный университет путей сообщения, г. Ростов-на-Дону,  
Российская Федерация*

Припортовые транспортно-технологические системы (ПТТС) являются ключевым звеном транспортно-логистического процесса продвижения грузов по территории стран. Текущее изменение конъюнктуры мировых товарных рынков, происходящее перераспределение грузопотоков в международных транспортных коридорах активизировали не только процессы активного поиска альтернативных поставщиков и потребителей продукции, но и решения задач совершенствования работы транспортного комплекса, в том числе за счет интеллектуализации процессов управления.

В последние годы дисбаланс в загрузке железнодорожных подходов к морским портам Азово-Черноморского, Дальневосточного бассейнов, которые перегружены, и портовых мощностей, при устойчивом росте грузооборота потребовал от транспортников совместных усилий по согласованию и обеспечению ритмичности транспортных процессов. И если ранее планы подвода поездов в порты формировались практически вручную, то в последнее время в теории интеллектуального управления ПТТС появились новые научные заделы [1–8], которые активно находят свое развитие как в задачах прогнозирования отдельных технологических операций и параметров работы станций и узлов, сортировочных устройств, так и в целом могут кардинально изменить процедуры планирования перевозочной деятельности.

Анализ современного состояния вопроса управления ПТТС с учетом интеллектуализации управляющих воздействий, развития информационных систем управления железнодорожным транспортом показывает, что основную роль в управлении ПТТС всё еще выполняют логистические отделы (логистические центры) дирекций управления движением, диспетчерский аппарат которых, активно использует в работе системы, представленные в таблице 1.

Таблица 1 – Информационное обеспечение логистического управления перевозками

Система	Функции	Перспективы
1 АСУ МР (Автоматизируемая система управления местной работой, модуль АСУ МР – ДИЛС (Дорожная информационно-логистическая система))	Реализовано ведение аналитической отчетности по работе припортовых станций, частично автоматизирована функция составления плана подвода к припортовым станциям с последующим контролем его исполнения. Предусмотрен раздел для управления и мониторинга внешнеторговыми грузопотоками. С помощью баз данных АСУ МР возможно производить мониторинг посуточной отгрузки и поступления по стыкам внешнеторговых грузов за необходимый период	Повышение точности автоматизированного построения плана подвода поездов за счет развития машинного интеллекта (нейронечетких моделей) для идентификации сложных зависимостей, прогнозирования и развития механизмов принятия решений, коллективного интеллекта для организации совместной работы агентов ПТТС и методов трансляции естественного интеллекта человека машине
2 Автоматизированные системы организации вагонопотоков, расчета плана формирования поездов (АСОВ, АС РПФП)	Выработка эффективных и технологически обоснованных решений по организации и управлению вагонопотоками. Аналитическая информация о поездо- и вагонопотоках с возможностью отображения на электронной карте сети дорог и полигона, фильтрации по признакам	Интеграция с новой системой ДМ ЗИ (Динамическая модель загрузки инфраструктуры) с целью управления вагонопотоками на полигонах дорог исходя из параметров загрузки инфраструктуры

Вместе с тем сложность объекта исследования (высокая размерность задачи управления, наличие сильно зашумленных и неопределенных данных, высокая скорость реальных процессов) не позволяет усовершенствовать его деятельность в рамках существующих теоретических, методологических и технико-технологических возможностей. Необходимо развивать отечественную теорию и инструментарий исследования и управления ПТТС, что обеспечит ускоренный переход к передовым цифровым, интеллектуальным производственным технологиям (создание киберфизических систем на транспорте, цифровых двойников, внедрение технологий анализа больших данных, Data Mining, надж-технологий, и др.), повысит экономическую эффективность работы транспорта.

Сложность интеллектуализации процессов управления связана также не только с большим объемом данных, но и с имеющейся спецификой каждого полигона ПТТС, где технология планирования выстраивается исходя из элементов технико-технологической модели управления перевозочным процессом на полигоне в направлении портов.

Функционирование интеллектуальных транспортных систем требует применения различных видов обеспечения: интеллектуального, математического, лингвистического, информационного, когнитивного, технологического.

Поэтому предлагается в процессы интеллектуализации ПТТС включить следующие задачи:

- развитие логистикоориентированных моделей и алгоритмов оперативного управления доставкой грузов в адрес припортовых станций с учетом диверсификации услуг в области грузовых перевозок;
- формирование концепции развития и интеграции информационных систем (ДМ ЗИ, ДИЛС, ЭТРАН, ЕАСАПР и др.) с целью прогнозирования выполнения сроков доставки, повышения надежности доставки грузовых и порожних отправок назначением на припортовые станции и других технологических задач;
- категорирование существующих информационных систем оперативного управления перевозочным процессом в ПТТС с участием железнодорожного вида транспорта по возможности трансляции в синтезируемые транспортные системы искусственного интеллекта;
- применение когнитивного моделирования в системах поддержки принятия решений на транспорте: построение когнитивных карт, связывающих причины и следствия, критерии и управляющие воздействия, и отражающих характер мышления и деятельности человека в системе при планировании подвода поездо- и грузопотоков на припортовые станции;
- моделирование и оптимизация транспортных процессов при взаимодействии железнодорожного и морского транспорта в ПТТС с учетом развития машинного интеллекта (нейро-нечетких моделей).

Безусловно, интеллектуальные транспортные системы станут основой современных концепций управления транспортом. Предлагаемые направления интеллектуализации процессов управления ПТТС в целом позволят более гибко реагировать на изменения в технико-технологической модели

управления перевозочным процессом в адрес портов, снизить технологические и экономические риски работы транспорта, поддерживать определенный режим деятельности сложной организационно-технической системы путем смены программы поведения или поиска оптимальных, в некоторых случаях просто эффективных, решений и состояний.

#### Список литературы

- 1 Цифровая трансформация управления перевозочным процессом / И. Н. Розенберг [и др.] // Автоматика, связь, информатика. – 2019. – № 7. – С. 2–6.
- 2 Негрей, В. Я. Прогнозирование динамических свойств отцепов и идентификация расчетных бегунов с применением искусственных нейронных сетей / В. Я. Негрей, С. А. Пожидаев // Тихомировские чтения: Синергия технологии перевозочного процесса : материалы Междунар. науч.-практ. конф. / под общ. ред. А. А. Ерофеева. – Гомель : БелГУТ, 2021. – С. 45–52.
- 3 Collective Intelligence Formation of Transport Complexes Management Based on the Application of the Theory of Active Systems / N. Lyabakh // Intelligent Information Technologies for Industry: Proceedings of the Fifth International Scientific Conference. – 2021. – Vol 330. – DOI: org/10.1007/978-3-030-87178-9\_63.
- 4 Бакалов, М. В. Нейронные сети в формировании и управлении транспортной работой припортового полигона / М. В. Бакалов, В. М. Задорожный, С. В. Шляпников // Управление эксплуатационной работой на транспорте (УЭРТ–2022) : сб. тр. Междунар. науч.-практ. конф. – СПб., 2022. – С. 359–363.
- 5 Розенберг, И. Н. Интеллектуальные транспортные системы как системы управления / И. Н. Розенберг // Славянский форум. – 2016. – № 4 (14). – С. 204–211.
- 6 Умные технологии в портах и в судоходстве, как связанные цифровые двойники берега и судна в мультимодальном окружении / А. А. Климов [и др.] // International Journal of Open Information Technologies. – 2020. – Vol. 8, no 3. – P. 5.
- 7 Анализ данных при планировании перевозок / О. Н. Ларин [и др.] // Интеллектуальные транспортные системы : материалы II Междунар. науч.-практ. конф. – М., 2023. – С. 238–242.
- 8 Розенберг, И. Н. Человеко-машинные системы в транспортной сфере / И. Н. Розенберг, В. Я. Цветков // Наука и технологии железных дорог. – 2021. – Т. 5, № 3 (19). – С. 3–8.

УДК 656.073.235

## УСЛОВИЯ РАЗВИТИЯ КОНТЕЙНЕРНЫХ ПЕРЕВОЗОК ПРОДУКЦИИ ХОЗЯЙСТВУЮЩИХ СУБЪЕКТОВ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

*Е. А. МЕЙСАК, В. Г. КУЗНЕЦОВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Железнодорожный транспорт обеспечивает все виды перевозок грузов субъектов хозяйствования Республики Беларусь (далее – РБ), а также обладает достаточным потенциалом для транзитных перевозок по транспортным коридорам как в направлении Запад – Восток – Запад, так и к портам Балтийского и Черного морей. Белорусская железная дорога проводит системную и целенаправленную работу по наращиванию объемов перевозок грузов в сообщении Беларусь – Китай в рамках проекта «Один пояс, один путь», а также определила свое участие в международном проекте «Север – Юг» для обеспечения перевозок в страны Азии [1].

В последние годы в РБ наблюдается позитивная тенденция роста перевозки экспортных грузов в контейнерах, прежде всего в Российскую Федерацию (РФ), Республику Казахстан (РК), Китайскую Народную Республику (КНР). При этом динамично растут перевозки грузов и по ввозу в контейнерах, прежде всего с КНР.

Контейнерные перевозки являются универсальным видом транспорта по доставке широкой номенклатуре грузов и требуют комплексной системы организации как на объектах инфраструктуры Белорусской железной дороги, так и других участников перевозочного процесса и, прежде всего, грузоотправителей и грузополучателей. Развитие контейнерных перевозок следует решать в рамках Единой технологии перевозочного процесса (ЕТПП) и в соответствии целевыми параметрами, установленными Государственной программой «Транспортный комплекс» на 2021–2025 годы [2]. Государственной программой предусмотрено решение ряда задач, направленных на обеспечение перевозок, в том числе оптимизация транспортно-логистических схем доставки грузов; развитие контейнерных перевозок грузов специализированными поездами в направлении Китай – Западная Европа – Китай; реализация мер по повышению эффективности использования основных фондов терминального комплекса и др. Среди целевых показателей следует отметить рост экспортных

услуг, на выполнение которого существенное влияние оказывают контейнерные перевозки экспортных грузов.

Достижение целевых показателей деятельности железнодорожного транспорта и опережающее развитие контейнерных перевозок требует решения ряда задач [3]:

- формирование и мониторинг грузовой базы для контейнерных перевозок;
- развитие инфраструктуры железной дороги для обеспечения грузовых, маневровых и поездных операций при организации контейнерных перевозок;
- применение комплексной технологии контейнерных перевозок с учетом выбора оптимальных логистических цепей и способов доставки грузов в контейнерах;
- консолидация деятельности всех участников перевозочного процесса на стадиях планирования, управления и регулирования контейнерных перевозок;
- развитие интеллектуальных систем управления перевозками на основе единой цифровой среды контейнерных перевозок.

Грузовая база РБ для контейнерных перевозок железнодорожным транспортом характеризуется ростом объемов и структуры перевозимых на экспорт грузов, увеличением клиентской базы, которые экспортируют свои товары и используют контейнерные перевозки. Согласно данным Национального статистического комитета РБ за 2021 год, основными экспортируемыми были товары сельхозпереработки, древесина и изделия из нее, электрические машины и оборудование, мебель, пластмассы и другие товары, в то время как основными импортируемыми товарами в РБ являлись черные металлы, фармацевтическая продукция, легковые автомобили и прочие транспортные средства и др. Большая номенклатура экспортных грузов может быть успешно перевезена в контейнерах, так как такие перевозки имеют ряд существенных преимуществ и обладают способностью реализации инноваций по транспортировке, хранению и складированию товаров [4].

Грузовая база для контейнерных перевозок железнодорожным транспортом характеризуется как концентрацией перевозки массовых грузов от крупных грузоотправителей, так и значительным территориальным рассредоточением погрузки по отдельным грузам, которые могут быть консолидированы в крупные партии грузов. Такие условия требуют решения задачи транспортной привязки мест образования грузопотока (контейнеропотока) и железнодорожных станций, где выполняются грузовые операции по погрузке контейнеров на вагон и выгрузке с вагона.

Мониторинг грузовой базы и определение тенденций в контейнерных перевозках позволяет корректировать технологические процессы. Например, на современном этапе драйверы роста в экспорте грузов в контейнерах: калийные удобрения, продовольствие, лесоматериалы, специфические товары. Специфическим товаром для перевозок в КНР являются молочные продукты. РБ располагает крупными молочными предприятиями, размещенными во всех областях страны (рисунок 1). Молочная продукция является скоропортящимся грузом и может перевозиться в специализированных рефрижераторных (термических) контейнерах. Рядом с предприятиями-экспортерами может отсутствовать железнодорожная станция, которая способна обеспечить погрузку в контейнерах. На рисунке 2 представлены станции Белорусской железной дороги, осуществляющие работу с контейнерами.



Рисунок 1 – Территориальное расположение молочных предприятий Республики Беларусь

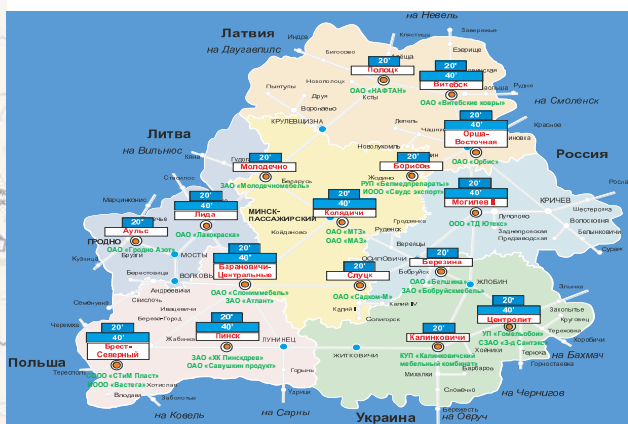


Рисунок 2 – Схема расположения станций Белорусской железной дороги, открытых для работы с крупнотоннажными контейнерами

В зависимости от условий образования грузовой базы и наличия потребной инфраструктуры формируется множество логистических цепей: погрузки на предприятии груза в контейнер и на вагон, погрузки на предприятии груза в контейнер и перемещения на железнодорожную станцию для погрузки на вагон; перемещения продукции от предприятия до железнодорожной станции и погрузка в контейнеры и на вагон. При этом может возникать автомобильная часть логистической цепи. При различных схемах логистических цепей требуется решение задачи выделения железнодорожных станций, специализированных для обработки контейнеров, к которым могут быть привязаны предприятия-экспортеры. Кроме того, необходимо определить оптимальное количество таких станций, их транспортную доступность для обеспечения эффективной организации перевозок в контейнерах с предприятий-экспортеров.

Объекты инфраструктуры участников перевозочного процесса должны обеспечивать необходимые наличные перерабатывающие и пропускные способности. Устанавливаются условия соответствия наличной перерабатывающей способности объектов инфраструктуры и потребной, которая должна быть связана с заявленными объемами грузов на экспорт. Условия соответствия определяются по объектам: погрузочно-разгрузочным местам предприятий, их подъездным путям; станциям примыкания подъездного пути; промежуточным станциям выполнения грузовых операций с контейнерами, грузовым станциям с концентрацией работы с контейнерами, их контейнерными терминалами; транспортно-логистическими терминалами, располагающими железнодорожными путями и др.

Наиболее критическим инфраструктурным объектом является контейнерный терминал (контейнерная площадка), на которой осуществляются массовая погрузка, выгрузка и хранение контейнеров (груза). Для эффективного функционирования контейнерной площадки должны выполняться определенные технические и технологические условия, от которых зависит ее перерабатывающая способность. К техническим условиям относятся длина контейнерной площадки, фронт работы, оснащенность грузовыми кранами (козловые, порталные), ричстакерами, вилочными автопогрузчиками и т. д. К технологическим условиям можно отнести специализацию участков грузовой работы, хранение, завоз, вывоз, количество подач вагонов, очередность подачи вагонов, условия размещения вагонов и т. п. Перерабатывающая способность площадки зависит от объемов хранения и размещения порожних контейнеров, неисправных контейнеров, подлежащих отправке в ремонт.

Организация контейнерных перевозок осуществляется на основании оперативных планов, составляемых на месяц и сутки исходя из плановых заявок клиентов, наличия ресурсов у перевозчика для осуществления таких перевозок, загрузки железнодорожных станций и других условий. Эффективное решение такой сложной задачи зависит от развития интегрированных информационных систем, позволяющих мониторить наличие и местоположение контейнеров и фитинговых вагонов в реальном времени, загрузку контейнерных площадок, планировать использование контейнеров под заявки на перевозку грузов, планировать использование фитинговых вагонов, планировать завоз партий груза для осуществления погрузки и др.

Организация контейнерных перевозок существенно зависит от способа перевозки (маршрутные, групповые, повагонные), плана формирования контейнеров на железной дороге, плана формирования местных поездов и других условий составообразования.

На Белорусской железной дороге отработаны технологии формирования контейнерных поездов с продукцией отечественных предприятий (удобрений, продукции деревообработки, продуктов питания и других) в КНР: в 2021 г. – 151 поезд; 2022 г. – 988 поездов; в 2023 – 1300 поездов (прогноз). Погрузка и формирование контейнерных поездов осуществляются на 18 станциях железной дороги, в более чем 30 городов КНР. Контейнерные поезда позволяют доставить груз до границы с КНР за 7–10 суток, что является преимуществом по сравнению с другими способами доставки. При выборе способа отправки контейнеров в грузовых поездах необходимо учитывать следующие условия:

– при наличии у предприятия большой грузовой базы, достаточной для формирования контейнерного поезда (минимум 30 вагонов) и возможности концентрации погрузки в соответствии с календарным планом работы выделенных железнодорожных станций, производится сравнительная оценка эффективности контейнерных поездов;

– для маломощных контейнерных потоков требуется разработка плана формирования вагонов с контейнерами и его увязка дорожным планом формирования грузовых поездов.

Для реализации различных технологий контейнерных перевозок необходимо разработать способы формирования контейнерных и грузовых поездов, грузовую и маневровую работу на прикреплённых станциях погрузки, согласованный вывод поездов к определённому времени, организацию развоза местных поездов к специализированной станции с дальнейшей переработкой и т. д. В условиях увеличения контейнерных перевозок в международном сообщении требуется оптимизация количества и расположения специализированных для работы с контейнерами станций на полигоне железной дороги, а также их перевозочного потенциала.

#### Список литературы

1 Национальная стратегия устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2030 года : одобр. на заседании Президиума Совета Министров Респ. Беларусь от 2 мая 2017 г., протокол № 10.

2 Государственная программа «Транспортный комплекс» на 2021–2025 годы : постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 23 марта 2021 г. № 165.

3 Сладкевич, А. Н. Инновационные решения по организации логистических схем доставки экспортных грузов / Тихомировские чтения: Наука и современная практика технологии перевозочного процесса : материалы Междунар. науч.-практ. конф. (20–21 октября 2022 г., Гомель). – Гомель : БелГУТ, 2023. – С. 29–35.

4 Паршина, Р. Н. Контейнерные перевозки грузов в международных транзитных сообщениях / Р. Н. Паршина. – М. : ВИНТИ РАН, 2006. – 220 с.

УДК 681.518.5+656.1/5

## РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ДОРОЖНЫМ ДВИЖЕНИЕМ ЗА СЧЕТ УВЯЗКИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

*Д. И. МИХАЙЛЮК*

*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Российская Федерация*

С усилением урбанизации и ростом населения управление транспортными потоками стало иметь решающее значение для обеспечения устойчивости транспортной системы. Используя подход, основанный на аналитике влияния внешних факторов на конструкции искусственных сооружений, появляется возможность реализации эффективных и безопасных стратегий управления.

С развитием цифровизации и новейших методов интеллектуальной аналитики, а также инструментов управления остро встаёт вопрос о пересмотре и доработке устаревших методов, в которых сотрудники эксплуатирующих объекты служб вручную анализируют полученные данные [1], или создании принципиально новых систем, базирующихся на новых технологиях, отвечающих таким требованиям, как достоверность и «чистота», безопасность и отказоустойчивость [2, 3].

На автомобильных дорогах РФ постепенно в практику внедряются интеллектуальные транспортные системы. Прежде всего, ими оборудуются особо значимые магистрали, например, Западный скоростной диаметр в Санкт-Петербурге, Московская кольцевая автомобильная дорога, строящаяся трасса Москва – Казань и др. Наличие интеллектуальных транспортных систем позволяет оптимизировать движение и затраты на него пользователей всех сегментов, а также повышать уровень комфортабельности перевозок.

В интеллектуальных транспортных системах реализуются различные сценарии для управления дорожным движением [4, 5], которые могут иметь как оптимизационный характер при штатной деятельности системы, так и быть ситуативными при различных критических обстоятельствах.

Штатное функционирование системы управления дорожным движением предполагает сочетание сбора данных, анализа, принятия решений и ответных действий для оптимизации транспортного потока, повышения безопасности и уменьшения заторов на дорожных сетях [6–8].

К настоящему моменту внедряемые интеллектуальные транспортные системы не имеют увязки с используемыми на ряде объектов системами автоматизированного мониторинга состояния искусственных сооружений автомобильных дорог [9, 10]. Такая увязка не предусмотрена на нормативном уровне, хотя и выглядит весьма логичной, ведь создается возможность управления безопасно-

стью инфраструктурного комплекса автомобильных дорог и минимизируются риски аварий и катастроф, связанных с некачественным состоянием самой инфраструктуры.

Примерами сценариев управления при фиксации системой мониторинга инженерных конструкций и сооружений критических изменений в искусственных сооружениях могут служить оповещение о тревоге, автоматическое отключение, дистанционное управление, перенаправление трафика, совместные действия с аварийными службами. Это, однако, возможно реализовать только при наличии информационной увязки системы управления и мониторинга.

В ходе исследования был разработан программный модуль формирования сценариев в интеллектуальной транспортной системе, получающий данные от системы автоматизированного мониторинга. Он разработан с позиции теории конечных автоматов в виде программного кода.

Простейшая модель, основанная на теории конечных автоматов, строится на предположении, что сама подсистема увязки включает в себя три основных состояния: «диагностирование изменений», «генерацию сценария управления» и «передачу сценария управления».

С целью учета прогнозных изменений в состоянии объекта мониторинга модуль формирования сценариев управления был разработан с использованием линейной регрессии на языке Python [11].

В качестве анализа использованы «сырые» данные, полученные от системы автоматизированного мониторинга, развернутой на Русском мосту во Владивостоке [12, 13]. Были взяты данные за четверо суток. Данные были выгружены с серверов системы мониторинга и далее обрабатывались с помощью программного модуля увязки.

В разрабатываемом программном коде оценивается влияние показателей ветровой нагрузки на показатели аппаратного модуля, установленного непосредственно на объекте мониторинга. Линейная регрессия позволяет найти линию наилучшего соответствия (прогнозную линию) между переменными и, таким образом, позволяет оценить влияние ветровой нагрузки на значения, получаемые с датчиков системы мониторинга.

При обучении модели линейной регрессии на данных она определяет веса и смещение линии таким образом, чтобы минимизировать сумму квадратов ошибок между исходными значениями и прогнозируемыми значениями. В итоге мы получаем линию, которая хорошо описывает общую тенденцию в данных.

В заключение отметим, что основа программного модуля выстраивается на теории конечных автоматов, логика которого представлена в запуске «нормального» состояния и просмотра обновлений; при фиксации «критического» изменения автомат переходит в состояние «диагностика», в котором выполняются диагностические процедуры. При успешном прохождении всех проверок автомат возвращается в «нормальное состояние», в противном же случае он переходит в состояние «альтернативный» и отправляет соответствующий сценарий управления в транспортные системы.

Модификация алгоритма с помощью модели линейной регрессии позволяет учитывать влияние внешних факторов, в нашем случае ветровой нагрузки, на показатели аппаратного комплекса, а также предоставляет исчерпывающую информацию о состоянии конструкции, надежности и безопасности использования объектов инфраструктуры, а автоматический запуск сценария в интеллектуальной транспортной системе позволяет своевременно передать информацию эксплуатирующему персоналу и участникам движения.

#### Список литературы

1 Технология анализа результатов мониторинга при эксплуатации мостового перехода на остров Русский через пролив Босфор Восточный во Владивостоке / В. Н. Мячин [и др.] // Дороги и мосты. – 2023. – № 1 (49). – С. 177–195.

2 **Ефанов, Д. В.** Концептуальные основы синтеза безопасных систем управления движением поездов / Д. В. Ефанов, В. В. Хорошев, Г. В. Осадчий // Мир транспорта. – 2022. – Т. 20, № 3 (100). – С. 50–57. – DOI: 10.30932/1992-3252-2022-20-3-6.

3 **Efanov, D. V.** Principles of Safety Signalling and Traffic Control Systems Synthesis on Railways / D. V. Efanov, V. V. Khóroshev, G. V. Osadchy // Applications and Manufacturing (ICIE) : Proceedings of 9th International Conference on Industrial Engineering, Sochi, Russia, May 15–19, 2022. – P. 634–638. – DOI: 10.1109/ICIEAM57311.2023.10139292.

4 ИТС на автомобильном транспорте. Технологии, методы и практика применения / Б. Д. Кьяра [и др.]. – М. : Типография Парадиз, 2014. – 532 с.

5 **Евстигнеев, И. А.** Основы создания интеллектуальных транспортных систем в городских агломерациях России / И. А. Евстигнеев. – М. : Перо, 2021. – 294 с.

6 **Абрамова, Л. С.** Модели управления дорожным движением для АСУДД / Л. С. Абрамова // Вестник ХНАДУ. – 2010. – № 50. – С. 57–63.

7 **Капский, Д. В.** Анализ алгоритмов управления дорожным движением и их применимости на современном этапе развития ИИТС / Д. В. Капский, И. Н. Пугачев, Д. В. Навой // Дальний Восток: проблемы развития архитектурно-строительного комплекса. – 2019. – № 1–1. – С. 259–264.



8 Мишкина, А. А. Построение семейства сценариев использования с целью анализа функциональной безопасности систем управления / А. А. Мишкина, О. М. Кировский, И. А. Мозолин // International Journal of Open Information Technologies. – 2022. – Vol. 10, no 5. – P. 81–90.

9 Ефанов, Д. В. Интеграция систем мониторинга инженерных конструкций и сооружений с интеллектуальными транспортными системами / Д. В. Ефанов // Мир дорог. – 2023. – № 155. – С. 74–76.

10 Ефанов, Д. В. Ситуационное управление дорожным движением при интеграции систем мониторинга инженерных конструкций и сооружений с интеллектуальными транспортными системами / Д. В. Ефанов // Дороги Содружества Независимых Государств. – 2023. – № 6 (109). – С. 87–93.

11 Proglib: библиотека программиста / Линейная регрессия на Python. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://proglib.io/p/linear-regression>. – Дата доступа : 10.08.2023.

12 Выбор способа фильтрации диагностических данных в системах непрерывного мониторинга объектов транспортной инфраструктуры / Д. В. Ефанов [и др.] // Транспорт Российской Федерации. – 2020. – № 2. – С. 35–40.

13 Filtration of Diagnostic Data for Retrospective Analysis in Health Monitoring Systems of Engineering Structures / D. V. Efanov [et. al.] // Proceedings of 18th IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2020), Varna, Bulgaria, September 4–7, 2020. – P. 189–196. – DOI: 10.1109/EWDTS50664.2020.9224797.

УДК 656.22.073

## ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ РИСКОВ В ПРОЦЕССАХ РЕГУЛИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ПОЕЗДОВ

*О. В. МЛЯВАЯ*

*Конструкторско-технический центр Белорусской железной дороги, г. Минск,*

*В. Г. КУЗНЕЦОВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Регулирование движения поездов осуществляется при возникновении недопустимых состояний поездной работы и является необходимым управленческим процессом по обеспечению требований графика движения поездов (ГДП) и эффективности перевозочного процесса. Для решения таких задач используются различные методы и способы диспетчерского управления, технологии формирования и обработки поездов на технических станциях, пропуска поездов по участкам инфраструктуры, которые позволяют оперативно реагировать на изменения в состоянии поездной работы [1].

На процесс движения поездов на железнодорожных участках и в узлах влияют множество факторов (технических, технологических, организационных, природных и др.), вызывающих задержки поездов, несоблюдение ГДП. Поэтому для выбора методов регулирования и эффективных технологических решений может использоваться оценка рисков. Оценка рисков в поездной работе – определение величины (степени) риска возникновения недопустимых значений параметров задержек в движении поездов, приводящих к несоблюдению ГДП и непроизводительным эксплуатационным затратам. Оценка рисков осуществляется с применением количественных и качественных методов оценки.

Параметрическая оценка множества состояний поездной работы на железнодорожных участках (как динамической транспортной системы) состоит в выявлении негативных факторов и недопустимых состояний в соответствии с параметрами, установленными в плане формирования (ПФ) и при моделировании пропуска поездов в ГДП. Для идентификации состояний поездной работы, оценки риска можно использовать технологию обработки больших данных (*Big Data, BD*) [2].

При анализе рисков выполнения поездной работы в соответствии с нормативным ГДП (НГДП) может возникать недостоверная оценка, поэтому необходимо использовать актуальную модель ГДП (АГДП), которая отражает объективные поездные заявки перевозчиков на плановые сутки. НГДП и его адаптация к суточному плану поездной работы в виде АГДП представляют собой целевые модели поездной работы и формируют расписание каждой нитки для заявленного множества грузовых и пассажирских поездов различных категорий. Для повышения качества применения методики анализа рисков нарушения поездной работы при разработке АГДП можно использовать технологию динамического планирования маршрута поезда. Эта технология основана на использовании алгоритмов оптимизации маршрута поезда и позволяет оперативно реагировать на изменения

в состоянии поездной работы. В рамках этой технологии рассчитывается оптимальный маршрут поезда по станциям участка с учетом прогнозной ситуации по формированию и отправлению поездов с технических станций и параметров заявленных и сформированных поездов. Такая модель построения АГДП позволяет эффективнее использовать инфраструктуру (технические станции и участки), получить достоверные целевые показатели и оценку рисков невыполнения ГДП в плановые сутки.

Оценка возможного ущерба и выбор мер регулирования поездной работы на участках при выходе ее из допустимого состояния производится на основе параметров, характеризующих затраты на движение каждого поезда и всей совокупности поездов за сутки или период регулирования.

Например, для общей оценки графика движения поездов можно использовать коэффициент задержек, который вычисляется по формуле

$$k_3^{\text{ГДП}} = \frac{\sum T_{\text{пзj}} - \sum T_j}{\sum T_j}, \quad (1)$$

где  $T_{\text{пзj}}$  – время нахождения в пути -го поезда с учетом задержек на маршруте следования;  $T_j$  – время нахождения поезда в пути на маршруте следования в соответствии с ГДП (НГДП или АГДП).

Другой параметр – коэффициент снижения эффективности пропуска поездов в ГДП –

$$k_{\text{пр}}^{\text{ГДП}} = \frac{\sum T_j}{\sum T_j + \sum T_{\text{д.з.}j}}, \quad (2)$$

где  $\sum T_{\text{д.з.}j}$  – дополнительные затраты времени нахождения  $j$ -го поезда на маршруте следования при наличии различных видов нарушений в движении (сбоев).

Кроме того, могут использоваться и другие параметры, например, количество дополнительных задержек поездов на участке, количество задержек отправления поездов с технических станций, количество задержек поездов по приему поездов на технические станции, количество отмен ниток графика движения поездов, среднее время задержек в движении поездов, длительность нарушений (сбоев), вызывающих задержки поездов, и т. д. Все эти параметры могут быть использованы для сравнения состояний поездной работы в нормальном состоянии (в соответствии с ГДП) и при возникновении нарушений (сбоев), а также последующей оценке эффективности мер оперативного регулирования. Эти параметры могут быть использованы и как исходные параметры моделирования поездной работы при выборе способов регулирования и построения ГДП при нарушении движения поездов на железнодорожном полигоне с минимизацией рисков недопустимых задержек поездов [3].

Технические и технологические риски в системе поездной работы можно выразить через параметры суммарных временных затрат при возникновении отказов, сбоев, нарушений в движении поездов на железнодорожном полигоне, а также срывов ниток в ГДП. Отказ технических средств на железнодорожном участке может быть представлен в модели поездной работы через вероятность отказа, интенсивность и плотность потока отказов, вызвавших нарушение ГДП. Сбой в движении поездов представляет собой нарушение параметров в пропуске поездов и возникновение дополнительных задержек поездов на участке. Задержки поездов характеризуются дополнительными затратами времени нахождения поездов на участке, вероятностью задержек поездов и несоблюдения установленных норм нахождения поезда в пути и стоянок на станциях. Срыв ниток в ГДП представляет собой отмену отправления поездов, несоблюдение параметров нитки ГДП, потребность занятия поездами иной нитки (дополнительной нитки) для его пропуска по участку.

Технические риски связаны с возможными отказами (разных видов) технических систем и объектов (устройств), используемых при движении поездов, таких как сигнализация, связь, путь, подвижной состав и др. Технические риски можно охарактеризовать с помощью зависимости

$$k_{\text{т.к}}^{\text{ГДП}} = \frac{\sum T_{\text{и.о.}j}^{\text{т.к}} - \sum T_{\text{у.о.}j}^{\text{т.к}} + \sum T_{\text{рег}j}^{\text{т.к}}}{\sum T_i}, \quad (3)$$

где  $T_{\text{и.о.}j}^{\text{т.к}}$  – дополнительные затраты времени нахождения -го поезда на маршруте следования за время идентификации отказа объектов устройств технического комплекса и подвижного состава; (технических сбоев);  $T_{\text{у.о.}j}^{\text{т.к}}$  – дополнительные затраты времени нахождения  $j$ -го поезда на маршруте следования

за время устранения отказа;  $T_{\text{рег}j}^{\text{т.к}}$  – дополнительные затраты времени нахождения  $j$ -го поезда на маршруте следования в период оперативного регулирования по восстановлению движения в ГДП.

Технологические риски связаны с возможными задержками в пропуске поездов, вызванными нарушениями технологических процессов и управления поездной работой на станциях и участках, таких как занятие горловины станции составом поезда, несоблюдение тяговых режимов движения поездов, нахождение в фидерной зоне тяговых подстанций поездов с превышением допустимой суммарной массы, несоблюдение регламента отправления, пропуска и приема поездов на станциях участка и т. д. Технологические риски могут быть охарактеризованы зависимостью

$$k_{\text{т.о}}^{\text{гдп}} = \frac{\sum T_{\text{и.о.}j}^{\text{т.о}} - \sum T_{\text{у.о.}j}^{\text{т.о}} + \sum T_{\text{рег}j}^{\text{т.о}}}{\sum T_i}, \quad (4)$$

где  $T_{\text{и.о.}j}^{\text{т.о}}$  – дополнительные затраты времени нахождения  $j$ -го поезда на маршруте следования за время идентификации нарушения технологии поездной работы (технологических сбоев);  $T_{\text{у.о.}j}^{\text{т.о}}$  – дополнительные затраты времени нахождения  $j$ -го поезда на маршруте следования за время устранения отказа;  $T_{\text{рег}j}^{\text{т.о}}$  – дополнительные затраты времени нахождения  $j$ -го поезда на маршруте следования в период оперативного регулирования по восстановлению движения в ГДП.

Величина задержек поездов в технологических системах (системах массового обслуживания) зависит от нагрузки на систему [1, 4] – числа поездов (с учетом категорий поездов и их параметров в соответствии с ПФ и ГДП), использования пропускной способности, ниток ГДП. При этом следует учитывать два возможных предельных состояния ГДП: 1) организация поездной работы в условиях насыщенного ГДП при прокладке максимально возможного числа поездов исходя из пропускных способностей; 2) организация поездной работы под максимально возможные размеры движения поездов, заявленные перевозчиками. Во втором случае резерв ГДП выше, что создает условия для более эффективного оперативного регулирования поездной работы. Применение АГДП позволяет увеличить такой резерв и соответственно повысить эффективность мер оперативного регулирования диспетчерским персоналом.

Например, риск заполнения ГДП связан максимальным использованием ниток, предусмотренных в ГДП (НГДП или АГДП) для организации поездной работы в соответствии со сменносуточным планом (ССП), и отсутствием возможности назначения новых ниток для пропуска дополнительно заявленных поездов. Этот риск может привести к невыполнению СПП поездной работы, увеличению риска задержек поездов в пути (в силу увеличения плотности транспортного потока), увеличению технологического и технического рисков, что характеризуется зависимостями (1)–(4). Поэтому при управлении транспортным потоком и оптимизации работы железнодорожных линий необходимо учитывать принципы минимизации возможных рисков.

Состояние поездной работы изменяется в течение суток в силу разных причин и прежде всего неравномерности движения поездов различных категорий в течение суток. В этом случае для оценки возможных рисков нарушения поездной работы необходимо устанавливать и контролировать такие параметры транспортного потока на железнодорожных участках, как плотность и интенсивность потока поездов, коэффициент насыщенности участка поездами и ряд других [4].

Мониторинг плотности расположения поездов на железнодорожном участке позволяет давать текущую оценку состояния в поездной работе:

$$\rho_{\text{уч}}(t) = \frac{N(t)_{\text{уч}}}{L_{\text{уч}}}, \quad (5)$$

где  $N(t)_{\text{уч}}$  – число поездов, одновременно находящихся на железнодорожном участке;  $L_{\text{уч}}$  – длина железнодорожного участка.

Мониторинг интенсивности движения поездов может проводиться через параметры интенсивности отправления поездов с технических станций и интенсивности подвода поездов на технические станции:

$$\lambda_{\text{тс}}^{\text{отпр}}(t) = \frac{N_{\text{тс}}^{\text{отпр}}(t)}{T_i}, \quad \lambda_{\text{тс}}^{\text{подв}}(t) = \frac{N_{\text{тс}}^{\text{подв}}(t)}{T_i}, \quad (6)$$

где  $N_{\text{тс}}^{\text{отпр}}(t)$ ,  $N_{\text{тс}}^{\text{подв}}(t)$  – соответственно количество поездов, отправленных с технической станции за промежуток времени  $T_i$  и количество поездов, подведенных с участка на техническую станцию за период  $T_i$ . Период  $T_i$  выбирается исходя из загрузки участка в диапазоне  $T_i = 1 \dots 4$  ч.

Мониторинг коэффициента насыщенности железнодорожного участка поездами позволяет оценить количество поездов, находящихся на участке на любой момент времени:

$$N(t_i)_{\text{уч}} = \frac{T_{\text{п}}^{\text{уч}}(t)}{I_{\text{п}}^{\text{отпр}}}, \quad (7)$$

где  $T_{\text{п}}^{\text{уч}}(t)$  – затраты времени на нахождение поезда на участке;  $I_{\text{п}}^{\text{отпр}}$  – интервал времени между поездами, поступающими на участок.

Риск перехода к насыщению графика движения поездами связан с достижением максимальной плотности движения на участке и отсутствием возможности ввода дополнительных ниток поездов в расписание.

Для оценки риска нарушения поездной работы на участке могут быть использованы различные классические методы математического и имитационного моделирования потока поездов, анализа расписания движения поездов с использованием методов теории очередей, уравнений баланса числа поездов на участке и т. д. Такие методы позволяют выявить возможные состояния поездной работы и варианты диспетчерского регулирования движения поездов в соответствии с параметрами НГДП и АКГДП и ССП.

#### Список литературы

- 1 Каретников, А. Д. График движения поездов: [монография] / А. Д. Каретников, Н. А. Воробьев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Транспорт, 1979. – 301 с.
- 2 Ковшик, А.А. Выбор методов и средств для обработки больших данных в сфере электронного обучения / А. А. Ковшик, С. Г. Самохвалова // Весник АмГУ. – 2020. – № 89. – С. 32–35.
- 3 Жарков, М. Л. Моделирование работы станций и участков железнодорожной сети на основе изучения отклонений от графика движения / М. Л. Жарков, П. А. Парсюков, А. Л. Казаков // Весник ИрГТУ. – 2014. – № 6 (89). – С. 23–31.
- 4 Левин, Д. Ю. Оптимизация потоков поездов / Д. Ю. Левин. – М. : Транспорт, 1988. – 175 с.

УДК 656.064

## ЛОГИКО-ВЕРОЯТНОСТНЫЕ МОДЕЛИ ОЦЕНКИ СИСТЕМ БЕЗОПАСНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

*В. Я. НЕГРЕЙ, С. А. ПОЖИДАЕВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Повышение уровня безопасности функционирования железнодорожных станций требует создания инновационных систем закрепления и удержания подвижного состава в парках железнодорожных станций. Особую остроту эта задача имеет для парков станций, расположенных на уклонах 1–2 ‰ [1]. Такое обстоятельство связано с существенным изменением физико-технических параметров подвижного состава и сокращением основного удельного сопротивления движению вагонов, практически неизменными на протяжении длительного времени нормативными требованиями к параметрам продольного профиля путей парков железнодорожных станций, их содержанию [2, 3].

Для повышения уровня безопасности закрепления и удержания вагонов на путях железнодорожных станций используются разнообразные механические устройства, также разработан ряд новых, основанных на различных принципах действия [1]. К новым и перспективным устройствам закрепления подвижного состава на станционных путях относятся, в частности, «ЗУБР» и «БЗУ-ДУ-СП2(1)К», разработанные Межгосударственным концерном «Трансмаш», комплекс технических средств автоматизированного закрепления составов (НПП «Промэлектроника», РФ). Удерживающее весовое устройство «УВУ» разработано Молодечненским электромеханическим заводом (г. Молодечно, Республика Беларусь). Эти устройства в настоящее время проходят апробирование и применяются на станциях Белорусской железной дороги и холдинга «РЖД». Одновременно с развитием технических средств

совершенствуется методика расчета основных параметров систем закрепления подвижного состава. В данном исследовании авторами предлагается использование логико-вероятностных моделей для расчета систем безопасности на железнодорожных станциях.

Для определения объемов капитальных вложений в закупку и выполнение строительно-монтажных работ по установке удерживающих устройств на путях парков станций необходимо надежно оценивать требуемую величину удерживающего усилия в фактических условиях нахождения подвижного состава с учетом действия различных факторов и парирования возможных рисков нарушения условий безопасности перевозочного процесса.

Удерживающее усилие  $F_{уд}$  должно быть не менее величины и противоположно по направлению движущей силы  $F_{дв}$ , которая создается силой тяжести состава  $F_T = Q_{бр}g$  с учетом тангенциальной поправки, находящегося на уклоне  $i_{спр}$  при противодействии сил сопротивления движению  $F_{сопр} = wQ_{бр}g$ . В этом случае удерживающее усилие  $F_{уд} \geq F_{дв} - F_{сопр}$ , кН. На основе полученного вывода

$$\bar{F}_{уд} \geq Q_{бр}g \left( i_{спр} - \bar{w} \left[ \cos(\arctg i_{спр}) (1 + i_{спр}^2) \right] \right) \cdot 10^{-3}, \text{ или с достаточной точностью } \bar{F}_{уд} \geq Q_{бр}g' (i_{спр} - \bar{w}) \cdot 10^{-3},$$

где  $g'$  – коэффициент, характеризующий изменение кинетической энергии состава (группы вагонов) с учетом инерции вращающихся их частей (колес), т. е. поправка на инерционность, м/с<sup>2</sup>;  
 $\bar{w}$  – математическое ожидание суммарного сопротивления движению состава на пути, Н/кН;

$$\bar{w} = \bar{w}_{тр} + \bar{w}_o + \bar{w}_{кр} \pm \bar{w}_{св} + w_{си},$$

где  $\bar{w}_{тр}, \bar{w}_o, \bar{w}_{кр}, \bar{w}_{св}, w_{си}$  – соответственно математическое ожидание удельного сопротивления движению при трогании с места, основного удельного сопротивления, от воздушной среды и ветра, кривых участков пути, снега и инея. Расчетные выражения для определения этих сопротивлений были предложены и уточнялись в различные периоды: в 1930-х (А. Н. Фролов, Б. В. Бодманов) и начале 1950-х годов (И. И. Страковский), в 1970–1980-х годах (Е. А. Сотников, И. П. Старшов, В. П. Волков, Ю. А. Муха, А. И. Павловский и др.), когда были разработаны основные положения, применяемые до сих пор. Как отмечалось выше, с учетом улучшения ходовых качеств вагонов, увеличения их грузоподъемности, осевой нагрузки, геометрических параметров, формирования парка «инновационных» грузовых вагонов актуальность пересмотра удельных сопротивлений значительно возросла. В [3] отмечается, что доля вагонов тяжелой весовой категории с основным удельным сопротивлением менее 0,5 н/кН при проведении экспериментов в современных условиях работы станций составила около 40 %. Систематизация результатов экспериментальных работ по определению коэффициентов воздушного сопротивления вагонов и соответственно удельного сопротивления движению от воздушной среды и ветра показала, что наибольшим аэродинамическим сопротивлениям «с» и, следовательно, самопроизвольному сдвигу на станционных путях от ветровой нагрузки подвержены платформы, груженные контейнерами, и 8-осные полувагоны (в группе) в широком диапазоне углов обдувки ветром (0–62° в первом и 0–51° – во втором случае), а не вагоны-хопперы.

В самых неблагоприятных условиях для удержания состава на парковых путях станций, когда попутный ветер создает дополнительную движущую силу  $f_{св}$ , способствующую сдвигу вагонов с места во время стоянки и их движению, т. к. сопротивление  $\bar{w}_{св}$  принимается со знаком «←» ( $\bar{w}_{св} < 0$ ) и  $w_{си} = \bar{w}_{кр} = 0$ , выражение для определения удерживающего усилия примет вид

$$\bar{F}_{уд} \geq Q_{бр}g' \left( (i_{спр} + \bar{f}_{св}) - \bar{w} \right) \cdot 10^{-3}, \text{ где } \bar{f}_{св} = cv_p^2 / q = 17,8 \left( C_{x1} S_1 + \sum_{j=2}^n C_{xj} S_j \right) v_p^2 / \left( (273 + t_p) \sum_{j=1}^n q_j \right); \bar{w} = \bar{w}_{тр} + \bar{w}_o.$$

С учетом вероятностного характера сил сопротивления движению и изменяющихся условий

$$F_{уд} \geq \bar{F}_{уд} + t_\beta \sigma_w, \text{ или } F_{уд} \geq Q_{бр}g' \left( (i_{спр} + \bar{f}_{св}) - \bar{w} + t_\beta \sigma_w \right) \cdot 10^{-3},$$

где  $t_\beta$  – параметр доверительной вероятности;  $\sigma_w$  – среднеквадратическое отклонение суммарного сопротивления движению состава относительно величины  $\bar{w}$ ,

$$\sigma_w = \sqrt{\sigma_{w_o}^2 + \sigma_{w_{тр}}^2 + \sigma_{w_{кр}}^2 + \sigma_{f_{св}}^2} \text{ при } \sigma_{wj} = \gamma_j \bar{w}_j,$$

$\sigma_{w_o}, \sigma_{w_{тр}}, \sigma_{w_{кр}}, \sigma_{f_{св}}$  – среднеквадратическое отклонение соответственно основного удельного сопротивления, сопротивления при трогании вагонов с места, от кривых участков пути и удельной движущей

силы от ветровой нагрузки, Н/кН;  $\gamma_j$  – коэффициент вариации величины удельных сил сопротивления движению вагонов. Принимается  $\gamma_{осн} = \gamma_{кр} = 0,1$ ;  $\gamma_{тр} = 0,15$ ;  $\gamma_{св} = 0,3$ .

Для удержания состава с риском самопроизвольного ухода вагонов близким к нулю (уровень доверительной вероятности  $p = 0,997$ )

$$F_{уд} \geq Q_{бр} g'((i_{спр} + \bar{f}_{св}) - \bar{w} + 3\sigma_w) \cdot 10^{-3},$$

а при уровне риска, равном 0,05 (уровень доверительной вероятности  $p = 0,95$ ),

$$F_{уд} \geq Q_{бр} g'((i_{спр} + \bar{f}_{св}) - \bar{w} + 1,65\sigma_w) \cdot 10^{-3}.$$

Количество устройств для закрепления и удержания состава на парковых путях определяется как

$$K_3 \geq \frac{Q_{бр} g'((i_{спр} + \bar{f}_{св}) - \bar{w} + t_\beta \sigma_w) \cdot 10^{-3}}{F_{уд}^{устр} - t_\beta \sigma_{уд}},$$

где  $\sigma_{уд}$  – среднеквадратическое отклонение усилия удержания устройства («ЗУБР», «УВУ» и др.) относительно его номинальной величины  $F_{уд}^{устр}$ , Н (тс).

Выполненные расчеты для реальных станций показали, что приведенная методика оценки параметров устройств и автоматизированных систем закрепления и удержания подвижного состава в парках железнодорожных станций на основе логико-вероятностных методов расчета позволяет надежно определять требуемое удерживающее усилие с учетом действия различных факторов и фактических условий нахождения подвижного состава на станционных путях.

#### Список литературы

- 1 Негрей, В. Я. Логико-вероятностные модели расчета систем безопасности на железнодорожных станциях / В. Я. Негрей, С. А. Пожидаев // Интеллектуальные транспортные системы : материалы II Междунар. науч.-практ. конф. / под общ. ред. Л. А. Баранова. – М. : РУТ (МИИТ), 2023. – С. 600–606.
- 2 Смирнов, В. И. О равновесном уклоне станционного профиля / В. И. Смирнов, С. А. Видюшенко // Известия Петербургского университета путей сообщения. – СПб. : ПГУПС, 2020. – Т. 17. – Вып. 4. – С. 575–582.
- 3 Бессоненко, С. А. Исследование основного удельного сопротивления движению отцепов при скатывании с сортировочной горки на основе натурных наблюдений / С. А. Бессоненко, А. А. Гунбин, А. А. Климов // Вестник Сибирского гос. ун-та путей сообщения. – 2022. – № 4 (63). – С. 62–68.

УДК 656.225.073

## ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ СИСТЕМ ОРГАНИЗАЦИИ ДВИЖЕНИЯ ГРУЗОВЫХ ПОЕЗДОВ

В. Я. НЕГРЕЙ, С. А. ПОЖИДАЕВ

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Система организации движения грузовых поездов оказывает существенное влияние на энергетическую эффективность перевозочного процесса.

Наиболее известны системы: ОПГС – отправление поездов по готовности (полновесные или полносоставные); ГДРЯ – по графику движения поездов с выделением расписаний для регулярного ядра; ГДРР – по графику движения поездов с равноправными расписаниями; СИРП (ИРДП) – на основе системы интервального регулирования (для двухпутных линий); ГДПР – регулярное движение поездов на основе расписаний.

Каждая из указанных систем имеет свои преимущества и недостатки. Поэтому поиск наиболее эффективной системы взаимодействия железнодорожной инфраструктуры и подвижного состава является важной задачей, особенно в условиях рыночных отношений.

Принципиальная схема расчета качественных показателей различных систем организации движения поездов на направлении показана на рисунке 1.



Рисунок 1 – Принципиальная схема определения качественных показателей системы организации движения поездов

Принципиальное значение для выбора системы организации движения поездов играет расчет потерь энергии на тягу поездов.

В общем виде механическая работа локомотива определяется по формуле

$$A_j = 1000g(M_{lj} + M_{cj})(w_{oj} + i_3)L,$$

где  $g$  – ускорение свободного падения,  $m/c^2$ ;  $M_{lj}$ ,  $M_{cj}$  – соответственно, масса локомотива, состава на  $j$ -м участке железнодорожного направления, т;  $w_{oj}$  – основное удельное сопротивление движению поезда,  $n/kH$ ;  $i_3$  – эквивалентный уклон, ‰;  $L$  – длина участка, км.

В современных условиях существенно изменились параметры системы «колесо – рельс», что повлияло на величину основного удельного сопротивления. В частности, около 20–30 % вагонов имеют основное удельное сопротивление менее 0,5  $N/kH$ . Поэтому прогнозное среднее основное сопротивление движению вагонов на роликовых подшипниках для бесстыкового пути

$$w_o'' = 0,64 + (2,4 + 0,072v + 0,0016v^2) / q.$$

Энергетическая эффективность систем организации движения поездов существенно зависит от потребного парка локомотивов и их резервного пробега. Для расчета указанных параметров разработаны аналитические зависимости, которые базируются на расчетах участковой скорости движения поездов.

В общем виде с учетом предложений [1] участковая скорость

$$v_{yч} = \phi' \phi'' \beta_{yч} v_x,$$

где  $\phi'$ ,  $\phi''$  – эмпирические коэффициенты, которые зависят от количества главных путей, устройств СЦБ и связи, выбранной системы организации движения поездов и других факторов;  $\beta_{yч}$  – коэффициент участковой скорости;  $v_x$  – ходовая скорость, км/ч.

Исследования показывают, что для объективной оценки эффективности систем организации движения поездов необходимо учитывать экономические потери, связанные с простоем подвижного состава на железнодорожных станциях, изменением стоимости грузовой массы, стоимости вагонного парка. В докладе приведена методика технико-экономической оценки систем организации движения поездов.

#### Список литературы

1 Управление эксплуатационной работой и качеством перевозок на железнодорожном транспорте : учеб. для вузов / П. С. Грунтов [и др.]. – М. : Транспорт, 1994. – 543 с.

## **ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ТЕРМИНАЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ КОНТЕЙНЕРОВ В ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ЛОГИСТИКЕ**

*В. Г. ПИЩИК*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Для Белорусской железной дороги развитие грузовых перевозок является одним из приоритетных направлений. Белорусская магистраль стремится создать максимально комфортные, привлекательные и конкурентоспособные условия для клиента по перевозке грузов. В предоставлении услуг в сфере грузовых перевозок у железнодорожного транспорта имеется ряд преимуществ: наличие развитой инфраструктуры, большой опыт и отлаженная технология работы с клиентом.

Контейнерные перевозки являются одним из наиболее эффективных видов грузоперевозок в международном сообщении и обладают рядом преимуществ в сравнении с другими вариантами перевозки грузов:

- перевозка грузов контейнерами может иметь более низкую себестоимость в сравнении с другими технологиями перевозки грузов;
- существенно сокращена продолжительность начально-конечных операций;
- повышенный уровень сохранности груза;
- широкие возможности автоматизации выполнения терминальных операций и контроля грузов в пути следования;
- доставка груза в контейнерах реализует мультимодальную схему доставки «от двери до двери» без перегрузки груза в пути следования;
- облегчает и ускоряет производство таможенных пограничных операций;
- контейнерная перевозка является оптимальным вариантом для длинной мультимодальной логистической цепи.

Рынок контейнерных перевозок быстро развивается и набирает популярность, расширяются способы перевозки грузов в контейнерах, тем самым увеличивается номенклатура контейнеропригодных грузов, что позволяет привлечь большее количество клиентов.

Организация прямых контейнерных поездов как метод технической и отправительской маршрутизации позволяет значительно ускорить доставку грузов, стабилизировать связи поставщиков и потребителей, обеспечить более рациональное использование контейнеров, что повышает конкурентоспособность железнодорожного транспорта относительно автомобильного, позволяя в результате привлечь дополнительную прибыль.

Высокая эффективность контейнерной технологии обуславливает растущие темпы спроса и соответствующий рост объемов контейнерных перевозок. Вместе с тем нельзя сказать, что методы реализации контейнерной технологии перевозке на практике в настоящий момент достигли уровня, позволяющего в полной мере раскрыть ее потенциал. Серьезного усовершенствования требуют различные аспекты контейнерной транспортной системы, связанные с железнодорожной логистикой: управление контейнерным парком, организация формирования и продвижения контейнерных поездов и рациональная организация работы контейнерных терминалов.

На Белорусской железной дороге 8 % станций открыты для выполнения грузовых операций с контейнерами, а также существует 6 специализированных предприятий, осуществляющих терминальную обработку грузов. На 18 станциях полигона расположены контейнерные терминалы, из которых 9 имеют техническое оснащение для переработки 40-футовых контейнеров. Учитывая растущую потребность в мультимодальных контейнерных перевозках с участием железнодорожного транспорта, очевидна перспектива расширения сети контейнерных терминалов в Республике Беларусь, а также усиления их технического оснащения.

Существующие технологии терминальной обработки контейнеров зачастую являются унифицированными, недостаточно учитывают условия работы конкретных терминалов, в частности, структуру контейнеропотока по типам интермодальных единиц и наличие различных механизмов для



выполнения грузовых операций. Задача разработки рациональной технологии терминальной обработки должна быть решена превентивно, с учетом этапа активного строительства и развития технического оснащения терминальной системы. При этом необходимыми условиями реализации предлагаемой технологии должны быть ее высокая адаптивность к динамическому изменению объемов перевозок и удовлетворение потребности в перерабатывающей способности контейнерных терминалов.

Одним из основных аспектов задачи совершенствования технологии обработки контейнеров на существующих и планируемых терминалах является необходимость эффективного использования дорогостоящего терминального оборудования. На сегодня существует большой выбор модификаций транспортно-перегрузочных механизмов, имеющих различный набор функций и множество технологических, технических и экономических характеристик. Терминальные транспортно-перегрузочные механизмы имеют различный принцип действия и различную эффективность применения для каждой из основных терминальных операций. Механизмы различаются по грузоподъемности, способу управления, стоимости работы (в единицах времени работы, в расчете на 1 контейнеро-операцию, в расчете на 1 полный цикл переработки контейнера на терминале), стоимости и эксплуатации самого механизма. В условиях их потенциальной параллельной работы на терминале актуальной является проблема выбора не просто наиболее подходящего механизма или типа механизма и их количества, а формирования целых слаженных терминальных транспортно-перегрузочных технических комплексов, реализующих наиболее рациональную технологию терминальной обработки для заданных параметров контейнеропотока. Под рациональной технологией при этом понимается такая, которая позволяет обеспечить оптимальный баланс стоимости и продолжительности переработки при заданном объеме контейнеропотока. Такая оптимизация может быть достигнута за счет устранения излишних, непроизводительных операций и выполнения необходимых операций устройствами, которые технологически и экономически наиболее выгодны. Ключевым условием устранения излишних операций является создание вариантов оптимальной расстановки контейнеров на терминале, с учетом разных условий работы терминала, неравномерного подвоза контейнеров автотранспортом, разных условий хранения контейнеров, колебаний грузопотоков, колебаний подвода поездов.

Необходимым условием адаптации разработанных технологий терминальной обработки контейнеров к реальным условиям является учет особенностей работы с контейнерами различного типа и размера, поскольку в практике работы железнодорожных терминалов важное значение для перерабатывающей способности имеют схемы расстановки на вагонах, существенно различающиеся для контейнеров разных типоразмеров. Традиционно все показатели работы с контейнерами и все расчетные методики ориентированы на двадцатифутовый эквивалент (TEU), хотя на практике работа ведется с разными типами и размерами контейнеров, что может значимо влиять на планируемые и получаемые результаты.

Совершенствование терминальной обработки и максимальная ее автоматизация являются важными аспектами в комплексной задаче создания интеллектуальных систем управления и контроля на транспорте. Автоматизированные контейнерные терминалы должны стать не только полигоном для применения интеллектуальных управляющих систем, но и базой сбора данных для обучения таких систем, анализа эффективности работы, повышения степени адаптивности к динамично меняющимся условиям функционирования.

В социальном аспекте повышение эффективности терминальной обработки позволит решить вопрос с кадровым дефицитом на низовых специальностях (крановщики, водители погрузчиков, приемосдатчики). Минимизация работников на терминале перераспределит рабочие ставки для более квалифицированных специалистов с более высокой заработной платой. Отсутствие работников в рабочем пространстве транспортного терминала позволит улучшить условия труда, снизить процент опасной и напряженной работы, что положительно отразится на психическом и физическом состоянии сотрудников транспортной отрасли.

Результаты разработок в данном направлении перспективно представляются применимыми для любых железных дорог вне зависимости от ширины колеи и являются достаточно универсальными для любых мультимодальных терминалов с участием железнодорожного транспорта.

## РАЦИОНАЛИЗАЦИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТАНЦИЙ С ПУТЯМИ НЕОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ

*Е. Н. ПОТЫЛКИН*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Рост интереса к проблемам взаимодействия железнодорожных станций и путей необщего пользования со стороны экспортеров, импортеров продукции, перевозчиков и других участников перевозочного процесса в настоящее время обусловлен важнейшими явлениями последних десятилетий, которые оказали существенное влияние на условия взаимодействия: развитие конкуренции в сфере регулирования грузовыми вагонами и стремительный рост числа их владельцев привели к переходу от централизованного управления вагонным парком к самостоятельному оперированию подвижным составом частными компаниями-операторами; повышение неравномерности при взаимодействии станций с путями необщего пользования вследствие роста парка собственного подвижного состава, что связано с реформированием железнодорожного транспорта России, Казахстана с целью ликвидации монополии и создания конкурентной среды; в последние десятилетия инфраструктура путей необщего пользования, которая была унаследована от СССР, практически не развивалась. Начиная с 2011 года их развернутая длина на сети Белорусской железной дороги сократилась с 1095,3 до 956,3 км.

Как результат, современный этап развития железнодорожного транспорта характеризуется диспропорцией между спросом и предложением грузовых перевозочных средств, их длительным нахождением на путях общего и необщего пользования, изменением технологии работы мест необщего пользования вследствие необходимости отстоя собственных порожних вагонов и использования путей не в соответствии с их специализацией.

В результате комплексного системного подхода к решению задач взаимодействия станций с примыкающими путями необщего пользования получен метод расчета параметров указанного взаимодействия, который подразумевает осуществление проверок обеспечения интересов и возможностей хозяйствующих субъектов, на основании чего возможно принятие решения об использовании режима взаимодействия либо корректировке исходных данных и ограничений. Это способствует адаптации метода под запросы каждой из сторон и формированию такого набора параметров, который позволяет найти компромиссное решение.

При этом расчет параметров следует производить с применением системы путей общего и необщего пользования, где взаимодействие элементов выполняется через расчетный средний интервал времени  $T$ , который соответствует периоду накопления вагонов на состав подачи. Решение задачи таким способом позволит получить следующие преимущества:

- появляется возможность на основании расчетного периода  $T$  определить число вагонов в составе подачи-уборки и обосновать эффективное использование маневровых локомотивов в системе;
- учитываются современные условия работы железнодорожного транспорта, характеризующиеся ростом числа собственных вагонов в общем потоке, привлечением новых перевозчиков на железнодорожную сеть, что потребует рассмотрения издержек не за сутки, а за одну подачу-уборку;
- исходя из положений теории запасов возможна синхронизация отправления накопленных составов через равный интервал времени, что позволит учесть многономенклатурность приби- ваемых и отправляемых грузов с мест необщего пользования и интенсивность спроса на них.

### 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.

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ МОНИТОРИНГА ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОЛНОСВЯЗНЫХ И ВЕРОЯТНОСТНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

*М. А. РЕБИТВА*

*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Российская Федерация*

Мостовые сооружения играют важную роль в транспортной инфраструктуре как отдельных городов, так и целых регионов, на состояние которых влияют различные погодные явления и устойчивые эффекты. В связи с этим в нормативных документах прописана необходимость оборудования таких технически сложных конструкций системами мониторинга, позволяющими контролировать состояние сооружения и принимать меры по поддержанию надлежащего состояния [1].

Для мониторинга состояния сооружения используются различные аппаратные и программные комплексы. Аппаратная часть включает в себя различные датчики и машины для обработки данных с этих датчиков. В программную часть входят такие составляющие, как инструменты по восстановлению данных, их классификации и простейшему анализу этих данных. В существующих системах мониторинга инженерных конструкций (СМИК) и сооружений зачастую нет инструментов, позволяющих дать анализ состояния мостового сооружения или его отдельной части, всё ограничивается лишь выводом данных и, возможно, графического сопровождения с динамикой изменения нагрузки с датчиков [2].

В данный момент в системах мониторинга могут использоваться такие методы, как оценка задержек по времени, нечёткая модель мониторинга, анализ временных рядов и другие [3, 4]. В зарубежных системах мониторинга можно встретить использование искусственного интеллекта, нейронных сетей, в частности. Если не рассматривать нейронные сети, то можно выделить следующие недостатки используемых методов: они не анализируют данные в общей картине, анализ происходит лишь для восстановления пропусков в данных или для сокращения набора данных. В лучшем случае такие методы могут давать прогноз по поведению на основании прошлого опыта без опоры на текущее состояние системы. В таком случае нужен инструмент, который позволил бы проанализировать данные со всех датчиков, относящихся к той или иной конструкции сооружения. Помимо этого, вышеописанные методы проводят анализ в режиме постобработки и выполняются сторонними организациями, что сильно сужает область использования этих методов [5, 6].

В последние годы всё большую популярность набирает использование искусственного интеллекта, в частности нейронных сетей, для анализа большого объёма данных, поскольку они удобны легкой настройкой и могут быть использованы для любого типа задач. Ещё один важный фактор – простота вычислительных операций, так как нейронные сети строятся на простой математической базе, включающей в большей степени перемножение и суммирование элементов. Это сильно разгружает мощности вычислительных машин и не занимает много времени, что отлично подходит для использования на мостовом сооружении. В качестве основы для создания нейронной сети были выбраны полносвязная и вероятностная нейронные сети, т. к. они уже показывали хорошие результаты в анализе состояния отдельных параметров мостовых сооружений [7].

Объектом исследования была выбрана система мониторинга Русского моста во Владивостоке, описанная в [5, 6]. В упрощённом виде СМИК представляет собой комплекс из множества датчиков, поделённых на группы, которые отвечают за различные части мостового сооружения. В группы объединяются различные виды датчиков, объединённые тем, что они отвечают за состояние отдельной конкретной части мостового сооружения. Сгруппированные датчики в ходе работы становились источниками входных воздействий в отдельных нейронных сетях, а затем эти нейронные сети объединялись в комплекс, выполняющийся одновременно.

Сами нейронные сети имеют 3 слоя: входной, скрытый и выходной. Входной слой имеет размерность  $n$ , где  $n$  – число датчиков, отвечающих за соответствующую часть мостового сооружения. В скрытом слое число нейронов уменьшено на 20–30 %, а в выходном слое и вовсе располагается

1 нейрон, отвечающий за вывод сигнала «Истина / ложь», который дает ответ на вопрос «Часть мостового сооружения находится в аварийном состоянии?». При этом каждый нейрон текущего слоя связан со всеми нейронами последующего слоя.

Изначально все связи имели случайные веса, после чего проводилась процедура тренировки, во время которой составлялась таблица размерностью  $2^n$ , где  $n$  – размерность входного слоя. В этой таблице содержатся все возможные комбинации срабатывания нейронов входного слоя и соответствующая им ожидаемая реакция сети. Процесс тренировки требует подбора значения скорости обучения и числа эпох, при этом скорость обучения не должна быть слишком быстрой или слишком медленной, ведь это приведёт к перетренировке нейронной сети в одном случае и недостаточной натренированности в другом. Число эпох необходимо для достижения достаточно низкого значения среднего квадрата ошибки – показателя натренированности сети. Конечно, данной нейронной сети нужно пройти процедуру дообучения во время дальнейшей эксплуатации, что позволит скорректировать данные, которые основаны не только на тренировочных шаблонах, созданных исходя из теоретической эксплуатации мостового сооружения, но и на реальных данных, отличающихся наличием неучтённых факторов у цифрового двойника, а также включающих человеческий фактор в том или ином проявлении. В идеале интеграция нейронной сети должна проходить постепенно, с ручной корректировкой выходного результата со стороны оператора автоматизированного рабочего места, который будет фиксировать истинность / ложность результата работы нейронной сети и отправлять некорректные образцы работы в банк тренировочных данных.

Итоговый комплекс нейронных сетей выполняет вычисления одного набора данных за 0,12 с, а ошибка составляет от 0,004 до 0,005 в зависимости от размера входного слоя сети. Данная скорость выполнения позволяет сделать вывод о том, что нейронную сеть можно использовать в системах мониторинга в реальном времени в качестве системы помощи принятия решения с дальнейшим улучшением структуры самой сети. Получается система аналитики данных, которая помогает принимать решения с высокой степенью автоматизации, позволяющей снизить нагрузку на оператора автоматизированного рабочего места и, более того, позволяющей самостоятельно вызывать службы спасения при возникновении чрезвычайных ситуаций, повышая безопасность мостового сооружения.

Итоговый набор инструментов в данной СМИК может выглядеть следующим образом: система датчиков, разделённая на подгруппы и отвечающая за конкретные различные части сооружения; система первичной обработки данных, выявляющая пропуски в данных и записывающая данные в свои ячейки на данном временном промежутке; система восстановления пропущенных данных, основанная на предыдущих результатах и результатах работы соседних датчиков; система нормализации данных и приведения их к единому стандарту; нейронная сеть, проводящая анализ данных и самодиагностику в рамках определенного набора данных; система фиксации результата и вывода его оператору; система самодиагностики, сравнивающая результаты работы нейронной сети с более ранними.

#### Список литературы

- 1 ГОСТ 32019–2012. Мониторинг технического состояния уникальных зданий и сооружений. Правила проектирования и установки стационарных систем (станций) мониторинга. – Введ. 2014-01-01. – М. : Стандартиформ, 2014. – 130 с.
- 2 Универсальные системы мониторинга как жизненно важные составляющие высокоимунных транспортных систем / Д. В. Ефанов [и др.] // Транспорт Российской Федерации. – 2020. – № 5. – С. 20–26.
- 3 Cross-Spectrum-Based Synchronization of Structural Health Monitoring Data / K. Dragos [et. al.] In: P. Rizzo, A. Milazzo // European Workshop on Structural Health Monitoring. EWSHM 2022. Lecture Notes in Civil Engineering. – Vol 254. – DOI : org/10.1007/978-3-031-07258-1\_93
- 4 Данилюк, С. Г. Нечеткая модель для интеллектуальной системы мониторинга технического состояния аппаратуры железнодорожной автоматики и телемеханики / С. Г. Данилюк, М. И. Силантьев // Метрология. – 2007. – № 8. – С. 20–26. – EDN MVQIEN.
- 5 Выбор способа фильтрации диагностических данных в системах непрерывного мониторинга объектов транспортной инфраструктуры / Д. В. Ефанов // Транспорт Российской Федерации. – 2020. – № 2. – С. 35–40.
- 6 Технология анализа результатов мониторинга при эксплуатации мостового перехода на остров Русский через пролив Босфор Восточный во Владивостоке / В. Н. Мячин [и др.] // Дороги и мосты. – 2023. – № 1 (49). – С. 177–195.
- 7 Ко, J. M. Structural health monitoring and intelligent vibration control of cable-supported bridges: Research and application / J. M. Ko, Y. Q. Ni // KSCE J Civ Eng 7. – 2003. – P. 701–716.

**ПРИНИМАЯ РЕШЕНИЯ – НАЧИНАЙ С ЗОЛОТОГО СЕЧЕНИЯ***Н. Ф. СЕМЕНЮТА**Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

*Если XVII столетие и начало XVIII – век часов, а XIX век электротехники, то настоящее время есть век связи и управления.*  
Н. Винер

Проблемы управления движением транспорта и обеспечения безопасности перевозки пассажиров и грузов возникли с первых лет появления железных дорог. Этот период строительства и эксплуатации железнодорожного транспорта более или менее достаточно отражен в литературе, а вот проблемы управления и принятия решений, практически отражены мало. Автору статьи как человеку, начавшему свою трудовую работу в тяжелые послевоенные годы Великой Отечественной войны (1950–1952 гг.) в условиях низкой надежности железных дорог и систем сигнализации и электрической связи, и как человеку, увлекающему историей железнодорожного транспорта, всегда были интересны проблемы управленческих решений.

Управленческие решения в области железнодорожного транспорта, применявшейся на протяжении почти 200 лет, как правило, на самом высоком уровне, во многом определили устойчивое развитие экономики и страны в целом [1]. Управленческие проблемы, практика принятия удачных и неудачных решений на государственном уровне за этот исторический период, обобщены в монографии петербургских ученых А. Е. Красковского и В. В. Фортунатова «Принятие управленческих решений на железнодорожном транспорте: история и современность» (2009).

Настоящая статья посвящена одному из методов принятия простых решений на низших уровнях управления и решения простых научных и производственных задач. Простые методы принятия решений – это те, которые не требуют применения развитого математического аппарата. Тем не менее во многих случаях их применения вполне достаточно. Одним из таких методов является принцип золотого сечения. Актуальность такого принципа связана с тем, что в современных условиях всё больше значение приобретает прием решений на нижних уровнях управления производством.

Золотое сечение (золотое число, золотая пропорция, золотое деление) – понятие, которое пришло к нам из далекого прошлого. Возвращение к понятиям и идеям прошлого связано во многом с поисками новых подходов к решению актуальных задач, возникающих перед современным обществом, и искусством, наукой и техникой. Одна из таких задач связана с планетарным кризисом, суть которого состоит в пренебрежении и неисполнении законов гармонии Вселенной, а также необходимости совершенствования форм и методов управления всё усложняющейся жизни общества и государства.

Традиционно выделяют три основных подхода к принятию управленческого решения.

Классическое золотое сечение – результат решения геометрической задачи о делении отрезка на две неравные части так, чтобы отношение большей части к меньшей равнялось величине  $\Phi = 1,618$  или отношение меньшей части к большей –  $1/\Phi = 0,618$  [2]. Определение золотого сечения без ущерба для его смысла можно заменить определением «оптимальное соотношение». И то, и другое является наиболее гармоничным соотношением частей с целым и частей целого между собой.

Золотое сечение владело мыслями и чувствами многих выдающихся мыслителей прошлого и продолжает волновать умы сегодня не только из-за геометрических свойств, но и потому, что оно не отделимо от содержательности и ценности и красоты объектов природы и искусства, науки техники. В то же время оно обнаруживает себя как признак структурного единства мироздания. К нему обращаются специалисты многих наук и искусства: математики, физики, химики, ботаники, медики, архитекторы, живописцы, режиссеры, музыканты и др. Всё это позволяет отнести золотое сечение к фундаментальному свойству природы, всего мироздания [2, 3].

Математические начала гармонии заложены в трудах древнегреческих мыслителей Евклида, Пифагора и других. Непосредственным толчком для разработки проблем гармонии с самых общих позиций послужили конкретные проблемы музыки, строительной механики, измерения массы и геометрических размеров, математической теории чисел и др.

В небольшой книге «Принимая решение – начинай с золотого сечения» приведены краткая история науки управления и простейшие случаи принятия решений на основе золотого сечения. Так-

же представлены примеры проявления золотого сечения и гармонических пропорций в явном и неявном виде в природе, науке и технике, искусстве и обществе, в том числе и на железнодорожном транспорте [2, 3]. Среди последних отметим размеры шпал, рельсов, мостов, структуру железнодорожных сетей, сетей электрической связи и др. [4].

Одной из проблем железнодорожного транспорта является проблема взаимодействия колеса и рельса. На рисунке 1 показан профиль поверхности катания колеса грузовых и пассажирских вагонов. Толщина колеса – 130 мм, гребня – 33 мм. Средняя линия катания обода приходится на линию золотого сечения поверхности катания колеса, так как  $60/37 = 1,621$ .

На современных высокоскоростных магистралях железнодорожного транспорта (200 км/ч) применяется стрелочный перевод Р65М1:11 с крестовиной, которая имеет подвижный сердечник, представляющий собой участок пути длиной  $14,06 + 23,59 = 37,65$  м (между стыками рамного рельса и хвоста крестовины). Из этого следует, что  $37,65/23,58 = 1,597 \approx \Phi$ ,  $37,65/14,06 = 2,678 \approx \Phi^2$ ,  $23,58/14,06 = 1,677 \approx \Phi$ , т. е. соотношения размеров стрелочного перевода с небольшой погрешностью соответствуют золотой пропорции. Размеры зоны горизонтальных возмущений стрелочного перевода также соответствуют золотой пропорции  $4,43/2,77 = 1,599 \approx \Phi$  (рисунок 2).

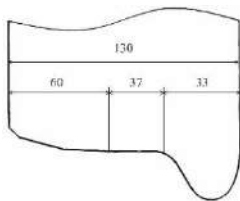


Рисунок 1 – Линия качения колеса

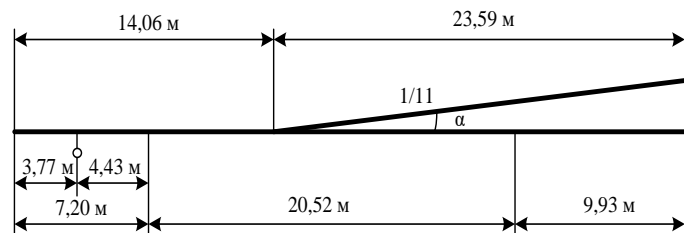


Рисунок 2 – План стрелочного перевода

Таким образом, золотое сечение – основа принятия простейших решений, основа новой парадигмы развития общества, науки и техники.

#### Список литературы

- 1 Красковский, А. Е. Принятие управленческих решений на железнодорожном транспорте: история и современность / А. Е. Красковский, В. В. Фортунатов. – СПб. : Петербургский государственный университет путей сообщения. – 2009, 274 с.
- 2 Семенюта, Н. Ф. Золотое сечение / Н. Ф. Семенюта // Белорусская думка. – 2005. – № 10. – С. 42–48.
- 3 Семенюта, Н. Ф. Золотое сечение – оптимальная пропорция для гармонии общества / Н. Ф. Семенюта // Академия Тринитаризма. – 2012. – Эл № 77-6567, публ.17236.
- 4 Семенюта, Н. Ф. Принимаю решение – начинаю с золотого сечения / Н. Ф. Семенюта. – М. : Горячая линия – Телеком, 2021. – 100 с.

## ОЦЕНКА ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОДЛЕНИЯ СРОКОВ СЛУЖБЫ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ ГОСУДАРСТВЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ «БТЛЦ»

*А. Н. СЛАДКЕВИЧ*

*Государственное предприятие «БТЛЦ», г. Минск*

*Е. А. ФЕДОРОВ, С. Л. ШАТРОВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Парк грузовых вагонов, находящихся в хозяйственном ведении государственного предприятия «БТЛЦ», характеризуется достаточным разнообразием состава по роду, типу, техническому состоянию и остаточным срокам эксплуатации. Часть вагонного парка выработала назначенный срок

службы, установленный заводом-изготовителем. В отношении таких вагонов специализированными организациями проводится техническое диагностирование с целью определения их ремонтпригодности и возможного продления срока службы.

Как правило, вагоны по результатам диагностирования признаются ремонтпригодными, однако затраты на их восстановление значительны вследствие высокого уровня износа. Так, при оценке технического состояния цистерн, находящихся в хозяйственном ведении компании и выработавших назначенный срок службы в 2022 году, установлено, что замене подлежат 100 % колесных пар, 66,7 % надрессорных балок и 66,7 % боковых рам. При этом установленная возможность продления срока службы не превышает 6 лет.

Достижение экономической эффективности использования грузовых вагонов, находящихся в хозяйственном ведении БТЛЦ, в значительной степени зависит от складывающейся конъюнктуры рынка транспортных услуг и изменений условий оперирования вагонным парком в Республике Беларусь и странах-партнерах. Особенности определения расходной и доходной составляющих предопределили необходимость выработки нового методического подхода для принятия обоснованных решений по продлению сроков службы грузовых вагонов, находящихся в ведении компании.

В контексте задачи оценки экономической целесообразности использования таких вагонов в конкретных условиях деятельности целесообразно сравнение инвестиций, связанных с продлением срока службы вагонов, с генерируемым этими вагонами денежным потоком в перспективе. Общепринятым инструментом для этого является оценка срока окупаемости такого инвестиционного проекта.

Учитывая, что вложения финансовых ресурсов в капитальный ремонт подвижного состава носят долгосрочный характер (продление срока службы на период от 2 до 6 лет), эффективность таких вложений целесообразно определять в динамической системе оценки эффективности проекта, т. е. в системе дисконтирования. В качестве норматива дисконтирования применяется ключевая ставка страны, в валюте которой оплачивается работа вагонов. В качестве критерия приемлемости (жизнеспособности) инвестиционного проекта рассматривается положительное значение чистой дисконтированной стоимости ( $NPV > 0$ ) за срок продления службы вагона.

Общие расходы от использования вагонов, находящихся в хозяйственном ведении государственного предприятия «БТЛЦ», устанавливаются исходя из расходов на капитальный и деповские ремонты вагона за допустимый срок продления службы вагонов, а также прочих расходов предприятия (заработная плата, отчисления, материалы, общехозяйственные, общепроизводственные), учитывающих в том числе амортизационные отчисления, расходы на ремонт, расходы на текущий отцепочный ремонт. Для объективной оценки показателей экономической эффективности использования подвижного состава выполнена детализация эксплуатационных и иных расходов, относимых на рассматриваемый вид подвижного состава в структуре вагонного парка предприятия. Общие расходы на капитальный и деповской ремонты вагонов устанавливаются по результатам ранее проведенных идентичных ремонтных программ для однотипного подвижного состава. В качестве дохода по годам реализации проекта принят прогнозируемый суточный доход от использования вагонов.

При оценке доходной составляющей используется коэффициент коммерческого использования подвижного состава, который в совокупности с рассмотренными показателями позволяет дать более объективную оценку полученным в ходе анализа результатам.

Коэффициент коммерческого использования времени подвижного состава характеризует удельный вес времени коммерческого использования подвижного состава в величине планового фонда времени возможного их использования, который представляет собой календарный фонд за исключением среднегодового норматива времени, необходимого на подготовку подвижного состава в рейс и производства всех видов технических обслуживаний и ремонтов:

$$k_{ки} = \frac{T_{ф}}{365 - T_{норм\ обсл}},$$

где  $T_{ф}$  – среднегодовое фактическое время коммерческого использования подвижного состава за отчетный период, сут;  $T_{норм\ обсл}$  – среднегодовой норматив времени, необходимого на подготовку подвижного состава в рейс и производства всех видов технических обслуживаний и ремонтов, сут.

Расчет указанного показателя позволяет более достоверно оценить степень загрузки грузовых вагонов разных типов и технического состояния в коммерческой эксплуатации при расчетах прогнозного экономического эффекта.

Анализ результатов оценки технико-экономической эффективности продления сроков службы вагонов, которые находятся в хозяйственном ведении компании, выполненной согласно разработанной и внедренной в компании методике, показал ряд характерных особенностей (рисунок 1). Так, наименьшие затраты на проведение восстановительных ремонтных работ требуются для специализированных цистерн, а затраты на восстановление платформ и крытых вагонов выше на 18 и 21 % соответственно. Вместе с тем в сложившихся и перспективных условиях оперирования вагонным парком ожидаемая доходность за установленный период продления срока службы для платформ является минимальной, а для цистерн максимальной (на 17 % выше). Такое соотношение доходов и расходов при продлении сроков службы вагонов разного рода может обеспечить возврат от 54 (для платформ) до 75 % инвестиций (для цистерн). Исходя из этого минимальный разрыв между установленным сроком возврата инвестиций и сроком продления службы вагонов наблюдается у цистерн и составляет 2 года, а максимальный оказался характерным для полувагонов (4,5 года).

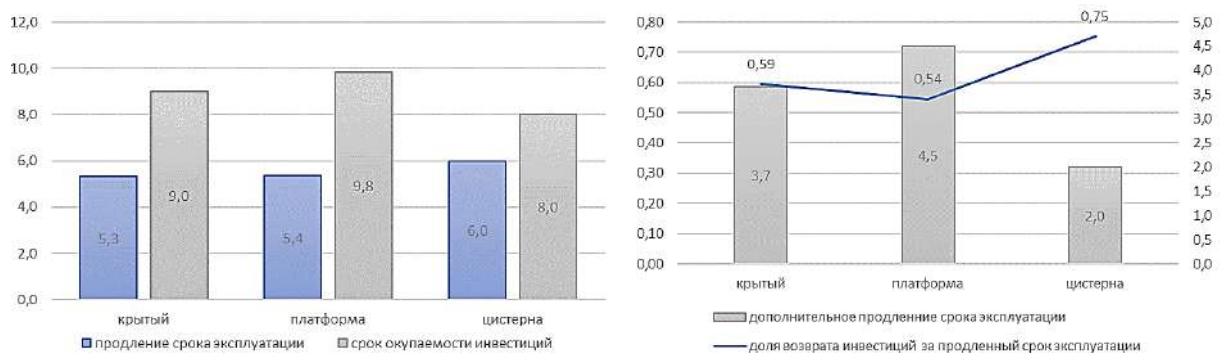


Рисунок 1. – Результаты оценки технико-экономической эффективности продления сроков службы грузовых вагонов, находящихся в хозяйственном ведении государственного предприятия «БТЛЦ»

Разработанный алгоритм расчетов и их интерпретации является основой научно обоснованного подхода к оценке целесообразности продления срока службы грузовых вагонов, обеспечивающего окупаемость и безопасность их эксплуатации. По результатам апробации методики при оценке финансовых показателей эксплуатации более 80 грузовых вагонов с истекшим сроком службы, находящихся в хозяйственном ведении компании, установлено, что при существующем соотношении доходной и расходной составляющих инвестирование средств в продление сроков их службы является неэффективным.

УДК 656

## ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ: ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ

*Т. В. СОКОЛИНСКАЯ*  
*БелИСА, г. Минск, Республика Беларусь*

Республика Беларусь является транзитной страной, что определяет значимость транспортного комплекса для национальной экономики. По оценке Национального статистического комитета Республики Беларусь доля транспортной отрасли в валовом внутреннем продукте в 2021 году составила 5,1 %, а валовая добавленная стоимость – 8 614,2 млн руб. Активно идет процесс модернизации: инвестиции в основной капитал выросли по сравнению с 2020 годом на 60 % и составили 2702 млн руб. В структуре национальной экономики удельный вес занятых в отрасли составил 6,1 % [1].

Транспортные услуги формируют почти 43 % в общем объеме транспортных услуг. Только за 2021 год экспорт транспортных услуг составил 4,4 млрд дол., положительное сальдо внешней торговли транспортными услугами – 1,8 млрд дол. [2].

Однако показатели эффективности деятельности отрасли за последние 5 лет снизились с 10,7 % до 8,3 %. Также снижение отмечено по рентабельности продаж, услуг организаций транспортной



отрасли: с 13,4 до 10,4 %. Инвестиции в цифровизацию дают возможность значительно усилить потенциал и рентабельность активов, более эффективно накапливать и использовать цифровой опыт [1].

Уровень цифрового развития транспортной системы определяет на современном этапе ее конкурентоспособность. Создается интеллектуальная транспортная система управления транспортными средствами (далее – ИТС), или система управления, интеграции транспортных информационных подсистем и оборудования для административного поиска и реализации результатов функционирования транспортно-дорожного комплекса региона. Это интеграционная платформа, или аппаратно-программный комплекс управления организациями, выполняющими автомобильные перевозки пассажиров, который объединяет сервисы диспетчеризации транспортных средств, контроля оплаты проезда, телеметрии, управления датчиками и приборами транспортных средств, сбора и аналитики больших массивов данных, информационные сервисы для пассажиров и др. Без развития инфраструктуры ИТС невозможно развитие «умного» транспорта – беспилотников, дронов. ИТС выступает одним из ключевых элементов цифрового комплекса «Умный город».

Комплексно данная система включает в себя следующие подсистемы: управление передвижением и транспортировкой, работой общественного транспорта, действиями по коммерческой перевозке, управление в чрезвычайных обстоятельствах и системой безопасности. Важнейшими направлениями ИТС, нередко реализуемыми через специальные пользовательские приложения, являются:

- информирование участников дорожного движения;
- метеомониторинг;
- контроль за движением грузового транспорта;
- фотовидеофиксация нарушений правил дорожного движения;
- мониторинг пассажиро- и грузопотоков;
- организация электронной оплаты услуг в транспортной деятельности;
- управление работами по ликвидации чрезвычайных ситуаций и их последствий;
- мониторинг эксплуатационного состояния автомобильных дорог и улиц.

Целью создания ИТС является обеспечение транспортной мобильности населения, максимизация дорожного использования сети, повышение безопасности и эффективности транспортного процесса.

В Республике Беларусь постановлением Совета министров № 280 от 21.04. 2023 определены основные критерии оценки уровня цифровизации управления транспортной системой:

- охват населенных пунктов интеллектуальными транспортными системами;
- доля пассажирских транспортных средств, оснащенных универсальной системой управления транспортными средствами с подключением к системе электронных табло;
- доля пассажирских транспортных средств, оснащенных универсальной системой управления транспортными средствами с подключением к системе электронных табло, в общем количестве транспортных средств, выполняющих автомобильные перевозки в регулярном сообщении;
- доля перевозок пассажиров городским электрическим транспортом;
- доля пассажирских транспортных средств, оборудованных автоматизированной системой оплаты и контроля проезда, в общем количестве транспортных средств, выполняющих автомобильные перевозки пассажиров и перевозки пассажиров электротранспортом;
- доля парковок, оборудованных системой управления дорожным движением и городским парковочным пространством на основе применения средств интеллектуальных транспортных систем, в общем количестве парковок.

Сегодня техническое обеспечение управления транспортным комплексом развивается достаточно быстро и включает множество новых инструментов мониторинга. Система контроля движения грузового транспорта – это специализированные пункты с набором технических средств, которые позволяют измерить габариты транспортного средства и его вес. В данном случае применяются интеллектуальные камеры. Система информирования участников дорожного движения включает в себя дорожные табло цифровой информации, управляемые дорожные знаки, интернет-сервисы с формированием данных о дорожной обстановке.

Технологическое наполнение «умного транспорта» меняется достаточно быстро. С конца февраля 2022 года белорусские IT-компании оказались в двойственной ситуации: с одной стороны,

был ограничен доступ к множеству технологий и компонентов из-за санкций, с другой – уход иностранных компаний сформировал спрос на разработку решений для замены отечественными аналогами. Кроме того, мировой рынок интеллектуальных транспортных систем быстро растет: ожидается, согласно анализу Grand View Research, что его объем к 2024 году составит 40 млрд дол. [4]. В него входят такие высокотехнологичные рынки, как платформы обработки данных, онлайн-платежи, электромобили в дорожно-строительной отрасли, темпы роста которых ожидаются в размере 25 % в год и выше. Рынки литий-ионных аккумуляторов, видеостен, видеосенсоров – покажут быстрый рост (18–23 % в год), средними темпами роста (10–15 % в год) будут характеризоваться рынки беспроводной связи, средств кибербезопасности, лидаров [5].

Основная задача заключается в создании цифровой экосистемы – бесшовной цифровой среды для внутренних и внешних бизнес-процессов, предоставления услуг, работы с пользователями. Как показывает зарубежная практика, использование цифровых экосистем дает возможность минимизировать риски сбоев в работе системы на протяжении всего цикла производства или оказания услуг, эффективного управления клиентским опытом, оптимизации предложения и высокой клиентоориентированности.

Глубокая интеграция различных компаний в рамках экосистемы повышает их устойчивость к неблагоприятным внешним условиям, что является важнейшим условием определенной стабильности в рамках современной турбулентной экономики.

Внедрение и использование цифровых технологий на транспорте способствует уменьшению логистических и временных издержек, повышению привлекательности международных транспортных коридоров на территории страны и, следовательно, реализации ее транзитного потенциала, а также повышению конкурентоспособности транспортного комплекса и страны в целом.

#### Список литературы

- 1 Транспорт в Республике Беларусь 2022 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/publications/izdania/public\\_brochures/index\\_52718/](https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/publications/izdania/public_brochures/index_52718/). – Дата доступа : 10.09.2023.
- 2 Транспорт и логистика [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://president.gov.by/ru/belarus/economics/osnovnye-otrasli/sferauslug/transport-i-logistika>. – Дата доступа : 10.09.2023.
- 3 Определены показатели уровня цифрового развития отраслей экономики и административно-хозяйственных единиц [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://pravo.by/novosti/novosti-pravo-by/2023/april/74034/>. – Дата доступа : 10.09.2023.
- 4 Интеллектуальные транспортные системы [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://xn--80aplem.xn--p1ai/analytics/Intellektualnye-transportnye-sistemy/>. – Дата доступа : 10.09.2023.
- 5 Высокотехнологичные рынки [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://xn--80aplem.xn--p1ai/analytics/Intellektualnye-transportnye-sistemy/>. – Дата доступа : 10.09.2023.

УДК 625, 331, 656

## ПРИМЕНЕНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

*А. В. СУГОРОВСКИЙ, Н. В. БЕССОНОВА*

*Российский университет транспорта, Институт управления и цифровых технологий  
(ИУЦТ РУТ (МИИТ)), г. Москва*

В настоящее время Россия и Беларусь уделяют особое внимание развитию технологий беспилотной авиации.

Одним из ключевых технологических трендов развития и цифровизации железнодорожного транспорта согласно Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года является создание и внедрение робототехники, использование транспортного моделирования, беспилотного транспорта, при этом особое внимание уделяется беспилотным летательным аппаратам (БПЛА) [1–3]. Ставится вопрос о разработке стандартов систем управления дронами. Предлагается использовать эти транспортные средства для доставки грузов.

В конце июня 2023 года утверждена Стратегия развития беспилотной авиации Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2035 года и плана мероприятий по ее реализа-

ции. В документе обозначены приоритетные области развития отрасли беспилотной авиации, такие как сертификация, безопасная эксплуатация беспилотных авиационных средств и услуг, предоставляемых с использованием БПЛА, ставится вопрос обучения сотрудников, развития инфраструктуры и расширения научно-технического потенциала [4].

В стратегии научно-технологического развития холдинга «РЖД» на период до 2025 года и на перспективу до 2030 года (Белая книга) делается акцент на использовании беспилотных летательных аппаратов в рамках контроля за техническим состоянием и нормальным функционированием объектов железнодорожной инфраструктуры [5].

В рамках группы инновационных проектов паспорта Комплексной программы инновационного развития холдинга «РЖД» на период до 2025, утверждённой 6 сентября 2023 года, планируется использование БПЛА для мониторинга состояния земляного полотна, водопропускных сооружений, направляющий дамб и селепропусков. При этом уделяется внимание созданию программного обеспечения для обработки поступающих данных, развитию систем видеонаблюдения с использованием искусственного интеллекта и компьютерного зрения [6].

На железных дорогах России дроны имеют достаточно широкий спектр применения, в том числе для видеосъёмки при проведении аварийно-восстановительных работ, для обследования труднодоступных зон, скально-обвальных и лавиноопасных участков, при этом контролируется высота снежного покрова, состояние откосов насыпи, производится диагностирование водоразлива, в том числе проводится мониторинг опор и пролётных строений железнодорожных мостов, труб и других искусственных сооружений, осуществляется подготовка к пропуску паводковых вод, контролируется уровень воды в реках, при помощи беспилотников учитываются запасы добытых природных ресурсов при инвентаризации и складировании материалов. В области ликвидации последствий транспортных происшествий БПЛА применяются для мониторинга и разведки обстановки, повышения ситуационной осведомленности. На этапе ведения аварийно-восстановительных работ информация с камеры дрона передается в Ситуационный центр мониторинга и управления чрезвычайными ситуациями ОАО «РЖД». Это позволяет увеличить точность прогнозирования сроков ликвидации последствий транспортных происшествий и сократить время до открытия движения на аварийном участке.

На стремительно развивающемся Восточном полигоне при увеличении мощностей для роста провозной способности БАМа и Транссиба используются беспилотные авиационные системы (БАС) при строительстве и контроле за соблюдением проектов. При помощи БАС проводится съёмка объектов и составляются ортофотоплан и трёхмерная модель строительства, результаты сопоставляются с информационной моделью объектов капитального строительства, что помогает выявлять возникающие отклонения и оценить качество выполняемых работ [7]. На Восточно-Сибирской железной дороге применение БАС жизненно необходимы для проведения контроля состояния железнодорожной инфраструктуры. С помощью беспилотных платформ можно получать панорамные фотографии и разрабатывать 3D-модели рассматриваемых объектов.

В Беларуси беспилотные летательные аппараты начали использовать для контроля железнодорожных поездов, также дроны предлагается использовать для натурной сверки составов и доставки документов, предупреждений и разрешений на отправление поездов [8].

Перспективы использования дронов на железнодорожном транспорте самые разнообразные. Например, существует возможность использования дронов в профессии приемосдатчика груза и багажа, а именно помощь в коммерческом осмотре вагонов. В целях экономии времени на операции по коммерческому осмотру вагонов предложено использовать дрон, который с использованием информационных технологий помогает осматривать подвижной состав сверху. Использование дронов позволит сократить время осмотра и будет способствовать повышению уровня безопасности труда.

Другой перспективой может являться использование БПЛА для контроля контактной сети, мониторинга целостности рельсо-шпальной решетки и земляного полотна. Технологии позволяют оперативно определять повреждения контактной сети и целостность земляного полотна, позволяя работникам своевременно реагировать на неполадки.

Беспилотные летательные аппараты позволяют производить качественную фото- и видео-съемку сооружений, объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта; проводить быстрый осмотр труднодоступных зон, в том числе и представляющих опасность для людей.

С помощью БПЛА работники смогут осматривать значительные объемы земляного полотна на больших расстояниях. Повысится качество и скорость обследования. Значительно ускорится процесс обнаружения недостатков в работе объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта.

На современные БПЛА можно будет установить дополнительно видеокамеры различного типа, тепловизоры и лидары. Это будет способствовать ещё более качественной диагностике и мониторингу устройств инфраструктуры.

Кроме того, использование таких систем позволит вывести работников железнодорожного транспорта из «опасной зоны» при выполнении ремонтных и строительных работ, обследовании лавиноопасных участков, проведении осмотра, а также минимизировать риски в области охраны труда.

Использование дронов приведёт к снижению трудозатрат в производственных процессах, сократит потери на перемещение сотрудников и ускорит обследование инфраструктуры.

#### Список литературы

1 Об утверждении Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 г. : распоряжение Правительства РФ от 27 ноября 2021 года № 3363-р.

2 **Sugorovsky, A. V.** Determination of the Simulation Method of Technical Equipment and Technological Support for non-public tracks / A. V. Sugorovsky // International Scientific Siberian Transport Forum TransSiberia – 2021, Novosibirsk. – Vol. 402-1. – Switzerland : Springer Nature Switzerland AG, 2022. – P. 692–700. – DOI : 10.1007/978-3-030-96380-4\_75. – EDN GUMPNN.

3 Опыт применения в прикладных разработках и пути развития системы имитационного моделирования железнодорожных узлов и направлений / А. Ф. Бородин [и др.] // Бюллетень ученого совета АО «ИЭРТ». – 2023. – № 8–1. – С. 14–34. – EDN ONCZOS.

4 Об утверждении Стратегии развития беспилотной авиации Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2035 года и плана мероприятий по ее реализации : распоряжение Правительства РФ от 21.06.2023 N 1630-р.

5 Стратегия научно-технологического развития холдинга «РЖД» на период до 2025 года и на перспективу до 2030 года (Белая книга) : распоряжение ОАО «РЖД» № 769/р от 17.04.2018.

6 Паспорт комплексной программы инновационного развития холдинга «РЖД» на период до 2025 года : утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 06.09. 2023 г. № 2274/ р.

7 Стройка под крылом [Электронный ресурс] // Гудок. – Режим доступа : <https://www.gudok.ru/newspaper/?ID=1629320&archive=2023.03.14>. – Дата доступа : 10.09.2023.

8 Использование беспилотных летательных аппаратов для натурной сверки составов и доставки документов, предупреждений и разрешений на отправление поездов [Электронный ресурс] / Белорусская железная дорога. – Режим доступа : [https://minsk.rw.by/press\\_center/molodezhnaja\\_politika/2022/01/ispolzovanie-bespilotnykh-letatelnykh-apparatov-dlya-naturalnoy-sverki-sostavov-i-dostavki-dokumentov-/?ysclid=lnnlir0bn2518031420](https://minsk.rw.by/press_center/molodezhnaja_politika/2022/01/ispolzovanie-bespilotnykh-letatelnykh-apparatov-dlya-naturalnoy-sverki-sostavov-i-dostavki-dokumentov-/?ysclid=lnnlir0bn2518031420). – Дата доступа : 10.09.2023).

УДК 355.691.21

## **ЭФФЕКТИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ РАБОТЫ ПУНКТОВ ПОГРУЗКИ-ВЫГРУЗКИ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТАНЦИЯХ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ ВОИНСКИХ ПЕРЕВОЗОК**

*С. Н. ТИМАШКОВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Передвижение войск – организованное перемещение их маршем, перевозка с использованием различных видов транспорта (автомобильного, железнодорожного, морского, речного, воздушного) или перемещение комбинированным способом в целях выхода к установленному времени в назначенный район или на указанный рубеж в полной готовности к выполнению боевой задачи. Передвижение, как свидетельствует опыт войн, всегда занимало значительное место в подготовке боя. Поэтому выдающиеся полководцы прошлого считали искусство передвижения одним из факторов, обуславливающих достижение победы. В современных условиях, когда действиям войск присущи исключительная маневренность, динамичность, пространственный размах, значение передвижения еще более возросло. Поэтому вопросы транспортного обеспечения требуют особого внимания и являются актуальными в современной мировой военно-политической обстановке.

В настоящее время на территории Республики Беларусь, а также Союзного государства, железнодорожный транспорт остается самым мощным видом сухопутного транспорта, используемым для обеспечения воинских перевозок в интересах Вооруженных Сил и других воинских формирований.

Выполнение воинских перевозок в установленные сроки является главной задачей должностных лиц, ответственных за их организацию. Поэтому вопросы, связанные с сокращением времени нахождения в движении воинских эшелонов и воинских транспортов от начала погрузки на станции отправления до полной выгрузки на станции назначения являются основным звеном в общей системе перемещения войск и обеспечения их боевой готовности.

Ограничивающим элементом в цепочке перевозки вооружения, военной и специальной техники железнодорожным транспортом остается их погрузка (выгрузка) на железнодорожный подвижной состав на железнодорожных путях общего и необщего пользования. Процесс погрузки, как правило, является максимально трудоемким и требует больших временных затрат.

Для погрузки и выгрузки войск на железнодорожных станциях используются как постоянные или временно устанавливаемые воинские погрузочно-выгрузочные места, так и погрузочно-выгрузочные места, предназначенные для общего пользования. Количество воинских эшелонов (воинских транспортов), которое может быть погружено (выгружено) на железнодорожной станции в течение суток, называется погрузочно-выгрузочной способностью станции. Погрузочно-выгрузочная способность станции определяется как сумма погрузочно-выгрузочной способности грузовых мест на станции.

Расчет погрузочно-выгрузочной способности грузового места на железнодорожной станции для погрузки (выгрузки) воинских грузов определяется по формуле

$$E_m = \frac{T_n K}{a(t_1 + t_5) + t_2 + bt_3 + t_4}, \quad (1)$$

где  $T_n$  – период времени погрузки (выгрузки);  $K$  – коэффициент неполного использования места из-за различия норм на погрузку (выгрузку) и неравномерность прибытия (отправления) поездов, принимается 0,75–0,80;  $a$  – число подач в составе одного поезда;  $b$  – коэффициент, учитывающий увеличение времени на погрузку (выгрузку) из-за подачи по частям (при  $a = 1$   $b = 1$ , при  $a = 2$   $b = 1,2$ , при  $a = 3$   $b = 1,3$ );  $t_1$  – время на подачу состава на путь погрузки (выгрузки), мин;  $t_2$  – интервал между подачей подвижного состава и началом погрузки (выгрузки), мин;  $t_3$  – время на погрузку (выгрузку), мин;  $t_4$  – интервал между окончанием погрузки (выгрузки) и уборкой (отправлением) состава, мин;  $t_5$  – время на уборку (отправление) состава после погрузки (выгрузки), мин.

По классической методике перерабатывающая способность грузового фронта (в вагонах в сутки) на железнодорожном транспорте определяется по формуле

$$N_\phi = \frac{TN}{(t_{пв} + t_m)z}, \quad (2)$$

где  $T$  – продолжительность работы средств механизации на грузовом фронте в течение суток с учетом всех необходимых технологических перерывов для обеспечения его эксплуатации, ч;  $N$  – число вагонов, подаваемых в течение суток;  $t_{пв}$  – среднее время простоя вагонов одной подачи под грузовыми операциями при рациональном использовании имеющихся средств механизации, ч;  $t_m$  – общая продолжительность маневров с одной подачей, ч;  $z$  – число подач в сутки.

В силу различий технологий работы по погрузке имущества воинских эшелонов и транспорта относительно грузов гражданского назначения, а также не однозначных требований руководящих документов по организации размещения и закрепления грузов для нужд указанных категорий субъектов пользования железнодорожным транспортом, в методиках расчета погрузочно-выгрузочной способности места (при воинских перевозках) и перерабатывающей способности грузового фронта (при гражданских перевозках) существуют расхождения, требующие комплексного анализа и систематизации.

Этот фактор может повлечь за собой применение вариантов неточного расчета погрузочно-выгрузочной способности железнодорожных станций при планировании воинских перевозок, а следовательно, допустить срыв выполнения поставленной боевой задачи подразделениями Вооруженных Сил и других воинских формирований по передислокации в назначенные районы. Помимо этого, созданная обстановка повлечет за собой необходимость изменения плана погрузки воинских подразделений, увеличит время для разработки и принятия решения по задействованию новых

станций погрузки (выгрузки) войск или устройства на существующих станциях дополнительных погрузочно-выгрузочных временных устройств.

Описанная проблематика расчета погрузочно-выгрузочной способности станций в современной военно-политической обстановке требует немедленного изучения и принятия решения по ее систематизации и унификации для всех железнодорожных станций. Это приведет к точному расчету погрузочно-выгрузочной способности каждой станции железнодорожной сети, систематизации методов повышения погрузочно-выгрузочной способности станций, методов восстановления работоспособности погрузочно-выгрузочных мест (грузовых пунктов) железнодорожных станций при выходе из строя объектов путевого развития и технического оснащения, а следовательно, обеспечит боевую готовность войск, в частности, и безопасность государства в целом.

#### Список литературы

1 Устав воинских железнодорожных перевозок : постановление Совета Министров Респ. Беларусь № 1200 от 03.08.2000 г. – Минск, 2000. – 15 с.

2 Об утверждении Инструкции о порядке размещения и закрепления вооружения и военной техники на железнодорожном подвижном составе для перевозки в составе воинских эшелонов и транспортов : приказ Министра обороны Респ. Беларусь от 14.06.2004 г. № 20.

3 Об утверждении Инструкции о порядке организации воинских железнодорожных перевозок : приказ Министра обороны Респ. Беларусь от 25.09.2015 г. № 1224.

УДК 656.21.08

## РИСКИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ НАРУШЕНИЙ БЕЗОПАСНОСТИ В ГОРОЧНЫХ ГОРЛОВИНАХ СТАНЦИЙ

*Е. А. ФИЛАТОВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

На сортировочных горках периодически фиксируются случаи нарушения безопасности роспуска, связанные с особенностями конструкции подвижного состава и путевого развития. Транспортные происшествия не всегда являются следствием неисправностей, т. к. требования нормативно-технической и конструкторской документации могут выполняться [1]. Такие случаи фиксируются при взаимодействии автосцепок вагонов в кривых. Это объясняется снижением резерва технической совместимости подвижного состава и транспортной инфраструктуры железнодорожных станций на современном этапе. Основные параметры автосцепных устройств были приняты еще при разработке и внедрении автосцепки СА-3 в 1935–1957 годах (проектирование началось в 1929 году). Несмотря на модернизацию элементов ударно-тяговых механизмов, заложенные в то время резервы ширины захвата для подвижного состава увеличенных размеров уже исчерпаны [2, 3].

Наибольшее влияние на параметры взаимодействия оказывает радиус и тип кривых (*s*-образные или круговые). Выполненные исследования горловин станций показали недостаточность величин радиусов кривых для обеспечения эффективности автоматического сцепления и движения вагонов в сцепе [2, 3]. Кроме того, эволюция схем стрелочных горловин вследствие увеличения количества путей привела к увеличению количества кривых в 2–4 раза, широкому применению минимальных радиусов, увеличению количества *s*-образных кривых в 5–13 раз (с учетом стрелочных переводов).

Рассматривая работу горок, следует отметить, что определяющие исходные данные для проектирования (параметры отцепов и климатические условия) по своей природе обладают высокой неопределенностью и в процессе эксплуатации могут изменяться. Кроме того, традиционно применяемая на горках технология предполагает дискретный режим управления скатывающимися с сортировочной горки отцепами. Начальная скорость отцепа задается горочным локомотивом и в дальнейшем может корректироваться только на тормозных позициях. При отсутствии автоматизации возможны ошибки регулирования степени торможения (особенно на башмачных тормозных позициях) из-за сложности ее точной оценки в конкретных эксплуатационных условиях с учетом ходовых характеристик отцепа и климатических условий в данный момент времени. В результате вагон может остановиться на спускной части горки или в начале сортировочных путей.

Возникающие вследствие описанных вероятностных процессов риски требуют выполнения соответствующего анализа [1], который обеспечит базу для их оценивания и снижение до допустимого

уровня. В перспективе это позволит снизить их вероятность и увеличить жизненный цикл объектов инфраструктуры и подвижного состава железных дорог.

Выполненные ранее исследования позволяют выделить следующие элементы риска при скатывании вагона с горки: большие размеры вагона, наличие *s*-образных кривых, наличие усугубляющих роспуск энергетических факторов, ошибки дежурного по горке и работников, выполняющих торможение вагонов. Одним из важнейших этапов анализа риска является определение частоты событий за единицу времени, определяющих исследуемый риск. Статистически установлено, что вероятность появления вагонов увеличенных размеров (ВУР) может достигать 10 %, а количество *s*-образных кривых достигает в среднем 40 %. Среди неблагоприятных энергетических факторов выделяется влияние особых климатических условий (сильный встречный ветер, снегопад), неисправность подшипников и тормозного оборудования, степень загрузки вагона, наличие неблагоприятного профиля на спускной части и сортировочных путях (оценивается на уровне 1 %). Кроме того, существует вероятность ошибок работников сортировочной горки (дежурного по горке – ДСПГ, оператора ДСПГО или регулировщика скорости движения вагонов – РСДРВ). Так как в условиях БЧ на большинстве горок применяется торможение башмаками, то средние вероятности ошибок при регулировании режима роспуска и торможения отцепов могут достигать 10 %.

В исследовании использован метод анализа дерева событий (ЕТА), который позволяет выявить последовательность событий, приводящих к определенным последствиям (исходам), и рассчитать вероятность наступления каждого исхода (рисунок 1) [1, 4]. Рассмотрены два типа исхода ненормативного взаимодействия автосцепок: повреждение (сход) вагона и отсутствие происшествия.

Вагон скатывается с горки	Вагон оказывается массового типа	В горочной горловине отсутствуют <i>s</i> -образные кривые	Отсутствуют усугубляющие роспуск энергетические факторы	ДСПГ исключает взаимодействие вагонов	Ответственный работник безошибочно выполняет торможение	Повреждение автосцепки (сход) вагона	Вероятность исхода
Интенсивность опасности ненормативного взаимодействия автосцепок	нет 0,1 (ВУР)	нет 0,4	нет 0,01	нет 0,001	нет 0,9	происходит	0,0000036 λ
				да 0,999	да 0,1	не происходит	0,00000004 λ
				нет 0,001	нет 0,9	происходит	0,0003996 λ
				да 0,999	да 0,1	не происходит	0,00003564 λ
				нет 0,001	нет 0,9	происходит	0,00000396 λ
				да 0,999	да 0,1	не происходит	0,0395604 λ
				нет 0,001	нет 0,9	происходит	0,00000054 λ
				да 0,999	да 0,1	не происходит	0,00000006 λ
				нет 0,001	нет 0,9	происходит	0,0005994 λ
				да 0,999	да 0,1	не происходит	0,00005346 λ
	да 0,9 (ВМТ)	да 0,6	да 0,99	нет 0,001	нет 0,9	происходит	0,00000594 λ
				да 0,999	да 0,1	не происходит	0,0593406 λ
				нет 0,001	нет 0,9	происходит	0,000162 λ
				да 0,999	да 0,1	не происходит	0,000018 λ
				нет 0,01	нет 0,9	происходит	0,00342 λ
				да 0,95	да 0,1	не происходит	0,0032076 λ
				нет 0,01	нет 0,9	происходит	0,0003564 λ
				да 0,99	да 0,1	не происходит	0,352836 λ
				нет 0,05	нет 0,9	происходит	0,000243 λ
				да 0,99	да 0,1	не происходит	0,000027 λ
да 0,6	да 0,99	да 0,99	нет 0,01	нет 0,1	происходит	0,000513 λ	
			да 0,95	да 0,1	не происходит	0,0005346 λ	
			нет 0,01	нет 0,1	происходит	0,0048114 λ	
			да 0,99	да 0,9	не происходит	0,529254 λ	
Результат						Повреждение или сход	0,0042372 λ
						Отсутствие происшествий	0,9957628 λ

Рисунок 1 – Дерево событий для оценки риска ненормативного взаимодействия автосцепок

Как видно из рисунка 1, общая вероятность повреждения вагона при несоблюдении условий взаимодействия имеет достаточно низкий уровень и при неблагоприятных условиях может достигать 0,4 %. Однако с учетом высокой степени интенсивности работы сортировочных горок λ событие может относиться к частым [1]. Показанная модель оценки риска требует дальнейшей апробации на реальных сортировочных горках Белорусской железной дороги. Это позволит выполнить анализ и

обеспечить поддержание допустимого уровня риска при эксплуатации объектов инфраструктуры и подвижного состава, а также для оценки уровня тяжести последствий транспортных происшествий при маневровой работе.

Развитие данного направления исследования рисков способствует принятию верных управленческих решений, учитывающих неопределенность условий работы железных дорог, возможность наступления определенных событий или обстоятельств в будущем, а также их влияние на достижение функциональной безопасности объектов инфраструктуры и подвижного состава.

#### Список литературы

1 ГОСТ Р 54505-2011. Безопасность функциональная. Управление рисками на железнодорожном транспорте. – Введ. 2011-11-23. – М. : Стандартинформ, 2012. – 34 с.

2 Филатов, Е. А. Обоснование технической совместимости горловин железнодорожных станций и подвижного состава / Е. А. Филатов // Транспортные системы и технологии перевозок : сб. науч. тр. Днепров. нац. ун-та ж.-д. трансп. им. акад. В. Лазаряна. – Днепр : ДНУЖТ, 2020. – Вып. 19. – С. 25–36.

3 Филатов, Е. А. Безопасность взаимодействия путевой инфраструктуры железнодорожных станций и подвижного состава // Интеллектуальные транспортные системы : материалы II Междунар. науч.-практ. конф. (25 мая 2023 г.). – М. : Перо, 2023. – С. 644–654.

4 ГОСТ Р МЭК 62502-2014. Менеджмент риска. Анализ дерева событий. – Введ. 2014-10-24. – М. : Стандартинформ, 2015. – 30 с.

## RESEARCH ON TRAIN MARSHALING AND STOPPING OPTIMIZATION OF INTERCITY RAILWAY CONSIDERING PASSENGER TRAVEL COST AND TRAIN OPERATING COST

HE HONG

Guangzhou Railway Polytechnic, China,

Belarusian State Transport University, Republic of Belarus

### Optimize the operation plan of intercity railway trains considering marshaling and stopping schemes

The travel distance of intercity railway passenger flow is mostly between 30–100 km, and the intercity railway passenger flow is highly cyclical, which is mainly manifested in the time distribution of weekly and daily cycles. The cycle of natural days is reflected in the peak passenger flow from 7:00 to 9:00 in the morning and 17:00–19:00 in the evening. The weekly basis is reflected in the peak passenger flow from Friday to Monday of the week, especially the Friday night peak and Monday morning peak, while the peak passenger flow on Saturday and Sunday mainly comes from travel, family visits, etc. The passenger flow characteristics of intercity railway integrate the passenger flow characteristics of traditional railway and urban rail transit. In the early stage of the opening of intercity railway lines, due to the passenger flow in the cultivation period and the low passenger flow, it was difficult to match the existing single-group, single-stop train operation scheme with the current passenger flow, resulting in low passenger load factor and waste of train capacity. The operation of large-interval trains will increase the waiting time of passengers, resulting in increased travel costs for passengers. Based on this, starting from the train operating cost and passenger travel cost, this paper takes the train operation scheme in a certain direction in the early stage of intercity railway opening as the research object, and optimizes the train operation scheme from the aspects of train formation and stop scheme, as shown in Figure 1.

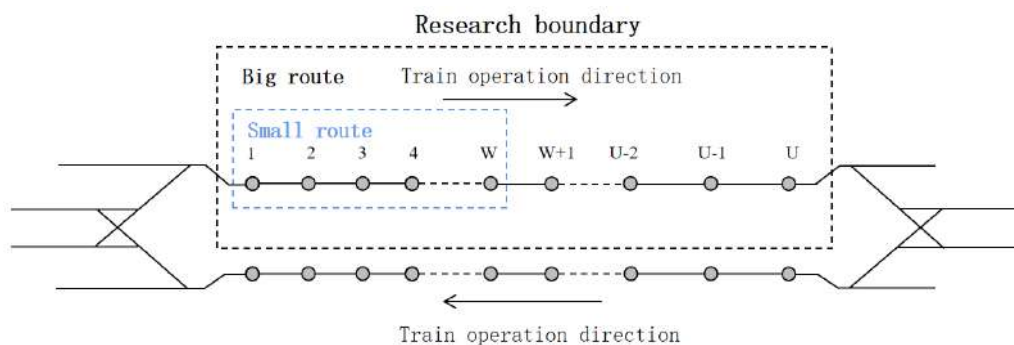


Figure 1



Define the model parameters as follows.

1 Collection variables.

Define station collection  $U = \{u|1,2 \dots, U\} = W + B$ , while  $W = \{w|1,2 \dots, W\}$  refers to stations which small route pass through,  $B = \{b|1,2 \dots, B\}$  refers to stations form station collection  $U$  which except the station collection  $W$ .

Define train marshalling type collection  $K = \{k|1,2, \dots, K\}$ , train collection  $R = \{r|1,2, \dots, R\}$  refers to the number of the train in the operating scheme, while  $R$  refers to the sum of trains

2 Decision variables.

$f_k$  refers to the number of the trains in type  $k$ ;

$a_{k,u}^r$  indicates whether train  $r$  with formation type  $k$  stops at station  $u$ , which is 0,1 variable.

3 Constant parameter:

$g_k$  refers to the number of vehicles of the train in type  $k$ ;

$C_l$  refers to the cost of per kilometer of per vehicle operation;

$C_s$  refers to the cost of per time of per vehicle stopping;

$C_p$  refers to the average time value of passengers;

$L$  refers to the total mileage of the intercity railway line,  $L_1$  refers to the total mileage of small route,  $L_2$ ; refers to  $L$  minus  $L_1$ .

$C$  refers to vehicle capacity.

In order to facilitate the model establishment of the research problem, this paper makes the following assumptions.

1 Assuming that the studied intercity railway line is straight and the train runs separately up and down, this paper only optimizes the direction of the line with a large passenger flow, and does not consider the problem of train continuation.

2 This article does not consider cross-line passenger flow, only local passenger flow.

3 Suppose a passenger chooses to take a train that stops at both the beginning and end of their trip, they do not transfer.

4 The arrival pattern of passengers is known, and the principle of first-come-first-served service is obeyed.

5 Suppose the train does not cross the line.

6 Suppose the operational organization model operates on large and small route.

### Optimization model of large and small marshalling train operation scheme in stop mode

Based on the characteristics of passenger flow in the initial stage of intercity railway, this paper constructs an optimization model for large and small marshalling trains in multi-stop mode from the perspective of optimizing enterprise operating costs and passenger travel costs, aiming at minimizing train operating costs and passenger travel costs, and comprehensively considering the constraints such as the number of trains, train full load rate, OD service frequency, and number of stops

1 Objective function of enterprise operating cost

From the perspective of train operation, train operating costs mainly include train operating costs and train stop costs, of which operating costs include the train's electricity and other energy consumption costs, line usage costs, and train operating costs are related to the kilometers traveled by the vehicle and the operating costs per kilometer of the vehicle; The cost of train stops refers to the cost incurred by the train in the process of stopping at the station, which is related to the number of train stops and the cost of each stop, etc., and the objective function of enterprise operating costs is as follows:

$$\min Z_1 = \sum_{r=1}^{f_1} g_1 (L_1 + \varepsilon_r \cdot L_2) C_l + \sum_{k=1}^{K-1} \sum_{r=f_k}^{f_k+f_{k+1}} g_{k+1} (L_1 + \varepsilon_r L_2) C_l + \sum_{r=1}^{f_1} \left[ g_1 \left( \sum_{u=1}^W a_{1,u}^r + \varepsilon_r \sum_{u=W+1}^U a_{1,u}^r \right) C_s \right] + \sum_{k=1}^{K-1} \sum_{r=f_k}^{f_k+f_{k+1}} \left[ g_{k+1} \left( \sum_{u=1}^W a_{k,u}^r + \varepsilon_r \sum_{u=W+1}^U a_{k,u}^r \right) C_s \right] \quad (1)$$

In formula 1, variable  $\varepsilon_r$  is a 0,1 variable which represent the train  $r$  runs in large route or small route, when its value equal to 1, then it refers to the train  $r$  runs in large route, otherwise it runs in small route.

Variable  $a_{k,u}^r$  is a 0,1 variable which represent the train  $r$  stops at station  $u$  or not, when its value equal to 1, then it refers to the train  $r$  stops at station  $u$ , otherwise it does not stop at station  $u$ .

## 2 Objective function of passenger travel cost.

The cost of passenger travel is related to the number of passengers, the average time value of passengers, and the time of travel, of which the boarding time includes the time in and out of the station, waiting time, and the time on the train, considering that different groups have no effect on the passengers entry and exit and on-board time, and different stopping schemes have little impact on the passengers' time on the train, therefore, this paper only considers the waiting time, which is half of the travel interval. The average time value of passengers is taken from the average hourly wage of locals, and the objective function of the minimum passenger travel cost is constructed as follows:

$$\min Z_2 = \sum_{i=1}^{U-1} \sum_{j=i+1}^U q_{i,j} C_p \frac{1}{2} \frac{60}{\sum_{k=1}^K f_k}. \quad (2)$$

In formula 2, variable  $q_{i,j}$  refers to the passenger flow from station  $i$  to station  $j$ .

The constraints of the model mainly include the number of running trains, train full load rate, OD service frequency, stop constraint, integer value constraint of variable and 0,1 variable constraint.

### 1 Constrains of the number of running trains.

Considering the operating costs of the enterprise and meeting the number of trains of large and small formations during peak hours, set upper and lower limits on the number of trains in any one period:

$$\sum_{k=1}^k f_k \leq f_{\max}, f_k \geq f_{\min}. \quad (3)$$

In formula 3,  $f_{\max}$  refers to the maximum running trains of the operation period,  $f_{\min}$  refers to the minimum trains of all the train marshaling type.

### 2 Constrains of train full load rate.

According to the OD passenger flow demand, the cross-section passenger flow is obtained, and then the cross-section full load rate is obtained. Considering the train capacity, it is necessary to constrain the upper limit of the section full load rate and the lower limit of the average section full load rate:

$$\eta_d = \frac{\sum_{i=1}^d \sum_{j=d+1}^U q_{i,j}}{\sum_{k=1}^K f_k g_k C} \leq \eta_{\max}, \frac{\sum_{d=1}^U \eta_d}{N-1} \geq \eta_{\min}. \quad (4)$$

In formula 4,  $\eta_d$  refers to the cross-section full load rate of the section  $d$ ;  $C$ : Refers to the train capacity.

### 3 Constraints of OD service frequency.

In order to meet the demand of passenger travel, considering the change of train stopping plan will change the passenger waiting time of different station, set the constrains of OD service frequency, the serving trains of every OD can not smaller than the minimum:

$$\sum_{r=1}^{f_1} a_{1,i}^r a_{1,j}^r + \sum_{k=1}^{K-1} \sum_{r=f_k}^{f_k+f_{k+1}} a_{k,i}^r a_{k,j}^r \geq \frac{q_{i,j}}{\min(q^i, q^j)}. \quad (5)$$

In formula 5  $q^i$  refers to the passenger flow that station  $i$  absorbs;  $q^j$  refers to the passenger flow that station  $j$  absorbs.

### 4 Constrains of train stopping.

The train operation route is divided into two types: large route and small route, and the stop mode is divided into three types: stops at large station, stops at every station and stops at optional station. According to the stopping needs of different stations on different route, the specific stopping constraints of trains are as follows: small route trains can choose three types of stops: stops at every station, stops at the terminal station, and stops 1 station in the middle; large route trains can choose three options: stops at every station, stops at large station and choose 2 middle station stops. The specific train stop constraints are shown in Table 1.

Table 1

Station number		1	2	3	...	W	W+1	...	U
Small route train	Stop at terminal station	1	0	0	0	1	0	0	0
	Stop at terminal station and 1 middle station	1	1			1	0	0	0
	Stop at every station	1	1	1	1	1	0	0	0
Large route train	Stop at large station	1	0	0	0	1	0	0	1
	Stop at terminal station and 2 middle station	1	1			1	1		1
	Stop at every station	1	1	1	1	1	1	1	1

5 Integer constraints:

$$f_k \in Z^+, g_k \in Z^+. \quad (6)$$

### Conclusion

Starting from the problem that the passenger flow of intercity railway is small in the early stage of operation but still needs to ensure a high service level, and the contradiction between passenger travel cost and enterprise operating cost, a multi-objective optimization model is established to obtain the optimization conclusion of the train operation scheme that balances passenger service level and operating cost. Through case analysis, maintaining the average logarithm of 8 marshaling trains and 4 marshaling trains has a significant optimization effect on the reduction of passenger travel costs. In addition to 8 marshaling trains, a small number of 4 marshaling trains is the best choice to balance the cost of passenger travel and the operating cost of enterprises.

УДК 338.47

## ИНДУСТРИЯ 4.0 И ПЕРЕВОЗКА ОТХОДОВ

*М. П. ЦВИЛЬ*

*Белорусский государственный экономический университет, г. Минск*

Увеличение объема образующихся твердых коммунальных отходов во всём мире (ежегодно около 2,01 млрд тонн с увеличением до 3,40 млрд тонн к 2050) и усугубление проблемы загрязнения окружающей среды, свидетельствует, помимо прочего, о частичной неэффективности сложившейся системы по обращению с отходами и призывает к поиску новых стратегий для улучшения экосистемы, например, использованию искусственного интеллекта.

В настоящей статье пойдет речь о применении технологий индустрии 4.0 для оптимизации логистических процессов при обращении с отходами.

Система логистики и транспортировки отходов является важным звеном, объединяющим источник образования отходов и их дальнейшую переработку. Однако существующие системы логистики и транспортировки отходов имеют ряд недостатков. Во-первых, затраты, связанные с логистикой и транспортировкой отходов, непомерно высоки, особенно на этапе сбора. Так, сегодня большинство систем по сбору отходов осуществляются вручную и часто неэффективно. Согласно проведенным исследованиям на сбор отходов приходится примерно 70–80 % от общего объема затрат на обращение с отходами. Более того, в результате неэффективного планирования образуются заторы на маршрутах, увеличивается объем потребления топлива для организации сбора. Всё это вносит свой вклад в увеличение объема выбросов парниковых газов в атмосферу до 50 %. [4] Во-вторых, человеческий фактор является своего рода кадровым ограничением и влечет за собой недоработки в планах сбора отходов и подборе транспортных средств. Поэтому для решения подобного рода проблем были разработаны и внедрены решения на основе искусственного интеллекта для оптимизации процессов логистики и транспортировки отходов.

Преимуществами технологий индустрии 4.0 являются максимизация прибыли, сокращение инвестиционных и операционных расходов, преобразование отходов во вторичные материальные ресурсы, преодоление некоторых операционных сложностей, которые невозможны без передовых технологий, увеличение скорости операций по управлению отходами, повышение имиджа компании, внедрение и популяризация экологических ценностей, оптимизации соотношения цены и качества. Согласно проведенным исследованиям, использование искусственного интеллекта в логистике отходов помогает снизить дистанцию транспортировки до 36,8 %, сэкономить на затратах до 13,35 % и сократить временные потери до 28,22 % [1].

Технологии 4.0 позволяют оптимизировать логистику отходов по четырем критериям: расстояние, стоимость, время транспортировки, уровень эффективности. Так, Акдас предложил метод для составления маршрутов для транспортных средств с использованием алгоритма оптимизации подражанием муравьиной колонии. Результаты исследования показали, что использование метода позволяет сократить дистанцию транспортировки отходов до 13 % [10], использование алгоритма Дейкстры и алгоритма запрещенного поиска [5] позволяет сократить расстояние перевозки до 28 %, генетического алгоритма [7] – до 28,22 %. Алгоритм поиска с возвратом [2] позволяет сократить расстояние перевозки до 36,8 процентов и увеличить эффективность сбора отходов до 36,78 %. Алгоритм поиска гармонии [3] повышает коэффициент полезности количества пунктов сбора до 5,4 %.

Среди прочего использование технологий позволяет планировать деятельность перевозчика, координировать деятельность сотрудников и оборудования, собирать и обрабатывать данные (например, вид и количество собранных отходов, операции по сопровождению и контролю, онлайн- отчетность о происшествиях, период эксплуатации транспортного средства [9]); оптимизировать маршрут в режиме реального времени, измерять уровень заполнения контейнеров, осуществлять подземное захоронение отходов автономными роботами [6]; использовать измерительный механизм для установки в мусоровозы, который позволяет прогнозировать уровень заполнения, что способствует снижению количества поездок для сбора отходов; использование уплотнителей отходов на солнечной энергии, которые могут вмещать в себя в пять раз больше, чем обычные контейнеры, которые, в том числе, собирают информацию о заполнении и необходимости забора, что позволяет сделать процесс сбора более гибким [8]; увеличение эффективности сбора и количества пунктов сбора отходов.

Неотъемлемой частью сбора отходов является расстановка и обслуживание контейнеров. Современные технологии с помощью специальных датчиков и сенсоров позволяют осуществлять автоматический контроль заполнения контейнеров и уведомление об этом конечных пользователей. Система умных контейнеров позволяет увеличить эффективность сбора отходов, предотвратить переполненность контейнеров, уменьшить распространение болезней и в общем улучшить экологическую обстановку в городе.

Стоит отметить, что, несмотря на все преимущества технологий индустрии 4,0, их использование пока ограничено и находится в стадии зарождения. Это связано, в том числе, и с высокими инвестиционными и операционными затратами на их внедрение и обслуживание. Управление отходами – это сложная система, которая включает в себя многочисленные технические, климатические, экологические, демографические, социально-экономические и юридические параметры, поэтому именно на современные технологии возлагают большие надежды для решения таких комплексных нелинейных процессов.

#### Список литературы

- 1 Artificial intelligence for waste management in smart cities: a review [Electronic resource]. – Mode of access : <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37362015/#>. – Date of access : 10.08.2023.
- 2 Backtracking search algorithm in CVRP models for efficient solid waste collection and route optimization [Electronic resource]. – Mode of access : <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956053X17300193?via%3Dihub> – Date of access : 05.09.2023.
- 3 Combining an artificial intelligence algorithm and a novel vehicle for sustainable e-waste collection [Electronic resource]. – Mode of access : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720322439?via%3Dihub>. – Date of access : 05.09.2023.
- 4 Optimal routing of solid waste collection trucks: a review of methods [Electronic resource]. – Mode of access : <https://www.hindawi.com/journals/je/2018/4586376/>. – Date of access : 14.08.2023.
- 5 Optimization of municipal solid waste collection and transportation routes, through linear programming and geographic information system: a case study from Sanliurfa, Turkey [Electronic resource]. – Mode of access : <https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-019-7975-1>. – Date of access : 02.09.2023.
- 6 ReWaste4.0 [Electronic resource]. – Mode of access : [https://www.ffg.at/sites/default/files/allgemeine\\_downloads/strukturprogramme/20180430\\_rewaste4\\_0\\_successstory\\_en\\_digitale\\_abfallwirtschaft.pdf](https://www.ffg.at/sites/default/files/allgemeine_downloads/strukturprogramme/20180430_rewaste4_0_successstory_en_digitale_abfallwirtschaft.pdf). – Date of access : 01.09.2023.
- 7 SGA: spatial GIS-based genetic algorithm for route optimization of municipal solid waste collection [Electronic resource]. – Mode of access : <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-018-2826-0>. – Date of access : 02.09.2023.
- 8 Smart waste management solutions that are revolutionizing the industry [Electronic resource]. – Mode of access : <https://www.datasciencecentral.com/smart-waste-management-solutions-that-are-revolutionizing-the-industry/>. – Date of access : 01.09.2023.
- 9 Technological innovation in solid waste management: The digital revolution is transforming the way we see and handle our waste [Electronic resource]. – Mode of access : <https://blogs.iadb.org/agua/en/technological-innovation-in-solid-waste-management-the-digital-revolution-is-transforming-the-way-we-see-and-handle-our-waste/>. – Date of access : 07.09.2023.
- 10 Vehicle route optimization for solid waste management: a case study of Maltepe, Istanbul [Electronic resource]. – Mode of access : [https://www.researchgate.net/publication/354082601\\_Vehicle\\_Route\\_Optimization\\_for\\_Solid\\_Waste\\_Management\\_A\\_Case\\_Study\\_of\\_Maltepe\\_Istanbul](https://www.researchgate.net/publication/354082601_Vehicle_Route_Optimization_for_Solid_Waste_Management_A_Case_Study_of_Maltepe_Istanbul). – Date of access : 20.08.2023.

## СОВРЕМЕННЫЕ ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ РЕЖИМОВ УПРАВЛЕНИЯ ГРУЗО- И ВАГОНПОТОКАМИ НА ПОЛИГОНАХ ПРИПОРТОВЫХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

*Е. А. ЧЕБОТАРЕВА, В. А. БОГАЧЕВ*

*Ростовский государственный университет путей сообщения, г. Ростов-на-Дону,  
Российская Федерация*

Изменения в системе управления экспортно-импортными перевозками на полигонах железных дорог обусловлены в историческом ракурсе этапами структурной реформы железнодорожного транспорта, включая создание трехуровневой структуры перевозок, формированием крупных погрузочно-выгрузочных районов с необходимостью адресного управления поездом- и грузопотоками в адрес морских портов, развитием полигонных технологий, требующих сквозного управления в границах нескольких дорог, а также появлением новых инструментов интеллектуального управления перевозками. Так, значительный интерес представляют собой задачи построения и анализа интеллектуальной системы управления перевозочным процессом, интегрирующей современные цифровые технологии, и действующие информационно-управляющие системы ОАО «РЖД» и смежных видов транспорта (ИСУ ПП) [1]. Ядром ИСУ ПП станут методы и модели искусственного интеллекта, а в самой системе планируется формирование управляющих воздействий от подачи заявки на перевозку грузов до их сдачи грузополучателям или передачи на смежные виды транспорта. Элементом такой системы может стать Динамическая модель загрузки инфраструктуры (ДМ ЗИ) [2].

Нужно отметить, что существенной особенностью железнодорожного транспорта является то, что управленческое решение на короткий промежуток времени, пусть даже созданное интеллектуальными системами, никогда не будет оптимальным, так как глубина перевозочного процесса во времени значительно больше периода оперативного управления. Эффективные решения на нижних иерархических уровнях не достигнут цели, если на более высоком уровне были совершены просчеты. Поэтому исследование организационно-технологической устойчивости систем управления поездом- и вагонопотоками в адрес припортовых станций, в том числе с применением новых информационных инструментариев, приобретает актуальность.

В настоящее время трехуровневая структура управления с включением Логистического центра (ЛЦ) службы движения в структуру Дирекции управления движением позволяет на уровне припортовых железных дорог осуществлять мониторинг объемов погрузки в адрес портов, принимать участие в согласовании плана завоза экспортных грузов при согласовании с Центром фирменного транспортного обслуживания (ЦФТО) на основе анализа эксплуатационной обстановки.

На первом уровне управления (ЦД, ЦФТО) формулируются директивы, по большей части относящиеся к увеличению количества вагонов, направляемых в адрес станций выгрузки. Функционирование второго уровня управления (подчиняющегося ЦД) наряду с основной задачей – увеличением количества направляемых на станции вагонов – проявляется также в частичной корректировке этого количества. Диспетчерский аппарат станции выгрузки, выполняющий функции третьего уровня управления, отслеживает текущую обстановку и, пользуясь возможностями транспортно-технологической системы, «разруливает на месте» ситуации, возникающие с прибывающими вагонами. Исходя из опыта работы руководство станций выгрузки имеет достаточно четкое представление об оптимальном количестве вагонов, которое следует направлять в сутки в адрес станции. Интеллектуализация процесса планирования перевозок с использованием ДМ ЗИ сократила часть работы по планированию перевозок, выполняемая на 1-м и 2-м уровнях управления.

Нужно понимать, что излишнее число вагонов, поступающих в адрес припортовых станций, приводит к появлению отставленных от движения поездов, увеличивает вагонный парк и снижает маневренность станций. Поэтому при планировании объемов перевозок важно проанализировать, какому режиму работы будет соответствовать то или иное принятое решение, независимо от того, определено оно «вручную» или при использовании алгоритмов программы.

В контексте изучаемых вопросов необходимо ввести общую схему возможных режимов эксплуатационной работы припортовой транспортно-технологической системы и ее структурных элемен-

тов (рисунок 1). Используем исследования Левина Д. Ю. в области характеристики режимов работы станций и поездной работы [3] применительно к более крупным объектам (припортовой дороге и полигону) и предложим использовать 4 основных режима, приведенных на рисунке 1.

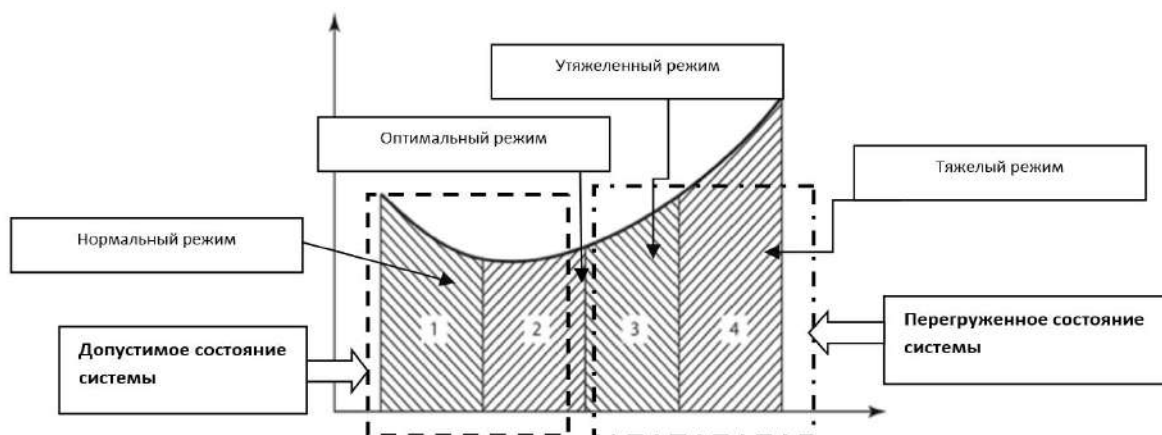


Рисунок 1 – Режимы работы элементов припортовой транспортно-технологической системы и ее элементов

Дальнейшее исследование, проводимое авторами, связано с определением системы управления и проверки ее на устойчивую модель поведения. В качестве примера можно рассмотреть модели, предложенные в исследовании [4], применительно к двухуровневым и трехуровневым конструкциям. Реализацию такой конструкции (при делегировании части функций искусственному интеллекту [1]) можно выполнить путем виртуального агрегирования, а именно объединения в трехуровневой системе управления нескольких уровней в один.

Предлагаемый в исследовании подход [4] концепции «жесткого» и «мягкого» математического моделирования в теории управления можно применить в исследовании организационно-технологической устойчивости систем управления поездо- и вагонопотоками на железнодорожном транспорте. Разработка моделей функционирования рассматриваемых систем управления вагонопотоками может быть выполнена на основе классических методов теории обыкновенных дифференциальных уравнений.

Предварительные исследования по указанному подходу показали, что в результате введения дополнительных связей между субъектами двухуровневого управления от неустойчивой «жесткой» модели можно перейти к «мягкой» модели системы управления вагонопотоками, которая оказывается устойчивой, что будет интересно с точки зрения развития интеллектуализированных систем управления поездо- и вагонопотоками. Ввиду неустойчивости функционирования «жестких» систем с тремя и более уровнями управления разработана методика адаптации «мягкой» двухуровневой модели к трехуровневой системе управления вагонопотоками.

Предложенный подход имеет общий характер и применим при изучении вопросов управления перевозками грузов, осуществляемыми другими наземными видами транспорта. Будучи универсальным программным инструментом, системы аналитических вычислений наряду с выполнением эвристической функции позволят получать математически обоснованные и наглядные решения задач оптимизации режимов управления поездо- и вагонопотоками.

#### Список литературы

- 1 **Осьминин, А. Т.** О разработке интеллектуальной системы управления перевозочным процессом на железнодорожном транспорте / А. Т. Осьминин // Наука 1520 ВНИИЖТ: Загляни за горизонт : сб. материалов науч.-практ. конф. – Щербинка : ВНИИЖТ, 2021. – С. 139–147.
- 2 **Кабанов, А. Б.** Научный подход к планированию железнодорожных грузовых перевозок / А. Б. Кабанов, А. Т. Осьминин // Железнодорожный транспорт. – 2022. – № 8. – С. 12–16.
- 3 **Арнольд, В. И.** «Жесткие» и «мягкие» математические модели / В. И. Арнольд. – 2-е изд. – М. : МЦНМО, 2008. – 32 с.
- 4 **Левин, Д. Ю.** Теория оперативного управления перевозочным процессом : [монография] / Д. Ю. Левин. – М. : Учеб.-метод. центр по образованию на ж.-д. транспорте, 2008. – 625 с.

## АЛГОРИТМЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ГРАФИКА ДВИЖЕНИЯ БЕСПИЛОТНОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

*Д. Н. ШЕВЧЕНКО, А. Э. ЮНИЦКИЙ*

*ЗАО «Струнные технологии», г. Минск, Республика Беларусь*

Приводится постановка задачи восстановления индивидуальных задержек рельсовых транспортных средств (РТС), когда такие задержки не вызывают задержек следующих РТС; а также восстановления регулярности графика движения, когда восстановление индивидуальных задержек нецелесообразно или невозможно с учётом обеспечения безопасности движения; или задержки сказываются сразу на нескольких попутно следующих РТС. Предлагаются формальные алгоритмы решения поставленных задач в условиях беспилотного автоведения РТС. Приводятся результаты исследования алгоритмов на скорость и точность восстановления задержек.

Ключевыми особенностями струнного транспорта являются [1, 2]:

- использование надземной эстакады с предварительно напряжённым струнным рельсом и с преобладающими прямыми участками путевой структуры;
- отсутствие пересечений струнной путевой структуры в одном уровне с другими транспортными магистралями;
- применение беспилотных РТС на электрической тяге [3];
- централизованное управление всеми РТС и объектами инфраструктуры, интервальное регулирование РТС посредством радиоблокировки;
- профиль автоведения РТС определяется профилем безопасности (АТР-профилем [4]) и заданным центральной системой управления скоростным режимом, указывающим на долю скоростных ограничений относительно предельных скоростных АТР-ограничений;
- одной из востребованных областей применения струнного транспорта являются городские пассажирские перевозки по кольцевой трассе с установленным направлением попутного движения РТС.

Рассматривается задача движения нескольких РТС по замкнутой кольцевой трассе в одном направлении с фиксированным интервалом попутного следования. Все РТС имеют тождественные кинематические характеристики и длительности стоянок на остановочных пунктах. Кроме интервала попутного следования (в нескольких пикетах трассы) может контролироваться расписание движения каждого отдельного РТС.

В процессе выполнения регулярного графика движения РТС возможны задержки, связанные с кратковременными внешними случайными причинами (задержки на пассажирских станциях, сбои в сетях передачи данных и др.). В этом случае актуальна разработка алгоритмов, позволяющих восстанавливать график движения в автоматическом режиме (что особенно актуально для беспилотных РТС), с высокой точностью и в минимальные сроки. Дополнительным требованием алгоритма восстановления графика движения может быть неснижение исходной интенсивности движения РТС с целью обеспечения штатных показателей пассажирских и грузовых перевозок.

Предполагается, что нарушение графика движения не связано с отказами РТС и инфраструктуры; действие влияющих факторов, приведших к нарушению графика движения, к рассматриваемому моменту времени прекратилось.

Восстановление графика движения РТС осуществляется за счёт подконтрольного изменения штатного скоростного режима запаздывающих РТС на «ускоренный» режим движения. Например, скоростной режим «80 % от предельных скоростных ограничений» заменяется на режим «95 % от предельных скоростных ограничений».

Если случайные задержки некоторых РТС (определённые на основе штатного расписания) не вызвали задержек остальных РТС, предлагается следующий алгоритм «восстановления индивидуальных задержек».

- 1 Определить техническую скорость.
- 2 Определить компенсируемое время для каждого отдельного РТС.

3 Преобразовать компенсируемое время в компенсируемое расстояние, которое можно отслеживать.

4 Установить новые скоростные ограничения РТС.

5 Отслеживать оставшееся компенсируемое расстояние.

6 Установить исходные скоростные ограничения РТС.

В случае, когда задержки некоторых РТС оказались столь значительны, что вызвали задержку всех следующих РТС, а восстановление исходного расписания не требуется или нецелесообразно (например, потребует длительного времени), предлагается ограничиться «восстановлением регулярности графика движения РТС». Предполагается следующий порядок действий.

1 Определить интервалы попутного следования.

2 Определить техническую скорость.

3 Определить РТС, для которого характерен самый большой интервал попутного следования. Скоростной режим предшествующего РТС изменяться не будет. Интервалы попутного следования других РТС должны быть откорректированы.

4 Определить компенсируемое время для каждого РТС с учётом очередности движения РТС.

5 Определить компенсируемое расстояние для каждого РТС.

6 Установить новые скоростные ограничения РТС.

7 Отслеживать оставшееся компенсируемое расстояние (для каждого РТС).

8 Установить исходные скоростные ограничения для РТС, компенсировавшего отставание.

Апробация предлагаемых алгоритмов выполнялась на имитационной модели движения нескольких РТС по одной из проектируемых трасс. При этом задавалось случайное начальное местоположение РТС. Установлено, что скорость восстановления задержек зависит от величины задержек, от соотношения между исходными и новыми скоростными ограничениями, а также от фактических режимов движения РТС. Например, новые скоростные ограничения могут достигаться не в полной мере ввиду прочих ограничений.

В процессе апробации алгоритма восстановления регулярности графика движения стандартное отклонение интервалов попутного следования, как правило, уменьшается в 10–20 раз. При повторном запуске алгоритма стандартное отклонение интервалов попутного следования дополнительно уменьшается в 5–15 раз. Уменьшение стандартного отклонения интервалов попутного следования до нуля затрудняется следующими случайными причинами:

а) в процессе восстановления регулярности фактическая техническая скорость РТС на участке не совпадает с теоретической технической скоростью РТС на всей трассе. Например, в процессе компенсации конкретной задержки могут преобладать участки с разгонами и замедлениями;

б) обновление информации о требуемом скоростном режиме РТС происходит не мгновенно, а с заранее установленной периодичностью;

в) после восстановления регулярности движения и установления для РТС исходных скоростных ограничений может потребоваться торможение РТС со скорости, значение которой не было определено заранее.

Множественно чередуя два предлагаемых в докладе алгоритма, можно восстанавливать не только регулярность графика движения, но и нарушение расписания движения, вызванное существенными задержками всех РТС.

#### Список литературы

1 Юницкий, А. Э. Струнные транспортные системы: на Земле и в Космосе / А. Э. Юницкий. – Силакросс : ПНБпринт, 2019. – 576 с.

2 СТО SW 05.002–2019. Городской и высокоскоростной струнные транспортные комплексы. Специальные технические условия.

3 Реализованные конфигурации рельсовых электромобилей [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://ust.inc/technology/upods>. – Дата доступа : 03.09.2023.

4 IEEE 1474.1–2004 IEEE Standard for Communications-Based Train Control (CBTC). Performance and Functional Requirements [Electronic resource]. – Mode of access : <https://sagroups.ieee.org/1474wg2/>. – Date of access : 10.09.2023.



## РОЛЬ И МЕСТО ТРАНСПОРТНОГО ВУЗА В ИННОВАЦИОННОМ РАЗВИТИИ ОТРАСЛИ В УСЛОВИЯХ ЕЕ ЦИФРОВИЗАЦИИ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИИ

*Е. Г. ШЕПИЛОВА, Е. С. БРАУН*

*Ростовский государственный университет путей сообщения г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация,*

Основаниями, актуализирующими тему настоящего исследования, являются следующие предпосылки.

1 В современном обществе предъявляются новые требования к качеству, безопасности, эффективности оказываемых транспортных услуг (реализация технологий «одного окна», «от двери к двери», обеспечение оперативности и прозрачности оказания услуг и пр.) [1].

2 Мейнстримом развития общества и производства на текущий момент времени является цифровая и интеллектуальная трансформация всех сфер деятельности и всех уровней управления. Транспорт в этом ряду – не исключение [2]. В транспортной сфере необходимо создать совокупность цифровых платформ (ЦП), которые обеспечат:

- эффективность производственных процессов на транспорте (финансовую и производственную);
- оперативность и качество взаимодействия участников перевозочного и производственного процессов на транспорте (усиление их кооперации, компенсация отрицательных последствий конкурентности между различными предприятиями и видами транспорта, согласование их противоречивых интересов);
- облегчение труда работников транспорта (за счет передачи ряда трудоемких операций машине), расширение спектра оказываемых транспортных услуг (своевременное оповещение об изменении графика движения, прокладка и рекомендация пользователям новых маршрутов пассажиров и грузов и т. д.).

3 Интеллектуальная трансформация – инновационный проект, требующий соответствующих ресурсов (организационных, финансовых, кадровых, знаниевых, методологических). Транспортные вузы страны являются активными участниками создания этих ресурсов на транспорте [3, 4]:

- в вузах организовываются центры развития, объединяющие производство, науку, образование и обеспечивающие ускоренное внедрение инновационных продуктов в практику и производство;
- отраслевые вузы готовят кадры для всех уровней управления и всех сфер транспортного обслуживания;
- в вузах создаются теория и инструменты анализа проблемных зон транспортного развития страны и синтеза современных транспортных систем.

Однако, как и любой инновационный проект, это проект с повышенным риском издержек (экологических, экономических, обеспечения безопасности движения и транспортного обслуживания). Поэтому необходимо уточнить и развить роль транспортного вуза в инновационном развитии отрасли в эпоху цифровизации и интеллектуализации.

Предлагаемая **Концепция цифрового и интеллектуального развития отраслевого вуза** включает следующие компоненты.

1 Разработка и внедрение новых образовательных специальностей по заявленной теме исследования по подготовке кадров для транспорта (по всем уровням: среднее специальное образование, бакалавриат, специалитет, магистратура, аспирантура, советы по защите диссертаций). Необходимо не просто сформировать перечень специальностей и уровней обучения, а сделать единый образовательный комплекс, функционирующий на принципах преемственности, эффективного расширения и углубления знаний специалистов. Катализировать функционирование этого комплекса должна система оперативной переподготовки и повышения кадров транспортных предприятий.

2 Повышение связности различных сфер вузовской деятельности (образовательной, научной, методической) с транспортным производством. Попытки организовать филиалы кафедр на производстве, привлечь производителей к учебному процессу и другие меры пока не дали желаемого результата. Решить данную проблему можно путем внедрения в вуз современных технологий объединения интересов государства, производства, образовательной сферы: научно-производственные кластеры [5, 6], модель тройной спирали [7] и др.

3 Повышение эффективности деятельности научного сектора вуза. Существующие научные школы, к сожалению, пока слабо связаны с производством. Регламенты и условия научно-

образовательных центров вуза не способствуют их развитию. Региональная и отраслевая поддержка вузов (финансовая, материальная, информационная и пр.) недостаточна. Нет достойных мер стимулирования сотрудников вуза в научной сфере. Текущая организационная, образовательная, методическая работа поглощает все имеющиеся у них ресурсы. Необходимо создать технологии, разгружающие сотрудников и стимулирующие их творческую активность.

4 Совершенствование деятельности Электронного университета вуза (ЭУВ) [8]. Оно должно касаться всех его ключевых позиций:

– расширение образовательной базы (создание программ, курсов, лекций, лабораторных и практических занятий, способствующих интенсификации индивидуального обучения);

– управление ЭУВ: оценка качества учебных материалов и профессионализма преподавателей, формирование цифрового следа обучающихся, интеграция результатов обучения (формулирование проблем), визуализация образовательного процесса на всех уровнях: индивидуальном, коллективном (по специальностям, кафедрам, факультетам), вуза в целом;

– организация регламентированного доступа заинтересованных (учащихся, преподавателей, руководства вуза, отрасли, министерства) к ресурсам и результатам деятельности ЭУВ.

5 Совершенствование деятельности АСУ «ВУЗ» [9].

6 Создание действенной системы разработки научных проектов, обеспечивающей: оптимальное распределение и пополнение существующих ресурсов вуза; накопление (создание «библиотеки» перспективных научных проектов) и продвижение научных идей в производство.

*Средствами реализации предложенной концепции, в частности, являются:*

– создание цифровой платформы (ЦП) «Эндаумент-фонд вуза» [8], консолидирующей средства на исследование и согласовывающей интересы сторон: вуза, производства;

– создание ЦП «Репозиторий вуза» [10], стимулирующего научную деятельность сотрудников вуза, систематизирующей и коммерциализирующей научные исследования.

#### Список литературы

1 **Ватолкина, Н. Ш.** Систематизация подходов к определению категории «качество услуг» / Н. Ш. Ватолкина // Известия Дальневосточного федерального университета. Экономика и управление. – 2016. – № 4 (64). – С. 82–93.

2 Цифровая трансформация на транспорте [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.tadviser.ru/index.php>. – Дата доступа : 20.08.2023.

3 **Шепилова, Е. Г.** Инновационное развитие отраслевого технического вуза / Е. Г. Шепилова // Транспортная инфраструктура сибирского региона. – 2014. – Т. 1. – С. 471–475.

4 **Шепилова, Е. Г.** Инновационное развитие отраслевых вузовских комплексов / Е. Г. Шепилова // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2015. – № 3 (44). – С. 223–228.

5 **Кудряшов, В. С.** Особенности формирования и функционирования научно-производственных кластеров в региональной экономике / В. С. Кудряшов // Управленческое консультирование. – 2017. – № 3. – С. 84–91.

6 **Шепилова, Е. Г.** Отраслевой вуз – центр учебно-научно-производственного кластера / Е. Г. Шепилова // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2013. – № 6. – С. 153–156.

7 **Ицкович, Г.** Модель тройной спирали / Г. Ицкович // Инновации. – 2011. – № 4 (150). – С. 5–10.

8 **Шепилова, Е. Г.** Подготовка кадров в железнодорожной отрасли: проблемы, пути решения [монография] / Е. Г. Шепилова. – Ростов н/Д : ВПО. – 2014. – 148 с. – ISBN 978-5-88814-406-0.

9 **Шепилова, Е. Г.** О системном подходе к построению АСУ «ВУЗ» / Е. Г. Шепилова, Е. Н. Лебединская, Н. Н. Сухорукова // Актуальные проблемы развития технических средств и технологий железнодорожной автоматики и телемеханики : Междунар. межвуз. сб. науч. тр. – Ростов н/Д : РГУПС, 2004. – С. 74–79.

10 **Шепилова, Е. Г.** Репозиторий вуза – инструмент совершенствования его деятельности и коммерциализации интеллектуальной собственности / Е. Г. Шепилова // Известия высших учебных заведений Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2014. – № 6 (181). – С. 139–142.

УДК 656.2.004.69+06

## ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ РОССИИ

*Е. Г. ШЕПИЛОВА, В. Р. ХУСАИНОВ*

*Ростовский государственный университет путей сообщения, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация,*

По данным международной консалтинговой фирмы Frost & Sullivan, в 2023 году объем рынка искусственного интеллекта (ИИ) ожидает рост до 53 млрд дол. Это почти в 4 раза больше, чем пять

лет назад. Темпы роста в этот период стабильно сохраняются на отметке 31 % и к 2030 году внедрение ИИ увеличится на мировых глобальных рынках товаров и услуг на 16 трлн дол. [1].

При этом в бюджете США (данные только открытой информации) на разработки в области развития ИИ выделено около 5 млрд дол. всего на 1 год против 1,5 млрд дол. на шестилетнюю программу В РФ.

Самый известный американский гигант ИИ – фирма Azure. Она занимается разработкой программного обеспечения. Azure распознает речь, занимается прогнозированием, а также имитирует другие интеллектуальные процессы, выполняемые человеком.

Индустрии ИИ в Китае развивается стремительно: если размер мирового рынка этой сферы в среднем растет на 26,2 % в год, то в Китае этот показатель составляет 44,5 % в год [2]. В 2017 г. общий объем финансирования китайских ИИ-предприятий, т. е. предприятий, занимающихся разработками в сфере ИИ, составил 70 % от общемирового.

Официально ученые из Поднебесной занимаются изучением нейросетей, которые обучены распознавать сообщения человека, предметы, управлять дорожно-транспортным движением, синтезируют систему социального доверия.

К сожалению, в РФ нет компаний, которые бы активно занимались функционированием и интеграцией возможностей ИИ. Существует ряд предприятий, которые продвигают ИИ внутри своих бизнес-моделей, например, «Яндекс», «Сбербанк» и Mail.ru Group, «Лаборатория Касперского», корпорации «Сибур» и «Северсталь». Однако эти решения не являются уникальными, да и присутствие российских ученых на ведущих мировых мероприятиях, посвященных искусственному интеллекту, сильно проигрывает представителям из США, Китая и Европы.

Например, «Яндекс» внедряет полученные результаты в работу одноименной поисковой системы. Более 6 лет компания активно исследует нейросети, так как последние влияют на работу поисковиков. Так, нейронные сети сравнивают сделанные запросы с неким векторным числом, которое лучше всего отражает суть заданной задачи. Таким образом поиск осуществляется не по словам, а по самой информации, которую ищет человек. Также «Яндексом» был создан развлекательный сервис «Дзен», анализирующий предпочтения пользователей.

Определенные достижения в разработке и внедрении ИИ есть и на РЖД [3]:

- автоматизированная система «Электронная транспортная накладная» (ЭТРАН) оформляет все перевозки грузов ОАО «Российские железные дороги» (ОАО «РЖД»);
- РЖД внедряет ИИ в таких крупных проектах, как Московское центральное кольцо;
- ИИ идентифицирует и прогнозирует состояние железнодорожного пути;
- ИИ расследует причины нарушений и корректирует графики движения поездов;
- на ЖДТ ИИ обрабатывает каждый второй запрос, который поступает в Центр поддержки клиентов РЖД.

Заместитель генерального директора ОАО «РЖД» Е. Чаркин на Восточном экономическом форуме отметил переход российского ИИ на отечественную платформу. «ЭТРАН» уже в реестре отечественных программных продуктов ИИ. Второй ключевой и критичной для РЖД системой была названа система оперативного управления перевозочным процессом. Эта система обрабатывает 2,5 млн событий на РЖД в сутки. И пока нареканий к работе ИИ у железнодорожников нет.

ИИ на РЖД осуществляет моделирование, анализ, планирование. В перспективе переход на предиктивную модель обслуживания инфраструктуры. В реализации 13 проектов в области ИИ. Это и коммерческий осмотр вагонов (оборудовано 39 постов технологией автоматизированной диагностики), и беспилотное вождение поездов, в том числе и маневровых локомотивов.

Существующие классификации интеллекта следует упорядочить с целью определения возможностей и оценки степени развития ИИ.

Например, Гарднер выделил девять типов интеллекта: натуралистический, музыкальный, логико-математический, лингвистически-вербальный, экзистенциальный, межличностный, внутриличностный, телесно-кинестетический и визуально-пространственный [4].

Различают также сильный ИИ (искусственная система может мыслить и осознавать себя как отдельную личность) и слабый ИИ, предназначенный для решения какой-либо одной интеллектуальной задачи и не подразумевающий наличия у компьютера подлинного сознания [5].

Введем классификацию интеллекта по способу его возникновения: естественный и машинный.

Естественный интеллект в свою очередь подразделяется на индивидуальный и коллективный.

Индивидуальный интеллект проявляют люди и некоторые представители животного мира. Коллективный интеллект присутствует у муравьиной колонии, роя пчел, в животных сообществах.

Машинный – интеллект, продуцируемый машиной. Примерами машинного интеллекта являются нейросети, метод группового учета аргументов Ивахненко А. Г. [3].

Интеграция естественного и искусственного интеллекта уже нашла свое широкое распространение. Это, например, нейро-нечеткое моделирование.

В разработках ИИ на ЖДТ интеграция возможна в двух аспектах: коллективный интеллект и машинный; индивидуальный интеллект и машинный.

Технологии развития искусственного интеллекта можно разделить на два направления: максимальное приближение возможностей ИИ к естественному, а также их дальнейшая интеграция в повседневную жизнь; создание полноценного искусственного разума, который сможет решать человеческие задачи самостоятельно.

*С чего начать?*

1 Необходимо создать систему подготовки кадров для разработки и обслуживания ИИ на ЖДТ.

2 Обеспечить стимулирование разработок ИИ. Одним из средств этого может выступить создание в отраслевых вузах страны репозиторий, коммерциализирующий разработки в вузах [6].

3 Повысить уровень финансовой обеспеченности разработок ИИ на транспорте. Решить эту задачу в условиях дефицита средств можно комплексным применением нескольких инструментов: государственно-частное партнерство, государственная и отраслевая поддержка исследований, эндаумент-фонды вузов [7].

#### Список литературы

1 Frost & Sullivan [Электронный ресурс] : [офф. сайт]. – Режим доступа : <https://www.frost.com/>. – Дата доступа : 10.09.2023.

2 Zhongguo rebgongzhineng chanye baipishu [White Paper Artificial Intelligence Industry in China] [Electronic resource]. – Mode of access : <https://deloitte.com/content/dam/Deloitte/cn/Documents/innovation/>. – Date of access : 10.09.2023.

3 Железнодорожный транспорт: на пути к интеллектуальному управлению : [монография] / С. Е. Адауров [и др.]. – Ростов н/Д : ЮНЦ РАН, 2010. – 322 с.

4 Виды интеллекта — классификация в психологии [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://psychologist.tips/1310-vidy-intellekta-klassifikatsiya-v-psiologii.html>. – Дата доступа : 10.09.2023.

5 Иоселиани, А. Д. «Искусственный интеллект» и человеческий разум / А. Д. Иоселиани // Манускрипт. – 2019. – Т. 12. – Вып. 4. – С. 102–107. – DOI :10.30853/manuscript.2019.4.21.

6 Шепилова, Е. Г. Репозиторий вуза – инструмент совершенствования его деятельности и коммерциализации интеллектуальной собственности / Е. Г. Шепилова // Известия высших учебных заведений Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2014. – № 6 (181). – С. 139–142.

7 Шепилова, Е. Г. Подготовка кадров в железнодорожной отрасли: проблемы, пути решения : [монография] / Е. Г. Шепилова. – Ростов н/Д : ФГБОУ ВПО РГУПС. – 2014. – 148 с. – ISBN 978-5-88814-406-0.

УДК 656.2

## КОНЦЕПЦИЯ БЕЗОПАСНОСТИ СТРУННОГО ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА

*А. Э. ЮНИЦКИЙ, В. А. ГАРАХ, Т. С. ЛИТВИНОВИЧ, Д. Н. ШЕВЧЕНКО*  
*ЗАО «Струнные технологии», г. Минск, Республика Беларусь*

Транспортные системы являются системами с повышенной степенью опасности. Базовое определение безопасности как отсутствие недопустимого риска [1] для транспортных систем уточняется и детализируется в зависимости от опасностей и угроз (прежде всего – видов опасностей и их причин), характерных для того или иного вида транспорта. Подробное рассмотрение составляющих безопасности дается в технических регламентах для железнодорожного подвижного состава (ТР ТС 001/2011), для инфраструктуры железнодорожного транспорта (ТР ТС 003/2011) и колесных транспортных средств. Транспортные системы наряду с опасностями, характерными для ее компонентов, подвержены дополнительным видам опасностей, следовательно, приобретают дополнительные составляющие свойства безопасности: транспортная, экономическая и др.

Однако систематизация составляющих безопасности транспортной системы (комплекса) в нормативной документации и научной литературе отсутствует. Например, не уточняются различия

биологической, санитарно-эпидемиологической и экологической безопасности; безопасность работы приборов и оборудования при электромагнитных воздействиях (электромагнитная совместимость), как и термическая безопасность, рассматривается отдельно от безопасности излучений. Некоторые составляющие определены недостаточно чётко или вовсе не определены (безопасность конструкции, безопасная утилизация). Вместе с тем корректный учет всех составляющих безопасности весьма актуален для полного системного анализа безопасности вновь разрабатываемой инновационной струнной транспортной системы. В докладе приводится краткая характеристика струнного транспорта; указывается, что соответствующий пакет нормативной документации еще находится в стадии разработки; отмечается, что подход учета опасностей на основе опыта эксплуатации самой системы неприемлем, поэтому требуется подробный анализ опыта эксплуатации других видов транспорта, прежде всего, рельсового.

В докладе обсуждаются некоторые вопросы систематизации и определения составляющих безопасности. Особое внимание уделяется понятию безопасности движения и его взаимосвязи с безопасностью эксплуатации и функциональной безопасностью. Показывается, что некоторые существующие определения безопасности перевозочного процесса или являются весьма абстрактными, или определяют лишь значение частного количественного показателя, или не являются актуальными, поскольку не используют современный подход, основанный на риске [1]. Еще большая неопределенность касается конкретных условий безопасности движения рельсовых транспортных средств (РТС). В стандартах по перегонным и станционным системам железнодорожной автоматики приводится перечень условий, нарушение которых недопустимо, поскольку влечет нарушение условий безопасности движения поездов. Однако состав указанных условий жестко привязан к реализации эксплуатируемых систем управления [5]; вынужден обеспечивать функциональную совместимость с предшествующими системами. При этом условия безопасности не уточняются, а наследуются.

Важно представлять базовые (исходные) и элементарные (неразложимые) условия безопасности движения РТС, на основе которых можно формировать требования к новым системам управления перевозочным процессом. Также важно определить базовые функции безопасности движения, чтобы на их основе без рудиментных подсистем и функций формировать требования для струнной транспортной системы. В докладе анализируются базовые функции безопасности, предусматриваемые тремя международными стандартами для рельсового транспорта. Стандарт ИЕС [2] предлагает набор из четырёх функций, стандарт ANSI [3] – из четырнадцати, а IEEE [4] – шестнадцать функций. Обсуждаются проблемы полноты предлагаемых наборов функций, а также возможности реализации одной функции посредством нескольких других. Демонстрируются примеры и особенности реализации функций в реальных транспортных системах.

На основе проведенного анализа предлагается следующий состав базовых условий и функций безопасности движения РТС для их реализации автоматизированной системой управления перевозочным процессом в условиях струнного транспортного комплекса.

Условие 1. Недопустимо соударение РТС с препятствиями (другими РТС, объектами инфраструктуры). Возможная альтернатива: определение допустимой скорости соударения РТС между собой и/или с препятствиями.

Условие 2. Возможна мгновенная остановка (впереди) движущегося РТС [2–4]. Возможная альтернатива: вычисление координат впередиидущего РТС из предположения служебного или экстренного торможения впередиидущего РТС.

Функция 1. Позиционирование РТС: определение местоположения, скорости и направления движения каждого отдельного РТС с установленной точностью. Многомодульные (разделяемые) РТС должны обеспечивать независимое позиционирование каждого отдельного модуля (в противном случае список базовых функций должен быть дополнен функцией защиты от разделения состава).

Функция 2. Защита от превышения скорости движения, установленной для каждого конкретного участка трассы с учетом его особенностей и технических характеристик РТС).

Функция 3. Обеспечение безопасного торможения (снижения скорости РТС от местоположения) РТС, используемого в алгоритмах автоведения и интервального регулирования, с учетом всех задержек и составляющих, предусмотренных стандартом [4], а также гарантированными значениями замедления, реализуемыми для конкретного участка трассы и погодных условий функцией служебного торможения при наихудшем одиночном отказе тормозного оборудования [3]. Функция служебного торможения реализуется «рабочим» тормозным оборудованием РТС, не влекущим повы-

шенный износ подвижного состава и путевой структуры, допускает отмену функции торможения и многократное повторное применение. Функции экстренного и аварийного торможения предусматриваются для остановки РТС в качестве дополнительной эшелонированной защиты в нештатных ситуациях.

Функция 4. Обеспечение безопасного маршрута, когда все требуемые участки пути и автоматизированные объекты инфраструктуры (стрелки и др.) заблокированы в определенных состояниях для беспрепятственного пропуски конкретного РТС, а также для исключения их использования другими РТС.

Функция 5. Обеспечение движения РТС (продолжение или возобновление) только по команде, соответствующей подготовленному безопасному маршруту. Поскольку в процессе движения возможно изменение технологического и технического состояния объектов транспортной системы (РТС, стрелок и других объектов инфраструктуры), то команда на движение должна периодически актуализироваться (повторяться или отменяться).

Функция 6. Блокировка начала движения при незапертых дверях [3], а также без успешной проверки дополнительных условий, связанных с технологическим (заряжена батарея) и техническим состоянием РТС (не диагностированы отказы, выполнение прочих условий безопасности движения).

Функция 7. Блокировка открытия дверей при невыполнении хотя бы одного условия: позиция двери РТС соответствует платформе; скорость РТС равна нулю; отключена тяга; включена функция удерживающего или стояночного торможения [3]; имеется команда на открытие двери РТС из центральной системы управления.

Полнота и корректность предложенного набора базовых функций подтверждается тем, что на его основе могут быть получены функции стандартов [2–4], а также возможностью формирования прочих умозаключений об алгоритмах организации перевозочного процесса. Например, из двух условий и «функции 3» следует, что дистанция между попутно следующими РТС должна быть не меньше гарантированной длины тормозного пути РТС. Из «условия 2» и «функции 1» следует, что местоположение РТС считается неизменным до тех пор, пока не получена информация о новом местоположении РТС.

#### Список литературы

1 СТБ ИЕС 61508-4-2014. Функциональная безопасность электрических, электронных и программируемых электронных систем, связанных с безопасностью. Ч. Термины и определения и сокращения. – Введ. 2015-06-01. – Минск : БелГИМ, 2015. – 32 с.

2 ИЕС 62290-1:2014. Railway applications – Urban guided transport management and command/control systems – Part 1: System principles and fundamental concepts. – 2014. – 38 p.

3 ANSI / ASCE / T & DI 21-13 Automated People Mover Standards. Part 1. – 2013. – 105 p.

4 IEEE 1474.1-2004 IEEE Standard for Communications-Based Train Control (CBTC). Performance and Functional Requirements [Electronic resource]. – Mode of access : <https://sagroups.ieee.org/1474wg2/>. – Date of access : 10.09.2023.

5 Памятка ОСЖД Р817. Эксплуатационно-технические требования к системам интервального регулирования движения поездов на перегонах. – Варшава : Комитет ОСЖД, 2016. – 20 с.

### **3 ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, АВТОМАТИКА, ТЕЛЕМЕХАНИКА И СВЯЗЬ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ**

---

УДК 621.391.825

#### **МЕТОДЫ АНАЛИЗА ВОЗДЕЙСТВИЯ НАНОСЕКУНДНЫХ ИМПУЛЬСОВ ПОМЕХ ПРЕДНАМЕРЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА МИКРОЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ И ТЕЛЕМЕХАНИКИ**

*К. А. БОЧКОВ, И. О. ЖИГАЛИН*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

*Д. В. КОМНАТНЫЙ*

*Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого, Республика Беларусь*

Для современных программно-аппаратных комплексов микроэлектронных систем железнодорожной автоматики и телемеханики (МСЖАТ) характерны высокие скорости обработки информации, что требует применения быстродействующей элементной базы. Быстродействие достигается за счет миниатюризации, уменьшения уровня полезного сигнала, повышения тактовых частот и уменьшения времени переключения до наносекунд.

Многочисленными исследованиями установлено, что наибольшую опасность нарушения функционирования современных микропроцессорных систем, проявляющихся в виде сбоев и повреждений микроэлектронных элементов, представляют собой одиночные и периодические электромагнитные импульсы преднамеренного воздействия (ЭИПВ) наносекундной длительности. В связи с этим МСЖАТ становятся уязвимыми к воздействию ЭИПВ, классифицируемых в многочисленных источниках как электромагнитный терроризм [1].

В современных условиях обострившейся политической обстановки существенно возрастает угроза электромагнитного терроризма, суть которого – оказание деструктивного электромагнитного воздействия на микроэлектронные системы с целью их разрушения или нарушения работы.

Следует также учитывать и особенности расположения МСЖАТ на объектах железнодорожного транспорта в зданиях, постах электрической централизации, релейных шкафах на переездах и перегонах и т. д., не имеющих периметров охраны. Все эти обстоятельства необходимо учитывать при разработке и изготовлении современных МСЖАТ с целью подтверждения предъявляемых к ним самых высоких требований стандартов по функциональной безопасности (УПБ 4/SIL 4 по ИЕС 61508).

Для обеспечения требуемых показаний по надежности и безопасности функционирования МСЖАТ в условиях ЭИПВ рассмотрим возможные методы анализа.

Первый, наиболее распространенный, основан на физическом моделировании воздействия ЭИПВ на исследуемую систему (устройство) с помощью специальных, достаточно сложных и дорогостоящих, генераторов. Такие испытания приводят, как правило, к деструктивным последствиям для элементов. Анализ путей проникновения помех и способов защиты от ЭИПВ при этом становится очень сложным, а иногда и невозможным. Эта же проблема возникает и при прогнозировании устойчивости микроэлектронных систем в зависимости от размеров возможной зоны поражения и использовании различных способов и средств экранирования и геометрической ориентации наиболее ответственных плат в экранированных корпусах с неоднородностями.

Второй метод заключается в использовании пакетов моделирования, которые можно использовать для прогнозирования последствий проникновения ЭИПВ в корпуса аппаратуры микроэлек-

тронных СЖАТ численными методами анализа электромагнитных полей, в частности методом конечных элементов (пакеты ANSYS HFSS, CST MWS, COMSOL и др.).

Моделирование позволяет учесть наличие нескольких паразитных антенн и интерференцию их излучения, что важно при сложной конструкции объекта испытаний. Используя моделирование можно тестировать эффективность средств защиты, не повреждая объект. Тем не менее из-за большого объёма вычислений методы моделирования не позволяют в полной мере решать задачи прогнозирования воздействия ЭИПВ, т. к. построение математической модели и расчёт характеристик для электродинамических систем сложной конфигурации часто является слишком трудоёмкой задачей.

Кроме того, методу конечных элементов присущи погрешности, которые могут негативно сказаться на адекватности результатов моделирования воздействия ЭИПВ на аппаратуру микроэлектронных СЖАТ. Указанные погрешности метода конечных элементов связаны [2]:

- с ошибками дискретизации, являющимися результатом геометрических различий границы рассматриваемой области и ее модели;
- ошибками базисной функции, обусловленными разностью между точным решением и его представлением в виде комбинации базисных функций заданного вида;
- ошибками округления, связанными с конечной длиной разрядной сетки компьютера и большим числом операций, выполняемых при решении задачи методом конечных элементов.

Третий метод основан на использовании принципа подобия. Суть подхода заключается в использовании стандартного генератора наносекундных импульсов помех, характеристики которого по длительности фронта импульса близки к параметрам ЭИПВ за исключением энергии. Таким параметрам соответствуют генераторы электростатических разрядов (ЭСР) по стандартам ГОСТ 30804.4.2, ГОСТ Р 50607. Тогда используя генератор ЭСР и проведя испытания устройств микроэлектронных СЖАТ путем непосредственного воздействия на неоднородности (апертуры) корпусов этих устройств можно, на условии эквивалентности импульсов помех [3] и на основе математических моделей механизма проникновения ЭИПВ, прогнозировать возможные результаты воздействия ЭИПВ с определенного расстояния.

Для оценки воздействия ЭИПВ и прогнозирования устойчивости микроэлектронных СЖАТ необходимо решение двух задач. Первая задача – определение мощности и коэффициента направленности антенны генератора ЭИПВ, необходимых для создания в месте расположения аппаратуры СЖАТ помех, превышающих порог восприимчивости этой аппаратуры. Вторая задача – определение радиуса поражения для данного генератора ЭИПВ и для данной аппаратуры СЖАТ.

При этом требуется определить величины, характеризующие порог восприимчивости ТС ЖАТ. Этот порог может быть определен косвенным способом путем моделирования на компьютере или путем непосредственного воздействия на паразитные антенны корпусов микроэлектронной аппаратуры СЖАТ импульсами генератора-имитатора помех, эквивалентными ЭИПВ известной формы.

Импульсы испытательных генераторов чаще всего являются биэкспоненциальными. Импульсы преднамеренного воздействия имеют достаточно разнообразные формы. Параметры импульсов преднамеренного воздействия, эквивалентных воздействовавшим на паразитные антенны биэкспоненциальным импульсам, целесообразно определять по спектрально-энергетическому способу вывода условий эквивалентности импульсов [3].

Для проведения натурных испытаний планируется использовать специально изготовленный макет (или корпус промышленного компьютера). Макет имитирует корпус промышленного компьютера с неоднородностями (технологические отверстия и щели между элементами корпуса). Внутри корпуса располагается антенна ближнего поля, подключенная к цифровому осциллографу (входного сопротивления – 50 Ом) [4]. Альтернативным вариантом является использование вместо антенны платы с типовыми для микроэлектронных СЖАТ элементами и микросхемами для определения порога восприимчивости ТС ЖАТ.

Поле ЭСР создается специальным генератором электростатического разряда в соответствии с ГОСТ Р 50607, ГОСТ 30804.4.2. Плоскость антенны располагается и на различном расстоянии от неоднородности и под разными углами к плоскости неоднородности. В результате экспериментов получаются осциллограммы напряжения в антенне в условиях воздействия помехи, вызванной ЭСР, верхний график – 5 нс/дел., нижний график – 20 нс/дел. (рисунок 1).



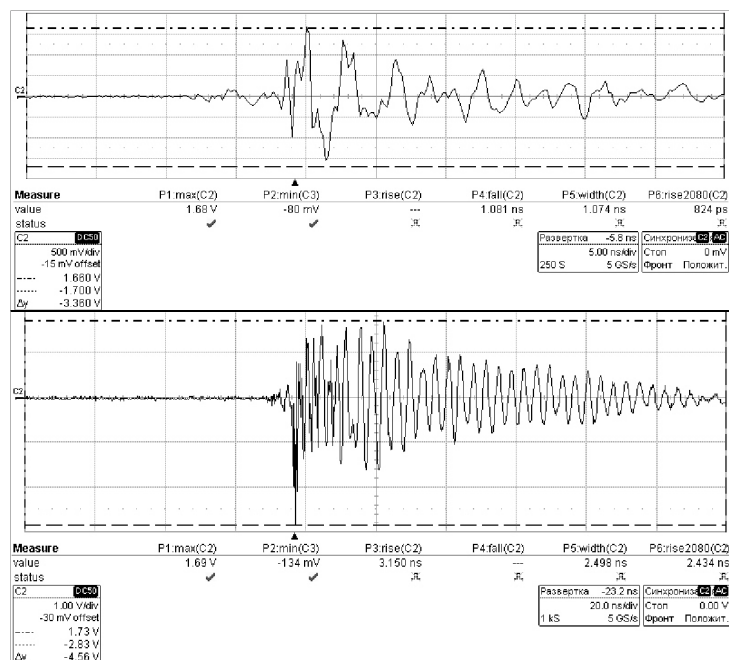


Рисунок 1 – Осциллограммы импульсов

Достоинство описанного метода определения порога чувствительности МСЖАТ с помощью генератора ЭСР заключается в том, что исходные данные для прогнозирования воздействия генераторов ЭИПВ можно получить без проведения разрушающих испытаний МСЖАТ с помощью уникальных дорогостоящих генераторов ЭИПВ.

Таким образом, третий метод, основанный на использовании условий эквивалентности импульсов помех и полученных аналитических моделей механизма проникновения электромагнитных наносекундных импульсов помех, позволяет на ранних этапах разработки и изготовления опытных образцов МСЖАТ прогнозировать их устойчивость к ЭИПВ и определять параметры периметров охраны объектов расположения МСЖАТ.

#### Список литературы

- 1 **Фоминич, Э. Н.** Электромагнитный терроризм. Новая угроза для информационно-управляющих систем / Э. Н. Фоминич, Д. Р. Владимиров // Военный инженер. – 2016. – № 2. – С. 10–17. – EDN YLYICP.
- 2 **Бочков, К. А.** Прогнозирование устойчивости микросистем железнодорожной автоматики и телемеханики к электромагнитным импульсам преднамеренного воздействия / К. А. Бочков, Д. В. Комнатный, И. О. Жигалин // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2022. – № 2(45). – С. 11–14.
- 3 **Бочков, К. А.** Элементы моделирования электромагнитной совместимости устройств железнодорожной автоматики и телемеханики / К. А. Бочков, Д. В. Комнатный. – Гомель : БелГУТ, 2013. – 185 с.
- 4 **Костин, А. В.** Методика измерения помех в цепях бортовой аппаратуры комических аппаратов, вызванных электромагнитным полем электростатического разряда / А. В. Костин, М. Н. Пиганов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2015. – Т. 17, № 2-4. – С. 804–810. – EDN UMEJIL.

УДК 656.25

## ПРОБЛЕМЫ ОЦЕНКИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ СИСТЕМ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ

*К. А. БОЧКОВ, С. Н. ХАРЛАП*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В настоящее время наблюдается активное использование систем технического зрения (СТЗ) в системах железнодорожной автоматики и телемеханики (СЖАТ). Типовыми задачами СТЗ являются: распознавание, идентификация, обнаружение, восстановление 3D-формы по 2D-изображениям, оценка траектории движения объекта. В СЖАТ решение этих задач может быть частью функций

безопасности, таких как обнаружение и распознавание препятствий движению железнодорожного транспорта, определение расстояния до препятствия, определение скорости и направления движения объектов, не выполнение которых может стать причиной опасного отказа системы автоматики.

Так как требования функциональной безопасности закреплены в соответствующих нормативных документах – МЭК 61508, EN 50126, EN 50129, ГОСТ 34012, являются обязательными для систем управления ответственными технологическими процессами, к числу которых относятся и СЖАТ, то для подтверждения выполнения этих требований разработчик предоставляет на экспертизу документ «Доказательство безопасности». Чаще всего требования функциональной безопасности задаются в виде уровня полноты безопасности (УПБ или *SIL*) и/или интенсивности либо вероятности опасных отказов.

Типовыми причинами нарушения требований функциональной безопасности, делающими невозможным выполнение функций безопасности, могут быть:

- отказы аппаратуры;
- искажения информации (при хранении или передаче);
- внешние влияния (электромагнитные, механические, климатические и т. д.), вызывающие отказы и сбои аппаратуры и искажения информации;
- ошибки человека при проектировании аппаратного и/или программного обеспечения;
- ошибки человека при эксплуатации оборудования.

Оценку влияния отказов принято выполнять по следующему алгоритму:

1 На основе анализа рисков, функциональной (принципиальной) схемы устройства, алгоритмов работы системы и средств диагностики выполняется анализ *FMECA*, в результате выполнения которого оцениваются последствия отказов (как одиночных, так и множественных). Последствия классифицируют по следующим категориям: опасные, защитные, обнаруживаемые и необнаруживаемые диагностикой, маскируемые (не влияющие на безопасность), отказы системы диагностики.

2 Строятся деревья опасных отказов (для каждой функции, критерия опасного отказа, отдельного функционального модуля или устройства в целом) и выполняется расчет интенсивности опасных отказов.

3 Выполняется оценка (сравнение с нормативными значениями для установленного УПБ или требованиями ТЗ).

Хотя алгоритм оценки влияния отказов хорошо проработан, но при практическом использовании очень часто возникают проблемы с определениями базовых интенсивностей отказов элементов, участвующих в расчетах показателей безопасности. Одной из распространенных ошибок разработчиков как раз и является желание все эти отказы оценить одним и тем же общим методом через вычисление интенсивности опасных отказов.

С интенсивностями отказов аппаратуры обычно проблем не возникает, т. к. их можно получить из различных источников: стандарта *MIL-HDBK-217*, справочника «Надежность ЭРИ», от производителей компонентов. Интенсивность искажений информации при передаче по различным интерфейсам также можно достаточно точно оценить на основании данных из нормативных документов и открытых источников. А вот с определением интенсивности ошибок человека при проектировании и при эксплуатации часто возникают проблемы.

Часто чтобы решить эти проблемы, разработчики начинают вводить множество допущений, пытаясь оценить такие отказы количественно (через интенсивность или вероятность отказов), используя в том числе различные статистические методы. Однако необходимо помнить, что статистические данные допускается использовать для обоснования (выбора) УПБ (например, принцип *GAMAB*), но не для подтверждения достигнутого уровня, т. к. в этом случае статистическая выборка предоставляет усредненное значение отказов для различных действующих систем, выполняющих аналогичные функции. Причем для новой разработки показатели ее работы не включены в выборку, т. к. для нее еще нет статистики отказов. А конкретная система может иметь показатели как значительно лучше, так и значительно хуже. Исключением является случай использования оборудования, для которого ранее уже был подтвержден УПБ.

Стандартом допускается использование адекватных статистических данных по отказам системы при эксплуатации (принцип «Доказано практикой»), однако, чтобы подтвердить достигнутый УПБ для доверительного интервала 70 %, необходимо продемонстрировать работу системы без опасных отказов в течение 12 лет для УПБ1 (12 тысяч лет для УПБ4), что для новой системы является недо-

стижимым. Поэтому такое применение статистических методов для оценки функциональной безопасности некорректно.

Рассмотрим теперь систему технического зрения, применяемую для выполнения функций безопасности, например, для обнаружения препятствий перед транспортным средством. В общем случае система технического зрения с точки зрения функциональной безопасности состоит из следующих функциональных модулей:

- датчики (камеры, радары, лидары и т. д.);
- устройства первичной обработки информации, выполняющие фильтрацию первичных данных и позволяющие исключить из дальнейшей обработки объекты, обнаруженные вне контролируемой зоны и иные постоянно обнаруживаемые объекты, характерные для конкретного применения, например, определенные объекты инфраструктуры, набор которых определяется на этапе начальной калибровки системы технического зрения;
- устройства обработки информации, которые выполняют функции классификации обнаруженного объекта (нейронная сеть), вычисления количественных характеристик (расстояние, местоположение, скорость и направление движения и т. д.);
- устройство управления, которое принимает решение о наличии препятствия (т. е. является ли препятствием обнаруженный объект или нет).

При этом критерием опасного отказа является необнаружение (пропуск) препятствия в зоне контроля при его фактическом наличии в этой зоне.

Рассмотрим возможные отказы функциональных модулей, которые могут привести к опасному отказу. Условно все эти отказы можно разделить на две категории:

- случайные отказы, например, аппаратный отказ датчика, искажения информации, отказы по общей причине;
- систематические отказы, возникающие до установки или в период установки системы, например, неправильный выбор датчиков, неправильная установка датчика, ошибки в программном обеспечении датчика, недостаточность средств защиты информации от искажений, и систематические отказы, возникающие во время эксплуатации, например, неверные конфигурационные данные, изменение параметров установки датчика.

При определении уровня полноты безопасности должны учитываться все причины отказов как случайных, так и систематических. В связи с этим, общая оценка соответствия системы требованиям функциональной безопасности заключается в проверке как соответствия количественных показателей (интенсивности случайных опасных отказов), так и соответствия применяемых мер защиты от систематических отказов (стойкость к систематическим отказам (*systematic capability*)).

При этом надо помнить, что методы оценки показателей функциональной безопасности для случайных и систематических отказов значительно отличаются. Это связано с тем, что стандарт декларирует, что систематические отказы (влияние человеческого фактора) невозможно оценить количественно. Защита от систематических отказов обеспечивается на качественном уровне за счет выполнения различных мероприятий на разных стадиях жизненного цикла, начиная с анализа рисков и заканчивая подтверждением соответствия и приемкой в эксплуатацию, что закреплено в специальном документе «Программа обеспечения безопасности». Соответственно для каждой категории в соответствии с МЭК61508 необходимо применять разные группы методов защиты и желательно их не смешивать между собой.

Все мероприятия по защите от систематических отказов в соответствии с МЭК 61508 (приложения А и В) имеют рекомендации по применению для различных уровней УПБ (*M, HR, R, NR*) и требуемый уровень эффективности (*L, M, H*). Соответственно процедура подтверждения соответствия УПБ состоит в том, что разработчик должен подтвердить применение всех рекомендованных стандартом для этого УПБ методов и средств по защите от систематических отказов.

К сожалению, для систем технического зрения практически невозможно выполнить разработку «с нуля». В любом случае будут использоваться готовые изделия сторонней разработки: камеры, лидары, нейронные сети, вычислители и т. д. Соответственно систематические ошибки в этих изделиях будут зависеть от тех мероприятий, которые выполнял их разработчик, и повлиять на них в сторону усиления мы уже не можем. Таким образом, эти изделия уже имеют собственный УПБ, который и надо учитывать при подтверждении соответствия всей системы в целом.

При этом надо учитывать, что МЭК 61508 прямо говорит, что одноканальное исполнение без специальных архитектурных решений может обеспечить максимум УПБ2. Поэтому разработки сторонних организаций (если обратное не подтверждается соответствующим сертификатом) не могут иметь УПБ выше УПБ2 (а чаще ограничиваются УПБ1). Достижение более высокого УПБ должно базироваться на специальных архитектурных методах, например, дублировании. Однако при этом надо помнить, что если несколько элементов с различными УПБ участвуют в выполнении функции безопасности последовательно, то результирующий УПБ будет равен наименьшему УПБ.

Повысить УПБ можно, только используя многоканальное построение (например, дублирование). В этом случае УПБ системы в наилучшем случае (при выполнении всех мероприятий по защите от систематических отказов) может достигать суммы УПБ отдельных каналов. Но при этом следует учитывать, что на результат оказывают сильное влияние отказы по общей причине. В многоканальной структуре такие отказы принято считать опасными. Интенсивность отказов по общей причине обычно составляет 1–5 % от интенсивности опасных отказов аналогичной одноканальной системы, поэтому без дополнительных мероприятий максимум чего можно достичь, это увеличения большего УПБ на единицу. Дополнительного повышения УПБ можно достичь, например, применением диверситета, который позволяет значительно снизить влияние отказов по общей причине на общую безопасность системы.

Таким образом, можно сформулировать основные подходы к оценке показателей функциональной безопасности систем технического зрения:

1) оценка правильности выбора УПБ системы и компонентов, оценка полноты и корректности критериев опасных отказов и требуемых количественных показателей функциональной безопасности (могут быть использованы статистические методы, например, принцип GAMAB, и требования нормативных документов);

2) оценка полноты перечня мероприятий по защите от систематических отказов, выполняемых на каждом этапе ЖЦ (для системы в целом в соответствии с установленным УПБ);

3) оценка корректности определения УПБ сторонних компонентов (при отсутствии сертификата – не более УПБ2), и оценка полноты перечня мероприятий по защите от систематических отказов на уровне отдельных разрабатываемых компонентов (в соответствии с установленным УПБ для компонента);

4) оценка влияния систематических отказов для системы, определение стойкости к систематическим отказам (*systematic capability*);

5) оценка влияния случайных отказов (выполнение анализа *FMECA*, построение деревьев отказов и расчет количественных показателей функциональной безопасности на уровне одноканальных компонентов);

6) оценка влияния отказов по общей причине для многоканальных компонентов;

7) оценка влияния случайных отказов для системы в целом (расчет общих количественных показателей функциональной безопасности и сравнение количественных показателей с нормативными значениями для установленного УПБ или требованиями технического задания);

8) принятие решения о соответствии системы заданному УПБ (стойкость к систематическим отказам соответствует УПБ, количественные показатели соответствуют УПБ).

УДК 621.314

## **ДИАГНОСТИКА ТРАНСФОРМАТОРОВ С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ**

*И. Л. ГРОМЫКО, Д. В. МИРОШ, К. Я. ШАБЛОВСКИЙ, И. Е. МОНАРХОВИЧ*  
*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

На сегодняшний день более 50 % трансформаторов системы электроснабжения железнодорожной отрасли страны отработали 25 лет – установленный согласно [1] срок службы. Многие из таких трансформаторов могут эксплуатироваться еще длительное время, однако в этом случае должны предъявляться повышенные требования к методам диагностики их технического состояния.

Цель исследования – разработка программного и аппаратного (на базе энергометров) обеспечения для определения технического состояния трансформаторов системы электроснабжения.

Для реализации данной цели было разработано программное обеспечение для мониторинга текущего состояния трансформатора с помощью сверточных нейронных сетей [2]. Аппаратное обеспечение состоит из двух энергометров PZEM-004T-100A, которые считывают данные (напряжение, ток, активная мощность и коэффициент мощности) с первичной и вторичной обмоток трансформатора и передают их на компьютер.

В основе программного обеспечения лежит алгоритм, который с помощью сверточных нейронных сетей сравнивает текущее состояние трансформатора с нормальным. Данные для нормального трансформатора формируются на основе введенных параметров и его Т-образной схемы замещения. В то же время данные для текущего состояния берутся напрямую с энергометров. Далее идет параллельная обработка текущего и нормального состояний.

Из-за различного рода помех определить по отдельным данным нормальное или ненормальное состояние достаточно проблематично, поэтому для минимизации влияния помех лучше всего использовать отношения напряжений, токов, активных мощностей и коэффициентов мощностей, между первичной и вторичной обмотками трансформатора. Используя линейную нормализацию и библиотеку OpenCV, алгоритм преобразует полученные отношения в изображения. Затем происходит наложение изображений нормального и текущего состояний и анализ с помощью сверточных нейронных сетей. Результат наложения изображений по отношению токов представлен на рисунке 1.

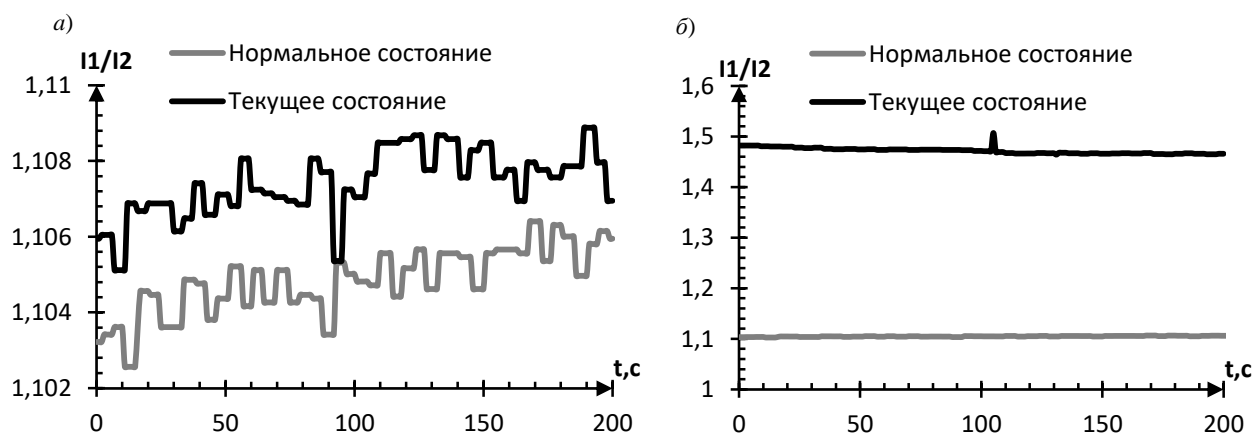


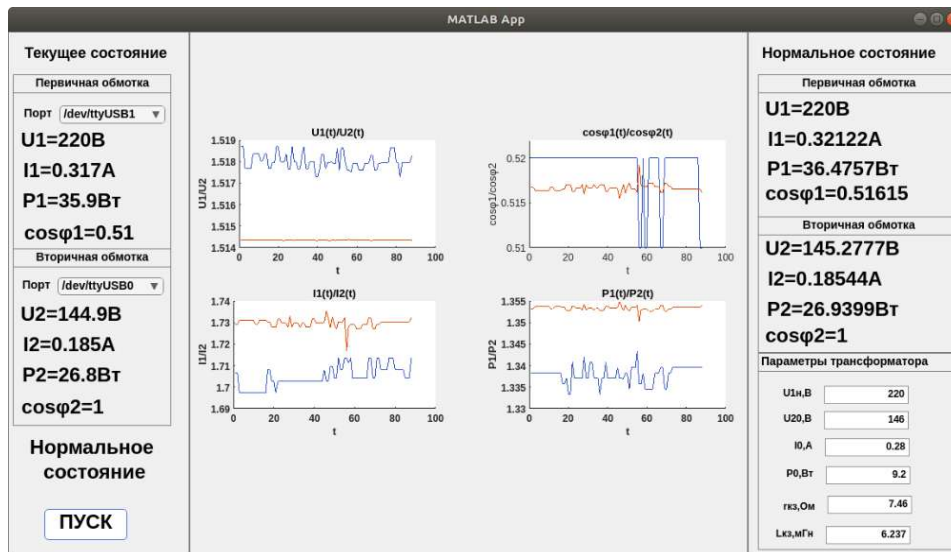
Рисунок 1 – Результат наложения изображений по отношению токов между первичной и вторичной обмотками при нормальном (а) и ненормальном (б) состояниях трансформатора

Если отношения токов, снятые с трансформатора при его текущем состоянии, практически не отличаются от данных, снятых при его нормальном состоянии (см. рисунок 1, а), то можно сделать вывод, что трансформатор находится в нормальном состоянии. В противном случае (см. рисунок 1, б), можно сделать вывод о недопустимом техническом состоянии. Однако этого вывода недостаточно для оценки состояния трансформатора. Поэтому аналогичные изображения формируются ещё на основании отношений активных мощностей и коэффициентов мощностей. Отношения напряжений не используются из-за малой информативности.

Полученные изображения затем передаются на входы трех сверточных нейронных сетей. Первая нейронная сеть отвечает за мониторинг состояния трансформатора на основании отношений токов, вторая сеть отвечает за отношения активных мощностей, а третья – за отношения коэффициентов мощностей. На выходе, нейронные сети выдают только два числа: «0» (нормальное состояние) и «1» (ненормальное состояние). Если первая и вторая (или третья) нейронные сети выдали «1», то алгоритм делает вывод о нормальном состоянии трансформатора. В противном случае – трансформатор неисправен.

Для проверки работы программного обеспечения были произведены эксперименты с трансформатором ТС-280Р. На данном трансформаторе выполнялось и обучение сверточных нейронных сетей. Результаты работы программного обеспечения приведены на рисунке 2.

а)



б)

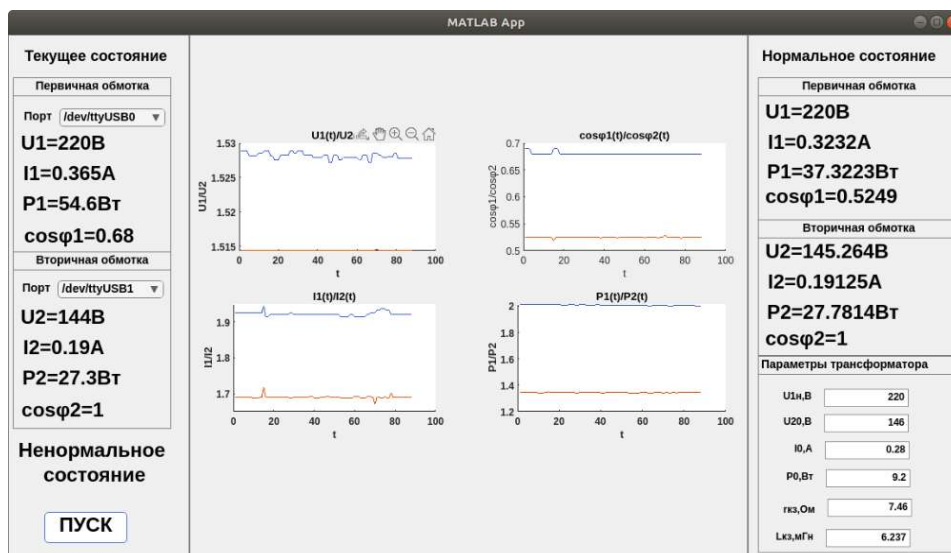


Рисунок 2 – Работа программы при нормальном (а) и ненормальном (б) состояниях

На четырех диаграммах представлены графики зависимостей отношений от времени процесса проверки. На каждой диаграмме синим цветом отмечен график при нормальном состоянии трансформатора, оранжевым – при ненормальном. Время процесса проверки измеряется в секундах. После ввода параметров трансформатора указания портов подключения энергометров к компьютеру и нажатия кнопки «ПУСК» программное обеспечение выдает информацию о состоянии трансформатора.

Применение разработанного программного обеспечения в диагностике систем энергоснабжения позволит контролировать состояние трансформаторов в режиме реального времени, не выводя их из работы. Это предоставляет дополнительные возможности в обеспечении низкого уровня безаварийности и соблюдения режимов бесперебойного электроснабжения, что позволит избежать значительных экономических и экологических издержек или реального ущерба для потребителей.

#### Список литературы

1 ГОСТ 11677-85. Трансформаторы силовые. Общие технические условия. – Введ. 1986-07-01. – М. : Изд-во стандартов, 2002. – 39 с.

2 Пехота, А. Н. Диагностика трансформаторов с помощью сверточных нейронных сетей / А. Н. Пехота, В. Н. Галушко, И. Л. Громыко // Энергоэффективность. – 2021. – № 2. – С. 30–36.

## **СЖАТИЕ ВИДЕОИНФОРМАЦИИ В СИСТЕМЕ ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТИ ПРОТЯЖЁННЫХ ОБЪЕКТОВ**

*Р. Р. ДИЯЗИТДИНОВ, Н. Н. ВАСИН*

*Самарский государственный университет путей сообщения, Российская Федерация*

Система измерения скорости движения протяженных объектов является составной частью системы управления торможением вагонов на сортировочной горке и автоматизированного составления натур-листов железнодорожных составов (распознавание номеров вагонов).

Эта система базируется на видеосъемке, обеспечивающей [1]:

- высокое разрешение;
- съемку с глобальным затвором (global shutter).

Высокое разрешение необходимо для обеспечения высокой детализации.

Глобальный затвор необходим для исключения «размытых» кадров и искажений вида «смещений отдельных частей движущегося объекта внутри одного кадра», как это происходит при построчном считывании кадра (rolling shutter).

Исходной информацией для измерений и распознавания объектов является видеопоток, снимаемый видеокамерой. Видеопоток в свою очередь может быть сохранен в памяти как видеофайл и использоваться для хранения в библиотеке данных. Для хранения видеофайлов необходимо иметь устройство хранения большой емкости. А для использования этой библиотеки необходимо иметь специализированную программу индексации для быстрого доступа к интересующей информации (видеофайлу, записанному в интересующий день).

Работа с большим архивом крайне неудобна, так как связана с передачей данных, копированием и хранением. По этой причине актуальной задачей становится сжатие данных [2]. Стандартным средством является использование кодеков. Однако даже использование кодеков не обеспечивает существенного сжатия данных. Также использование кодеков не решает задачу быстрого поиска информации, так как чтобы найти интересующий вагон даже по известной дате записи, необходимо просмотреть весь видеофайл.

Одним из возможных решений этих проблем является замена видеофайла на панорамное изображение, фрагменты которого соответствуют изображению протяженного объекта, появившемуся на текущем кадре, но которого не было на предыдущем кадре. Панорама будет содержать полное изображение всего железнодорожного состава, зафиксированного видеокамерой. Каждый фрагмент панорамы является уникальным, и он не содержит дублирующей информации, как в видеофайле, что обеспечивает меньший объем сохраняемых данных.

Немаловажным является и время просмотра панорамного изображения, которое в разы меньше, чем просмотр видеофайла. Формирование панорамы тесно связано с вопросами оценки перемещения и скорости движения протяженных объектов. Оценивание – это вероятностный процесс, который имеет характеристику – погрешность оценки.

С точки зрения оператора формирование панорамы с погрешностью смещений порядка 1-2 пикселей будет являться приемлемым качеством, так как буквенно-цифровые обозначения будут отчетливо видны на изображении. Однако в случае возникновения погрешностей в 10 и более пикселей подобные панорамы не будут удовлетворять оператора.

По этой причине, точно также как вопрос точности измерения скорости, актуальным является вопрос точности оценки смещений, определяющий панорамное изображение. Высокая погрешность измерений смещений протяженных объектов связана с некоторыми особенностями обрабатываемых изображений.

Во-первых, они содержат протяженные области, которые соответствуют однородным по яркости поверхностям. Другими словами, если взять два разных фрагмента протяженного объекта с такой поверхности, то они будут похожи друг на друга. Поэтому при обработке существует достаточно высокая вероятность оценки смещений с высокой погрешностью [3].

Во-вторых, увеличение фрагмента с целью уменьшения вероятности «попадания» на однородную по яркости поверхность также не гарантирует уменьшение погрешности. В кадре протяженный

объект располагается не все время. В некоторых кадрах наряду с протяженным объектом фиксируется и задний неподвижный план. Если фрагмент будет содержать и протяженный объект и задний план, то часть фрагмента будет «стараться» оценить смещение, а часть фрагмента будет «стараться» оставаться неподвижной, так как задний план неподвижен. Что также приводит к увеличению погрешности [4].

Таким образом, для оценки смещений не существует однозначных рекомендаций к размерам фрагмента.

Однако анализ выявленных причин погрешностей позволяет сформулировать требования к самим фрагментам.

Во-первых, фрагмент не должен соответствовать однородной по яркости поверхности объекта, то есть во фрагменте должны наблюдаться перепады яркости. Это требование можно выполнить, если сравнить выбранные фрагменты по дисперсии [5]. Те, что будут характеризоваться низкой дисперсией – не использовать для оценки смещений.

Во-вторых, фрагмент не должен включать задний план. Для выполнения этого требования можно формировать изображение заднего плана в то время, пока в кадре не фиксируется протяженный объект. За счет сравнения изображения заднего плана и фрагментов можно отбрасывать фрагменты, которые содержат задний план и приводят к высокой погрешности оценки смещений.

Указанные предложения были реализованы в алгоритме обработки. Апробация алгоритма в программном обеспечении показала уменьшение погрешности и повышение качества панорамного снимка. Возвращаясь к первоначальной задаче уменьшения объема данных за счет формирования панорамы, был проведен соответствующий анализ для определения эффективности сжатия данных на основе эксперимента с 10 видеозаписями. Во всех случаях сжатие с помощью панорамы обеспечило почти десятикратное уменьшение объема информации.

Таким образом, предложенный способ может быть использован для внедрения в системы хранения данных, используемых для видеоконтроля железнодорожного транспорта.

#### Список литературы

- 1 Макарецкий, Е. Телевизионные измерительные системы контроля скоростного режима дорожного движения / Е. Макарецкий, А. Овчинников, Л. Хиеунгуен // Компоненты и технологии. – 2007. – № 4 (69). – С. 34–37.
- 2 Васин, Н. Н. Метод обработки видеосигналов для измерения скорости протяженных объектов / Н. Н. Васин, В. Ю. Куринский // Инфокоммуникационные технологии. – 2010. – Т. 8, № 2. – С. 36–39.
- 3 Васин, Н. Н. Способ измерения скорости движения протяжённых объектов / Н. Н. Васин, В. Ю. Куринский // Патент на изобретение РФ № 2398240. Оpubл. 27.08.2010.
- 4 Дязитдинов, Р. Р. Использование фрагментов телевизионного изображения системы технического зрения для верификации повышения помехоустойчивости измерений скорости протяженного объекта / Р. Р. Дязитдинов, Н. Н. Васин // Труды учебных заведений связи. – 2022. – Т. 8, № 1. – С. 10–17. – DOI:10.31854/1813-324X-2022-8-1-10-17
- 5 Дязитдинов, Р. Р. Способ измерения скорости движения протяжённых объектов / Р. Р. Дязитдинов, Н. Н. Васин // Патент РФ № 2747041; заявка 2020122948/28; заявл. 10.07.2020; опубл. 23.04.2021.

УДК 004.052.32+681.518.5

### САМОДВОЙСТВЕННЫЕ СТРУКТУРЫ С КОРРЕКЦИЕЙ ОШИБОК В ВЫЧИСЛЕНИЯХ НА ОСНОВЕ ЛОГИЧЕСКОГО ДОПОЛНЕНИЯ ДЛЯ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

*Д. В. ЕФАНОВ*

*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Российская Федерация  
Российский университет транспорта, г. Москва*

Одним из подходов к синтезу самопроверяемых цифровых устройств является использование контроля вычислений по признаку самодвойственности вычисляемых функций [1]. Его использование на практике позволяет не только обеспечивать обнаружение неисправностей в устройствах, но и, как показано в [2], значительно повышать показатели контролепригодности структуры устройства за счет увеличения числа тестовых комбинаций среди рабочих (повышения показателей наблюдаемости). Это особенно важно при реализации устройств в составе систем критического



применения (атомной промышленности, систем управления в авиации и в космосе, систем обеспечения безопасности на транспорте и др.), так как позволяет исключать накопление неисправностей и, как следствие, возможные опасные нарушения при реализации функций и алгоритмов [3, 4].

В [5] предложена самодвойственная структура отказоустойчивого устройства, основанная на использовании контроля вычислений по паритету и базирующаяся на принципах логического дополнения. Сам метод логического дополнения описан в [6]. Здесь он применен для построения блока вычисления контрольных функций в структуре блока фиксации искаженных сигналов. В [7] предложены структуры организации отказоустойчивых устройств на основе логического дополнения с контролем вычислений по паритету. Развивая идею, освещенную в этой статье, можно предложить семейство структур отказоустойчивых устройств с контролем вычислений по признаку самодвойственности вычисляемых функций. При этом рассматриваются одиночные неисправности, которые могут возникать только в отдельных функциональных блоках. Семейство включает в себя:

- 1) структуру отказоустойчивого устройства, основанную на методе дублирования с самодвойственным контролем вычислений основным блоком;
- 2) структуру отказоустойчивого устройства, основанную на методе дублирования с самодвойственным контролем вычислений блоком контрольной логики;
- 3) структуру отказоустойчивого устройства, основанную на использовании логического дополнения при реализации блока фиксации искаженных сигналов с контролем вычислений основным блоком;
- 4) структуру отказоустойчивого устройства, основанную на использовании логического дополнения при реализации блока фиксации искаженных сигналов с контролем вычислений блоком контрольной логики;
- 5) обобщенную структуру отказоустойчивого устройства с контролем вычислений по признаку самодвойственности формируемых функций.

Опишем последнюю (рисунок 1). В данной структуре укрупненно можно выделить три функциональных блока. Устройство  $F(x)$  представляет собой исходный объект, для которого решается задача синтеза отказоустойчивой структуры. Блок коррекции сигналов (БКС) предназначен для исправления значений неверно вычисленных устройством  $F(x)$  функций. Блок фиксации искаженных сигналов (БФИС) определяет, какие из функций требуется корректировать. БФИС имеет особую реализацию. В его составе есть блок логического дополнения  $G(x)$ , блок вычисления функций коррекции  $R(x)$ , два каскада устройств сравнения (элементы  $XOR a_i, i = \overline{1, m}$ ) и коррекции (элементы  $XOR b_i, i = \overline{1, m}$ ). В обобщенной структуре контролируются вычисления блоками  $G(x)$  и  $R(x)$  по методу «самодвойственного паритета» [8]. Для контроля вычислений установлен кодер кода паритета  $P(f)$ , реализующий функцию  $\psi = g_1 \oplus g_2 \oplus \dots \oplus g_{m-1} \oplus g_m \oplus r_1 \oplus r_2 \oplus \dots \oplus r_{m-1} \oplus r_m$ , которая преобразуется в самодвойственную по формуле:  $v = \psi \oplus \delta$ . Функцию  $\delta$  вычисляет специальный блок самодвойственного дополнения. Методы ее вычисления приведены, например, в [9]. Контроль самодвойственности функции  $v$  осуществляется с помощью тестера самодвойственности  $SSC$  (*self-dual self-checking checker*), принцип действия которого описан в [10]. На выходах тестера формируется парафазный сигнал  $z^0 z^1 = 01$  или  $z^0 z^1 = 10$  в том случае, если ошибок в вычислениях нет; в противном случае, при наличии ошибок, будет зафиксирован непарафазный сигнал. Выходы  $SSC$  подключены к входам элемента  $XOR$ , на выходе которого формируется сигнал ошибки  $\varepsilon$ . При этом выполняется равенство:  $\varepsilon = \left( (z^0 = 0) \oplus (z^1 = 0) \right) \vee \left( (z^0 = 1) \oplus (z^1 = 1) \right) = 0$ . Если схема встроенного контроля зафиксировала ошибку, то БКС не должен производить коррекцию функций, поскольку ошибка присутствует в БФИС, а не в  $F(x)$ . Если же схема контроля выдает сигнал логической единицы, то это означает исправность БФИС. Возникающая неисправность в блоке  $F(x)$  приведет к несоответствию значений функций с одинаковыми индексами, вычисляемыми на выходах блоков  $F(x)$  и  $G(x)$ , а также к выделению на элементах  $XOR b_i, i = \overline{1, m}$  тех функций, значения которых требуется скорректировать. Формирование сигнала логической единицы на выходе элемента  $b_i$  является сигналом к коррекции значения  $i$ -й функции, которая и осуществляется в БКС.

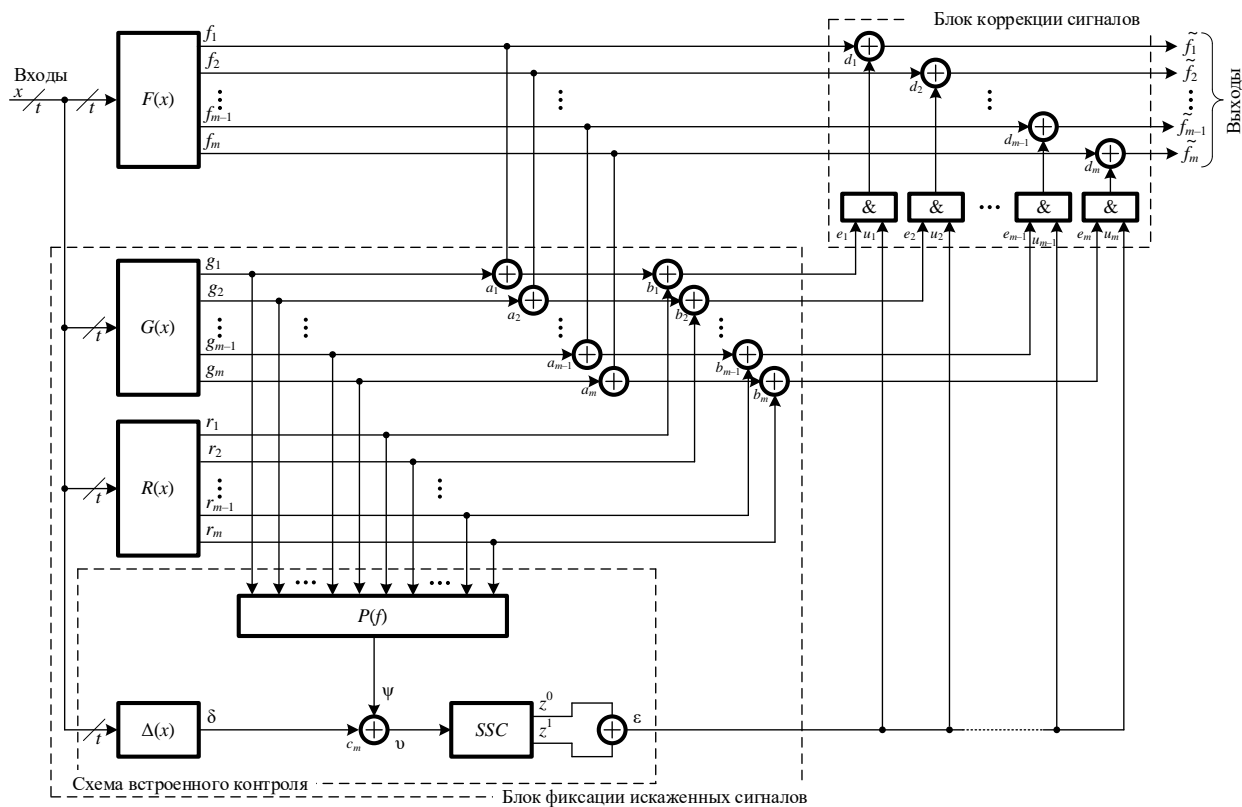


Рисунок 1 – Обобщенная структура отказоустойчивого устройства с контролем вычислений по признаку самодвойственности формируемых функций

Исследование представленной структуры и различных ее модификаций показали эффективность коррекции, однако выявили некоторые особенности:

1) в структуре осуществляется «групповая коррекция значений функций» – если ошибка вызывает искажения значений нескольких функций происходит исправление всех этих функций одновременно, а не части из них;

2) ошибки на выходах элементов в структуре БКС не корректируются, что требует реализации их по особым принципам (высоконадежными) [11];

3) контроль вычислений по паритету приводит к маскировке ошибок с четными кратностями, что требует реализации схемы контроля по паритету с выделением групп независимых выходов [12] или же применения другого кода для контроля вычислений [13].

Развитие методов синтеза самопроверяемых и отказоустойчивых цифровых устройств способствует совершенствованию технологий реализации надежных и безопасных микропроцессорных систем управления.

#### Список литературы

1 Reynolds, D. A. Fault Detection Capabilities of Alternating Logic / D. A. Reynolds, G. Meize // IEEE Transactions on Computers. – 1978. – Vol. C-27. – Issue 12. – P. 1093–1098. – DOI: 10.1109/TC.1978.1675011.

2 Ефанов, Д. В. Исследование свойств самодвойственных комбинационных устройств с контролем вычислений на основе кодов Хэмминга / Д. В. Ефанов, Т. С. Погодина // Информатика и автоматизация. – 2023. – Т. 22, № 2. – С. 349–392. – DOI: 10.15622/ia.22.2.5.

3 Checkability of the Digital Components in Safety-Critical Systems: Problems and Solutions / A. Drozd [et al.] // Proceedings of 9th IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2011). – Sevastopol, 2011. – P. 411–416. – Doi: 10.1109/EWDTS.2011.6116606.

4 Сапожников, Вл. В. Синтез систем управления движением поездов на железнодорожных станциях с исключением опасных отказов / Вл. В. Сапожников. – М. : Наука, 2021. – 229 с.

5 Ефанов, Д. В. Самодвойственная отказоустойчивая структура для комбинационных составляющих микроэлектронных систем управления / Д. В. Ефанов // Проблемы безопасности на транспорте : материалы XI междунар. науч.-практ. конф.: в 2 ч. Ч. I / под общ. ред. Ю. И. Кулаженко. – Гомель : БелГУТ, 2021. – С. 188–191. – ISBN 978-985-891-052-5 (ч. 1).

6 Логическое дополнение – новый метод контроля комбинационных схем / М. Гессель [и др.] // Автоматика и телемеханика. – 2003. – № 1. – С. 167–176.

7 **Ефанов, Д. В.** Отказоустойчивые структуры цифровых устройств на основе логического дополнения / Д. В. Ефанов, В. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников // Автоматика и телемеханика. – 2021. – № 8. – С. 140–158. – DOI: 10.31857/S0005231021080079.

8 Self-Dual Parity Checking – a New Method for on Line Testing / Vl. V. Saposhnikov [et al.] // Proceedings of 14th IEEE VLSI Test Symposium. – USA, Princeton: 1996. – P. 162–168.

9 Самотестируемая структура для функционального обнаружения отказов в комбинационных схемах / М. Гессель [и др.] // Автоматика и телемеханика. – 1999. – № 11. – С. 162–174.

10 **Ефанов, Д. В.** Самодвойственный контроль комбинационных схем с применением кодов Хэмминга / Д. В. Ефанов, Т. С. Погодина // Проблемы разработки перспективных микро- и наноэлектронных систем (МЭС). – 2022. – № 3. – С. 113–122. – DOI: 10.31114/2078-7707-2022-3-113-122.

11 **Гавзов, Д. В.** Методы обеспечения безопасности дискретных систем / Д. В. Гавзов, В. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников // Автоматика и телемеханика. – 1994. – № 8. – С. 3–50.

12 **Согомонян, Е. С.** Самопроверяемые устройства и отказоустойчивые системы / Е. С. Согомонян, Е. В. Слабаков. – М.: Радио и связь, 1989. – 208 с.

13 **Сапожников, В. В.** Теория синтеза самопроверяемых цифровых систем на основе кодов с суммированием / В. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, Д. В. Ефанов. – СПб.: Лань, 2021. – 580 с.

УДК 621.3.019.3+656.25

## **ТЕХНОЛОГИИ УВЯЗКИ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ С СИСТЕМАМИ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ПОЕЗДОВ**

*Д. В. ЕФАНОВ<sup>1,2</sup>, Е. М. МИХАЙЛЮТА<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup>Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Российская Федерация*

*<sup>2</sup>Российский университет транспорта, г. Москва*

Системы управления движением поездов и, в частности, технические средства железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ), реализуются в соответствии с конкретными условиями и требованиями по обеспечению безопасности перевозочного процесса [1–3]. Устройства и системы ЖАТ, как информационно-управляющие средства, обладают высокими показателями надежности и безопасности, однако они не способны автоматически учитывать многие дефекты инфраструктуры железных дорог [4]. Примеров таких дефектов множество: разворот консоли на опоре контактной сети в габарит приближения строений, расширение колеи, дефекты мостовых сооружений, попадание в габарит приближения строений горных пород в скалистой местности и т. д. Во многих случаях даже внимания машиниста или поездного диспетчера может оказаться недостаточно для предотвращения аварии или катастрофы. Следует признать, что система ЖАТ имеет недостаточное количество информации об объектах инфраструктуры для обеспечения безопасности движения поездов.

Наверное, поворотным моментом в смысле организации «общения» между стационарными средствами мониторинга и средствами управления движением поездов стал случай разрушения мостового сооружения, произошедший 1 июня 2020 года на Октябрьской железной дороге в Российской Федерации [5]. Напомним, что на мосту через реку Кола в Мурманской области (1436 км 1 пк Октябрьской железной дороги) в результате внешних дестабилизирующих факторов произошел подмыв опоры, вызывавший разрушение мостового сооружения. Сигнал на светофоре остался разрешающим. Катастрофы удалось избежать благодаря действиям машиниста. Спустя полгода был построен новый мост, который был оборудован системой мониторинга инженерных конструкций и сооружений (СМИК) [6]. Пожеланием эксплуатирующих подразделений ОАО «РЖД» была организация увязки заградительной сигнализации мостового сооружения с установленной СМИК. Как оказалось, безопасно это сделать не так просто – требуется на уровне нормативной документации определить технологии безопасной реализации СМИК, безопасной увязки со средствами ЖАТ, обеспечения безопасного поведения участников и организаторов движения при наличии дефектов инфраструктурного комплекса [7].

В ходе исследования были установлены методы и способы организации увязки СМИК и средств обеспечения безопасности движения поездов:

- 1) с системой речевого оповещения монтеров пути;
- 2) системой диспетчерского контроля устройств и систем ЖАТ с выводом данных на пульт-табло (табло) системы электрической централизации, дежурному по станции, поездному диспетчеру;

- 3) бортовыми средствами информирования машинистов;
- 4) внешними информационными системами;
- 5) подсистемой кодирования рельсовых цепей;
- 6) бортовыми средствами безопасности локомотива;
- 7) непосредственно с заградительными сигналами;
- 8) отдельно стоящим сигналом (по типу светофора для оповещения об обнаружении перегретых буксовых узлов);
- 9) системой управления движением поездов.

Все обозначенные способы требуют детальной проработки и исследований. К примеру, увязка по типам 1–4 не подразумевает обеспечения соответствия самой СМИК ряду требований по функциональной безопасности, так как напрямую не приводит к регулированию движения поездов автоматически, а является только информационной увязкой. Однако здесь на первый план выходит человеческий фактор в обеспечении уже своевременной и корректной реакции на зафиксированный в СМИК дефект. Варианты 5–9 связаны с прямым управлением в бортовых системах обеспечения безопасности в системах ЖАТ. Они требуют доказательства безопасности технического решения. Интересным вариантом может являться специализированный сигнал, назовем его «*светофором мониторинга*». Он может быть как полевой и/или локомотивный, так и «виртуальный», формируемый программным образом. Наличие еще одного сигнала требует внесения его в Инструкцию по сигнализации на железных дорогах [8], однако выглядит, по нашему мнению, вполне следующим духу развития технологий управления движением поездов в современности.

При любых вариантах увязки требуется нормирование и детальная проработка технической и конструкторской документации СМИК и ее компонентов, а также обеспечение определенного уровня достоверности диагноза и последующего прогноза в программных средствах обработки и анализа данных! Вообще, помимо детальной проработки технологий увязки систем мониторинга с системами обеспечения безопасного движения поездов, на наш взгляд, требуется обратить внимание на такие важные составляющие:

- как разработка требований к получению, обработке и анализу данных в системах мониторинга объектов железнодорожной инфраструктуры;
- разработка требований к реализации СМИК соответствующих каким-либо уровням полноты безопасности (SIL 1–SIL 4);
- разработка теоретических основ синтеза безопасных систем управления с встроенными средствами самодиагностики и мониторинга объектов железнодорожной инфраструктуры с обеспечением обратной связи в цепях автоматики.

Увязка технических средств мониторинга объектов инфраструктуры железных дорог с системами обеспечения безопасности движения поездов – это необходимое решение для совершенствования технологий управления перевозочным процессом, а также повышения уровня безопасности всего железнодорожного комплекса.

#### Список литературы

- 1 РТМ 32 ЦШ 1115842.01-94 Безопасность железнодорожной автоматики и телемеханики. Методы и принципы обеспечения безопасности микроэлектронных СЖАТ : Руководящий технический материал / разработ. Вл. В. Сапожников [и др.]. – СПб., 1994. – 120 с.
- 2 Лисенков, В. М. Статистическая теория безопасности движения поездов / В. М. Лисенков. – М. : ВИНТИ РАН, 1999. – 331 с.
- 3 Сапожников, Вл. В. Синтез систем управления движением поездов на железнодорожных станциях с исключением опасных отказов / Вл. В. Сапожников. – М. : Наука, 2021. – 229 с.
- 4 Ефанов, Д. В. Интеграция систем непрерывного мониторинга и управления движением на железнодорожном транспорте / Д. В. Ефанов // Транспорт Российской Федерации. – 2017. – № 4. – С. 62–65.
- 5 Ефанов, Д. В. Перспективы управления движением на железнодорожных магистралях при использовании данных от систем мониторинга инженерных конструкций и сооружений / Д. В. Ефанов // Мостовые сооружения. XXI век. – 2021. – № 4 (51). – С. 17.
- 6 РЖД: мост с первой инновационной системой непрерывного мониторинга и подключением к управлению заградительным сигналом // Мостовые сооружения. XXI век. – 2021. – № 4 (51). – С. 18–19.
- 7 Ефанов, Д. В. Концептуальные основы синтеза безопасных систем управления движением поездов / Д. В. Ефанов, В. В. Хорошев, Г. В. Осадчий // Мир транспорта. – 2022. – Т. 20. – № 3 (100). – С. 50–57. – DOI: 10.30932/1992-3252-2022-20-3-6.
- 8 Инструкция по сигнализации на железнодорожном транспорте // Приложение № 7 к Правилам технической эксплуатации железных дорог РФ (введ. Приказом Минтранса России от 04.06.2012 № 162).

## МЕТОДИКА СИНТЕЗА САМОПРОВЕРЯЕМЫХ КОМБИНАЦИОННЫХ УСТРОЙСТВ С КОНТРОЛЕМ ВЫЧИСЛЕНИЙ ПО КОДАМ ХЭММИНГА С САМОДВОЙСТВЕННЫМИ ФУНКЦИЯМИ, ОПИСЫВАЮЩИМИ ПРОВЕРОЧНЫЕ СИМВОЛЫ

Д. В. ЕФАНОВ<sup>1,2</sup>, Т. С. ПОГОДИНА<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Российская Федерация

<sup>2</sup>Российский университет транспорта, г. Москва

Совершенствование технологий в области микроэлектроники позволяет сегодня реализовывать управляющие комплексы с различной сложностью и развитым функционалом. Однако действие различных дестабилизирующих факторов без надлежащего парирования их проявлений может привести к нарушениям в процессах управления и к возникновению простоев, аварий и катастроф. Именно поэтому управляющие комплексы как в промышленности, так и в транспортных системах реализуются с высоким, наперед заданным уровнем надежности и безопасности [1]. Это достигается за счет использования разнообразных подходов, в том числе, реализации высоконадежных подсистем, отдельных блоков и узлов.

Для обеспечения требуемого уровня надежности необходимо своевременно обнаруживать возникающие в аппаратных и программных компонентах дефекты. Устройства, обеспечивающие ответственные технологические процессы, реализуются с контролепригодными и самопроверяемыми структурами, что позволяет обнаруживать возникающие отказы и ошибки в вычислениях на рабочих и тестовых воздействиях.

Одним из действенных способов реализации самопроверяемых структур является импульсный режим функционирования и контроль вычислений по принадлежности формируемых в контрольных точках функций особым классам булевых функций [2–4]. В практике распространенными являются способы контроля вычислений по принадлежности вычисляемых функций классам монотонных, линейных и самодвойственных функций, а также по кодовым методам [5].

Исследования показывают, что может быть организован комплексный контроль вычислений устройствами автоматизации как по принадлежности к определенным двоичным избыточным кодам, так и по принадлежности каждой функции, описывающей проверочные символы кода, классу самодвойственных булевых функций. Например, в [6] показано, что для организации контроля вычислений могут быть использованы классические коды Хэмминга с определенными длинами кодовых слов.

Эффективным при организации контроля вычислений является использование не только кодов Хэмминга, но и любых линейных кодов. Они обладают следующим важным свойством: на выходах кодеров линейных кодов будут реализовываться самодвойственные функции в том случае, если каждая из них будет содержать нечетное количество аргументов, от которых функция зависит существенно [6]. Такие устройства будут являться *самодвойственными* [2–4]. Среди линейных кодов существуют разнообразные коды, которые обладают таким свойством. Однако далее сфокусируем внимание именно на классических кодах Хэмминга.

В ходе исследований установлено, что кодеры классических кодов Хэмминга [7], широко используемых в практике построения надежных систем, будут самодвойственными при длинах кодовых слов  $n = 3 + 4l, l \in \mathbb{N}_0$  [8]. Эту особенность кодов Хэмминга можно использовать при синтезе самопроверяемых устройств.

*Методика синтеза самопроверяемых устройств, не обладающих памятью (комбинационных устройств), с контролем вычислений по кодам Хэмминга с самодвойственными функциями, описывающими проверочные символы, содержит следующие пункты:*

1 Исходный объект диагностирования реализуется в виде самодвойственной схемы любым из известных методов, например, описанным в [9].

2 Множество  $\Psi$  выходов объекта диагностирования разбивается на подмножества  $\Omega_1, \Omega_2, \dots, \Omega_q \subseteq \Psi$  (они могут быть пересекающимися) мощностью  $n = 3 + 4l, l \in \mathbb{N}_0$  таким образом, что  $\Omega_1 \cup \Omega_2 \cup \dots \cup \Omega_q = \Psi$ , и  $q \rightarrow \min$ .

3 Синтезируется схема встроенного контроля по коду Хэмминга для каждого подмножества  $\Omega_1, \Omega_2, \dots, \Omega_q$  по двум диагностическим признакам по примеру из [6].

4 Выходы схем встроенного контроля объединяются на входах самопроверяемой схемы сжатия парафазных сигналов, реализуемых на основе элементарных модулей сжатия парафазных сигналов [5].

Исследования показывают, что контроль вычислений по двум диагностическим признакам с применением линейных кодов позволяет существенно повысить число тестовых комбинаций среди рабочих для комбинационных устройств и реализовывать более эффективно процедуру рабочего диагностирования, чем при контроле только одного из параметров. В этом случае возрастают показатели контролепригодности самого устройства в части наблюдаемости. Это немаловажный фактор, который говорит о преимуществах построения самопроверяемых устройств для критических приложений, в особенности, связанных с обеспечением безопасности протекающих технологических процессов. В качестве «основы» для синтеза самопроверяемого устройства могут быть выбраны не только коды Хэмминга, но и различные их модификации, обладающие иными диагностическими свойствами [10, 11].

Реализация высоконадежных цифровых систем с применением описанного подхода позволяет совершенствовать технологии синтеза систем критического применения, в том числе, таких, в которых входные данные меняются крайне редко, что распространено во многих отраслях промышленности (включая атомную и военную отрасли) и транспорта [12, 13].

#### Список литературы

- 1 Баранов Л. А. Методология обоснования требований безопасности при использовании систем технического зрения в интеллектуальных системах управления движением поездов / Л. А. Баранов // Материалы Междунар. науч.-практ. конф. Интеллектуальные транспортные системы. – Москва, 26 мая 2022. – С. 54–58.
- 2 Reynolds, D. A. Fault Detection Capabilities of Alternating Logic / D. A. Reynolds, G. Meize // IEEE Transactions on Computers. – 1978. – Vol. C-27. – Is. 12. – P. 1093–1098. – DOI: 10.1109/TC.1978.1675011.
- 3 Аксенова, Г. П. Восстановление в дублированных устройствах методом инвертирования данных / Г. П. Аксенова // Автоматика и телемеханика. – 1987. – № 10. – С. 144–153.
- 4 Построение самопроверяемых комбинационных схем на основе свойств самодвойственных функций / М. Гессель [и др.] // Автоматика и телемеханика. – 2000. – № 2. – С. 151–163.
- 5 Сапожников, В. В. Теория синтеза самопроверяемых цифровых систем на основе кодов с суммированием / В. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, Д. В. Ефанов. – СПб. : Лань, 2021. – 580 с. – ISBN 978-5-8114-8076-0.
- 6 Ефанов, Д. В. Самодвойственный контроль комбинационных схем с применением кодов Хэмминга / Д. В. Ефанов, Т. С. Погодина // Проблемы разработки перспективных микро- и нанoeлектронных систем (МЭС). – 2022. – № 3. – С. 113–122. – DOI: 10.31114/2078-7707-2022-3-113-122.
- 7 Hamming, R.W. Error Detecting and Correcting Codes / R. W. Hamming // Bell System Technical Journal. – 1950. – 29 (2). – P. 147–160. – DOI: 10.1002/j.1538-7305.1950.tb00463.x.
- 8 Ефанов, Д. В. Исследование свойств самодвойственных комбинационных устройств с контролем вычислений на основе кодов Хэмминга / Д. В. Ефанов, Т. С. Погодина // Информатика и автоматизация. – 2023. – Т. 22, № 2. – С. 349–392. – DOI: 10.15622/ia.22.2.5.
- 9 Гессель, М. Обнаружение неисправностей в самопроверяемых комбинационных схемах с использованием свойств самодвойственных функций / М. Гессель [и др.] // Автоматика и телемеханика. – 1997. – № 12. – С. 193–200.
- 10 Сагалович, Ю. Л. Введение в алгебраические коды : учеб. пособие / Ю. Л. Сагалович. – Учреждение Российской академ. наук Ин-т проблем передачи информ. им. А. А. Харкевича РАН. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : ИППИ РАН, 2014. – 310 с. – ISBN 978-5-901158-24-1.
- 11 Кудряшов, Б. Д. Основы теории кодирования / Б. Д. Кудряшов : учеб. пособие. – СПб. : БХВ-Петербург. 2016. – 400 с. – ISBN 978-5-9775-3527-4.
- 12 Hidden Faults in FPGA-Built Digital Components of Safety-Related Systems / O. Drozd [et al.] // Proceedings of the 14th International Conference “TCSET’2018, Lviv-Slavsko. – Ukraine, 2018. – P. 805–809. – DOI: 10.1109/TCSET.2018.8336320.
- 13 Сапожников, Вл. В. Синтез систем управления движением поездов на железнодорожных станциях с исключением опасных отказов / Вл. В. Сапожников. – М. : Наука, 2021. – 229 с. – ISBN 978-5-02-040877-7.

УДК 656.25

## ОСОБЕННОСТИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ О СЛОЖНЫХ ОБЪЕКТАХ КОНТРОЛЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

*В. В. КАМЕНСКИЙ, С. В. СОКОЛОВ*

*Ростовский государственный университет путей сообщения, г. Ростов-на-Дону,  
Российская Федерация*

Транспортный комплекс осуществляет удовлетворение потребностей пассажиров и промышленных предприятий в перевозках. Значительную часть от общего объема всех перевозок транспортного комплекса занимает железнодорожный транспорт. По данным Росстата в прошлом году ОАО «РЖД» осуществило перевозку грузов в количестве 1234,3 миллионов тонн, а количество пе-

реверсивных пассажиров оценивается в 1135,8 миллионов пассажиров. На железнодорожном транспорте перевозки осуществляются специализированными вагонами в составе пассажирских и грузовых поездов [1, 2].

Управление движением грузовых и пассажирских поездов осуществляет поездной диспетчер путем выдачи управляющих воздействий на стрелки и светофоры [3, 4]. Светофоры ограничивают участки железнодорожного пути и передают машинисту сигналы, разрешающие прием и отправление поездов на станциях и разъездах.

С помощью стрелок осуществляется изменение направления движения поездов и обеспечивается прием и отправление поездов на разные пути железнодорожных разъездов и станций. В положении «+» (плюсовом) стрелка не изменяет направление движения поезда, а в положении «-» (минусовом) направление движения поезда изменяется. Управление стрелками осуществляется с помощью стрелочного электропривода.

Поездной диспетчер передает команды управления стрелками и сигналами из диспетчерского центра управления посредством системы диспетчерской централизации, которая воздействует на систему электрической централизации. На контролируемых пунктах диспетчерской централизации (станциях, разъездах и блок-участках) для контроля положения стрелок поездным диспетчером устанавливаются модули ввода сигналов, а для управления – модули вывода сигналов.

Вычислительные устройства контролируемого пункта осуществляют предварительную обработку сигналов от разных объектов контроля. Объекты контроля могут быть простыми (формируют всего один сигнал) или сложными (формируют несколько сигналов). К сложным объектам относится, например, стрелка.

В исправном состоянии стрелочного перевода под током находится одно из двух контрольных реле – МК или ПК. Состояние положения стрелки в минусовом положении обозначим {10} (МК = 1, ПК=0), а состояние плюсового положения стрелки обозначим {01} (МК = 0, ПК = 1).

Перед заданием маршрута в диспетчерской централизации осуществляется моделирование условий безопасности, одним из которых является контроль положения стрелок в маршруте. При проверке положения стрелки в маршруте осуществляется проверка возбужденного или обесточенного состояния одного реле (ПК или МК), между тем, при определенных неисправностях стрелочного привода или модуля ввода сигналов может поступить комбинация сигналов {00} или {11}, которая будет неверно воспринята подсистемой моделирования.

Для правильной работы необходимо убедиться в наличии двух комбинаций сигналов (МК = 1 и ПК = 0 или МК = 0, ПК = 1) и при поступлении комбинации сигналов {00} или {11} блокировать дальнейшую работу контролируемого пункта.

Следующим случаем, требующим особого внимания в процессе предварительной обработки сигналов от сложных объектов контроля, является возможность выхода модулей ввода сигналов из строя. При проектировании схем увязки диспетчерской и электрической централизации контакты реле плюсового (ПК) и минусового (МК) контролирующего реле могут быть подключены как к одному модулю ввода сигналов, так и к двум разным модулям ввода сигналов [5].

Схема ввода сигналов показана на рисунке 1. В процессе эксплуатации системы диспетчерской централизации, особенно при превышении сроков ее эксплуатации, возможны выходы модулей ввода сигналов из строя. Это приводит к отсутствию контроля стрелки у поездного диспетчера до замены неисправного модуля ввода сигналов.

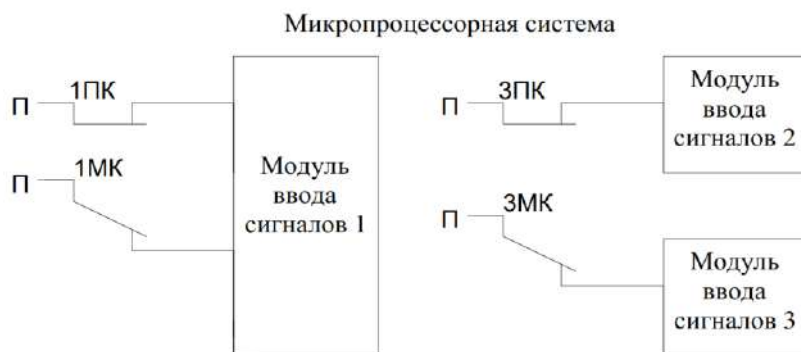


Рисунок 1 – Схема ввода сигналов

Возможны следующие случаи, связанные с неисправностями модулей:

- 1) неисправность одного модуля ввода сигналов с двумя сигналами ПК и МК в одном блоке (модуль ввода сигналов 1);
- 2) неисправность одного модуля ввода сигналов с одним сигналом ПК или МК, второй модуль исправен (модуль ввода сигналов 2 и 3);
- 3) одновременная неисправность двух модулей ввода сигналов (модуль ввода сигналов 2 и 3).

Состояние сигнала при неисправном модуле ввода сигналов обозначим  $\{H\}$ . Состояние сигнала 0 или 1 при исправном модуле ввода сигналов обозначим  $\{*\}$ .

В первом и в третьем случае состояние сигналов МК и ПК неизвестно  $\{HH\}$  (МК = H, ПК = H) и стрелка однозначно будет находиться в положении без контроля.

Во втором случае неисправность может быть в модуле ввода сигналов 2 или в модуле ввода сигналов 3.

При неисправности второго модуля ввода сигналов, осуществляющего ввод сигнала ПК  $\{*H\}$ , и исправности третьего модуля ввода сигналов, осуществляющего ввод сигнала МК при наличии активного сигнала (единица) МК  $\{1H\}$ , можно утверждать, что стрелка находится в минусовом положении. При отсутствии активного сигнала МК  $\{0H\}$  возникает ситуация «Нет контроля стрелки. Возможно стрелка в плюсовом положении».

При неисправности третьего модуля ввода сигналов, осуществляющего ввод сигнала МК  $\{H*\}$ , и исправности первого модуля ввода сигналов, осуществляющего ввод сигнала ПК при наличии активного сигнала (единица) ПК  $\{H1\}$ , можно утверждать, что стрелка находится в плюсовом положении. При отсутствии активного сигнала ПК возникает ситуация «Нет контроля стрелки. Возможно стрелка в минусовом положении».

Таким образом, для обеспечения безопасности движения поездов системы железнодорожной автоматики и телемеханики в процессе предварительной обработки информации о сложных объектах контроля (стрелка, светофор, рельсовая цепь и другие) должны хранить, передавать и обрабатывать в совокупности показания всех датчиков и индикаторов неисправностей сложного объекта контроля как показано выше.

#### Список литературы

- 1 Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации : утв. приказом Минтранса России от 23 июня 2022 г. – № 250. – 517 с.
- 2 ГОСТ 33894-2016. Системы железнодорожной автоматики и телемеханики на железнодорожных станциях. – Введ. 2017-11-01. – М. : Стандартинформ, 2017. – 26 с.
- 3 ГОСТ 33896-2016. Системы диспетчерской централизации и диспетчерского контроля движения поездов. – Введ. 2017-11-01. – М. : Стандартинформ, 2017.
- 4 СТО РЖД 1.19.003-2010. Автоматизированные системы диспетчерского управления движением поездов. – Введ. 2017-11-01. – М., 2010. – 43 с.
- 5 СП 235.1326000.2015. Свод правил. Железнодорожная автоматика и телемеханика. Правила проектирования: утв. приказом. Минтранса России № 205 от 06.07.2015 г. Дата введения : 01.07.2015 г. – М. : Минтранс России, 2015. – 145 с.

УДК 65.011.56

## НОВЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К СИСТЕМАМ УПРАВЛЕНИЯ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

*И. В. КАСПАРОВ*

*Самарский государственный университет путей сообщения, филиал в г. Нижний Новгород,  
Российская Федерация*

Развитие железнодорожного транспорта на современном этапе требует новых подходов к созданию и эксплуатации жизненно важных систем управления и обеспечения безопасности движения поездов. Длительное время системы железнодорожной автоматики и телемеханики представляли собой достаточно разрозненные устройства, которые не имели единых требований в области функциональной безопасности и надежности, а также кибербезопасности.

Переход к созданию современных комплексных систем интервального регулирования движения поездов является очень актуальным, так как постоянно происходит усложнение задач перевозочного процесса, поэтому необходима унификация требований, разработка единой методологии оценки киберзащищенности объектов управления, разработка и внедрение методики прогнозирования предельного состояния элементов инфраструктуры.



Специалистами выработан ряд требований, которые предъявляются к системам управления [1–3]:

- использование систем интервального регулирования на перегонах без напольных светофоров с исключением специализации направления движения;
- наличие режима автоматического интервального регулирования по главным станционным путям в выбранном направлении движения с возможностью, при этом, автономного управления маршрутами на остальных путях станций;
- возможность резервирования главных путей станции устройствами интервального регулирования АБ при неисправности ЭЦ;
- обеспечение цифровой увязки микропроцессорной ЭЦ с системами интервального регулирования АБ;
- наличие цифрового интерфейса с системой контроля маневровой автоматической локомотивной сигнализации и интеграцией АРМ МАЛС и МПЦ;
- возможность передачи по радиоканалу дополнительной информации для резервирования и дублирования основных каналов управления движением поездами (АЛСН, АЛС-ЕН, временные ограничения скорости и т. д.);
- наличие цифрового интерфейса с системами верхнего уровня, в том числе с возможностью реализации функций линейного пункта ДЦ в системах МПЦ;
- интеграция с системой интеллектуального оповещения работающих на путях и информирования пассажиров;
- встроенная диагностика технического состояния микропроцессорной аппаратуры, позволяющая выявлять неисправные узлы системы, вести статистику отказов и сбоев, а также иметь сопряжения с системами контроля параметров других устройств СЦБ;
- резервирование каналов межстанционной связи кольцевой архитектурой с использованием интегрированных в систему объектных контроллеров концентраторов связи, что значительно увеличит функциональность, работоспособность и живучесть системы в случае повреждения кабеля;
- применение помехозащищенных рельсовых цепей тональной частоты с дополнительной кодовой защитой в целях электромагнитной совместимости с современным тяговым подвижным составом;
- разработка новой технологии АЛСО с «подвижными» блок-участками в системах интервального регулирования на перегонах;
- применение двухканальной автоматической локомотивной сигнализации АЛС-ЕН и АЛСН с возможностью переключения частот кодирования программным способом;
- разработка новой технологии с возможностью реконфигурации логики преследования ложной занятой рельсовой цепи;
- увязка с системами пересчета вариантных графиков.

Для повышения безопасности и эффективности работы железнодорожного транспорта в настоящее время широко используются технические средства автоматизированного и автоматического управления различными техническими процессами, активно внедряются программно-управляемые системы на основе микропроцессоров и робототехнические комплексы с элементами искусственного интеллекта [4]. Однако при этом возрастает вероятность проведения сетевых кибернетических и компьютерных атак на них. Широкое использование территориально-распределительных компьютерных сетей и специфика современных протоколов позволяют скрывать следы и источники атаки. Для снижения негативного влияния этих воздействий необходимо внедрять технологии кибербезопасности. Сейчас вопросы кибербезопасности стали особо актуальны, прежде всего, в связи с использованием стандартного системного и прикладного программного обеспечения в сочетании с применением сетевых протоколов семейства TCP/IP. Несмотря на положительный экономический эффект такого подхода, механическое тиражирование этих технологий приводит к наследованию их слабых сторон. С точки зрения кибербезопасности – это уязвимости (свойства информационных систем), которые злоумышленник может использовать для реализации атаки.

Еще одним немаловажным фактором является интеграция с системой передачи данных и реализация интерактивности информационных сервисов. Это приводит к увеличению поверхности атак (возможных точек для нападения) и расширению количества потенциальных источников негативного информационного воздействия.

В современном мире свою лепту вносит также и геополитика. Железнодорожный транспорт должен быть устойчив к негативным воздействиям со стороны других государств, в которых создаются и развиваются военные подразделения, ориентированные на действия в киберпространстве.

Объектами кибератак на железнодорожном транспорте могут являться бортовые программно-аппаратные системы управления локомотивами, микропроцессорные системы железнодорожной автоматики и телемеханики и электроснабжения.

Нарушение штатного режима работы микропроцессорных информационно-управляющих систем способно значительно снизить эффективность работы участка железной дороги. Так, например, системы интервального регулирования движения на скоростных и высокоскоростных участках активно используют радиоканал. В случае негативного воздействия на него, например, с использованием средств подавления диапазона ISM или GSM, определение скорости движения и многих других параметров становится невозможным. Это потребует перехода на движение по сигналам автоблокировки и приведет к увеличению интервала попутного следствия, а, следовательно, и снижению пропускной способности участка.

Более опасные угрозы связаны с возможностью нарушения безопасности движения поездов из-за вмешательства в алгоритмы работы стационарных устройств микропроцессорных систем ЖАТ и бортовых устройств безопасности на локомотивах. Превышение максимально допустимой скорости, задание враждебных маршрутов, изменение состояния сигналов на станции и перегонах чреват очевидными последствиями вплоть до крушения.

Необходимо максимально использовать достижения науки и техники для развития и широкого внедрения на железнодорожном транспорте технологий кибербезопасности.

Все программно-управляемые микропроцессорные системы железнодорожного транспорта нужно обязательно проверять на функциональную безопасность, отсутствие незадекларированных возможностей и несанкционированного доступа. Схемотехнические решения и программное обеспечение таких систем уже на стадии проектирования должны учитывать возможность проведения различного рода кибератак.

Следует постепенно переходить на полный цикл производства таких систем с использованием отечественной элементной базы. Нужно внедрять принципы открытого программного продукта и разрабатывать новые альтернативные варианты управления движением поездов при безусловном сохранении существующих ручных режимов управления, которые будут незаменимы в случае широкого проведения кибератак.

#### Список литературы

- 1 **Шабельников, А. Н.** Компоненты киберфизических систем в составе КСАУ СП / А. Н. Шабельников, А. В. Суханов // Автоматика, связь, информатика. – 2020. – № 1. – С. 17–19. – DOI : 10.34649/ AT.2020.1.1.002.
- 2 WHITE PAPER: On Artificial Intelligence : A European approach to excellence and trust / European Commission. Brussels, 2020. URL: [https://ec.europa.eu/info/files/white-paper-artificial-intelligence-european-approach-excellence-and-trust\\_en](https://ec.europa.eu/info/files/white-paper-artificial-intelligence-european-approach-excellence-and-trust_en).
- 3 **Семион, К. В.** Стратегия цифровой трансформации / К. В. Семион // Автоматика, связь, информатика. – 2019. – № 4. – С. 5–6.
- 4 **Каспаров, И. В.** Применение новых телекоммуникационных технологий на железнодорожном транспорте / И. В. Каспаров // Образование, наука, транспорт в XXI веке: опыт, перспективы, инновации : материалы V междунар. науч.-практ. конф. – Самара : СамГУПС, 2015. – С. 314–316.

УДК 621.391

## ПОВЫШЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СЕТИ СВЯЗИ ДИСТАНЦИИ СИГНАЛИЗАЦИИ И СВЯЗИ

*Д. В. КЛЮЧНИК*

*Минское отделение Белорусской железной дороги*

*В. О. МАТУСЕВИЧ, С. В. КИСЕЛЕВА*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В последние годы сети связи железной дороги активно обновляются, прокладываются волоконно-оптические кабельные линии связи, внедряется соответствующее оборудование передачи данных. Однако в эксплуатации остается большое количество медных магистральных кабельных линий связи. Так, по Молодечненской дистанции сигнализации и связи доля таких линий достигает 40 %. Эксплуатация медных магистральных кабелей будет продолжаться еще не менее 10–15 лет. Для уплотнения каналов связи и передачи данных на таких участках в настоящее время используется аппаратура аналоговых систем передачи типа К-60П, П-302-П, К12+12, SUKTN-12N-W, выпущенная в 1980-х годах. Вся эта аппаратура реализована на аналоговой

элементной базе, потребляет большое количество электроэнергии, морально и физически устарела. Большинство узлов оборудования нуждается в дорогостоящем капитальном ремонте (замена блоков, элементов). Для ее содержания в работоспособном состоянии ежегодно выполняется большой объем работ по текущему ремонту отдельных блоков, замена монтажа и радиодеталей, тратятся значительные финансовые средства.

Одним из вариантов увеличения объемов передачи данных и улучшения функциональных возможностей систем связи до внедрения волоконно-оптических линий является построение цифровой системы передачи (ЦСП) по магистральным медным кабелям связи [1].

При создании таких ЦСП необходимо учитывать следующие основные аспекты:

- минимально необходимый объем каналов связи и систем передачи данных, достаточный для обеспечения услугами связи конкретного участка железной дороги;
- возможность наращивания объемов передачи данных за счет расширения функционала оборудования;
- электромагнитная совместимость с существующими системами связи в конкретной кабельной линии при условии их совместной эксплуатации;
- возможность использования оборудования после построения волоконно-оптических линий связи;
- экономическая целесообразность внедрения ЦСП по медному кабелю, энергоэффективность его использования.

Выбор конкретного типа оборудования обусловлен стоящими задачами по предоставлению услуг связи и передачи данных на участке. Как правило, для решения основных задач по обеспечению перевозочного процесса и работы различных информационных ресурсов на линейных станциях необходимо выделение до 8 ТЧ-каналов, 4–8 абонентов АТС с возможностью выхода на железнодорожную телефонную сеть, до 4 портов Ethernet для подключения работников станций к локально-вычислительной сети Белорусской железной дороги.

Пример построения ЦСП между малыми линейными станциями либо между узловой станцией и линейной станцией по логической топологии «точка»-«точка» на базе гибких модульных мультиплексоров Zelax MM-527RC приведен на рисунке 1 [2].

В представленной на рисунке 1 структурной схеме показан вариант комплектации мультиплексоров Zelax MM-527RC для организации по двум парам магистрального кабеля 8 телефонных каналов (модули MIME-4FXO, MIME-4FXS), 4 каналов ТЧ (модули MIME-4FXO) и канала Ethernet 10/100 BaseT (модуль MIME- Ethernet). При такой конфигурации скорость передачи данных составляет до 1,2 Мбит/с, что позволяет подключить к локально-вычислительной сети рабочие места билетных и товарных кассиров, начальников станций железнодорожных и различное оборудование, не требующее передачи больших объемов информации.

Гибкие модульные мультиплексоры Zelax MM-527RC в зависимости от используемых модулей позволяют организовать по медным кабелям связи канал SHDSL.bis для передачи потока E1, Ethernet стандарта 10/100 BaseT, стандартных каналов ТЧ с 2- и 4-проводным окончанием, телефонных каналов, по которым могут работать, как обычные аналоговые телефонные аппараты, так и факсимильные аппараты и модемы для каналов ТЧ. При передаче голосовых данных используется динамическое выделение полосы канала. Дальность устойчивой работы ЦСП без использования регенераторов достигает 25 км.

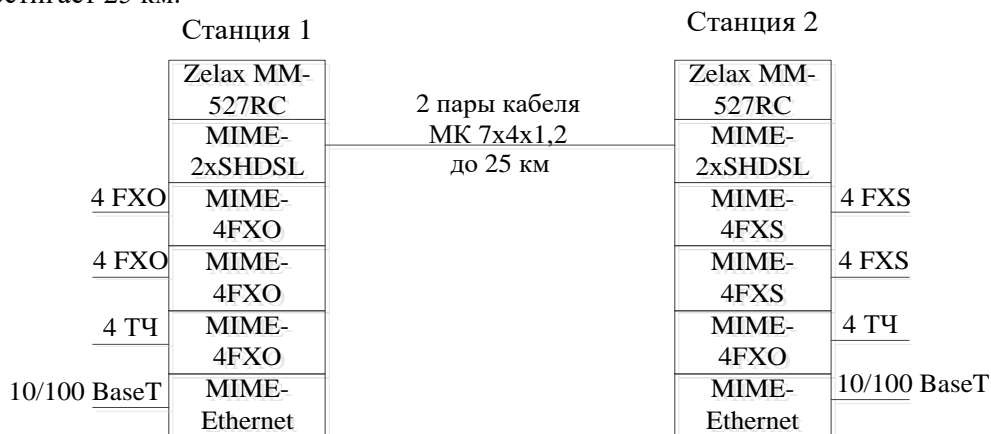


Рисунок 1 – Структурная схема ЦСП на базе мультиплексоров «Zelax»

Внедрение данных мультиплексоров позволит вывести из эксплуатации малоканальные аналоговые системы передачи типа SUKTN-12N-W, П-302-П, а также АТС линейных станций.

Вариантом построения ЦСП с более широкими функциональными возможностями между узловой станцией и линейными станциями участка одного направления может быть система, построенная на базе оборудования MC04-DSL [3]. Пример такой системы, построенной по топологии «цепочка», приведен на рисунке 2.

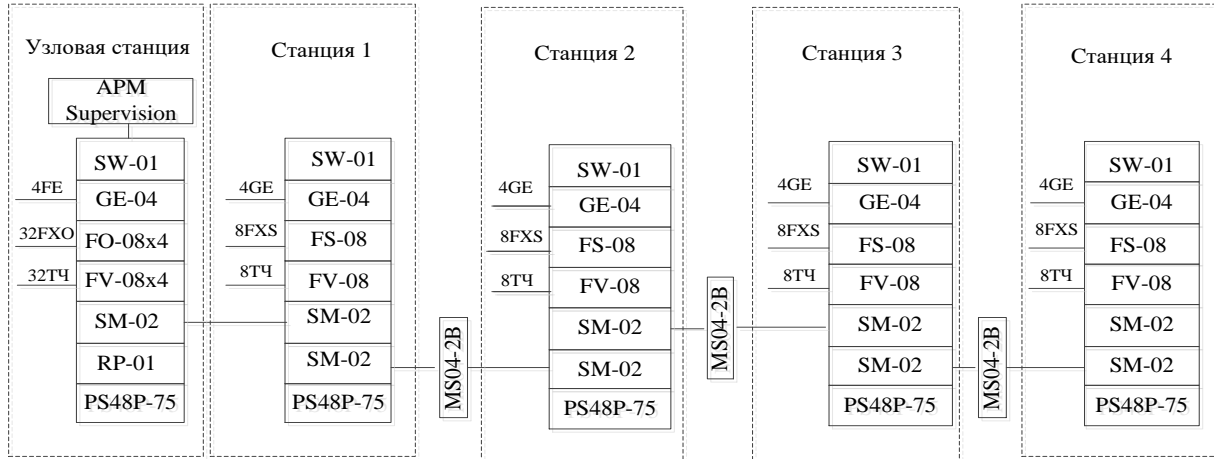


Рисунок 2 – Структурная схема ЦСП для оборудования MC04-DSL

В представленной на рисунке 2 структурной схеме показана ЦСП между узловой станцией и четырьмя последовательно расположенными линейными станциями. Исходя из технологической потребности, на каждой линейной станции выделяется по 8 телефонных каналов, по 8 каналов ТЧ и по 4 порта Ethernet 10/100 BaseT. ЦСП подключается по двух парам магистрального кабеля связи. Для увеличения скорости передачи данных на перегонах между станциями устанавливаются необслуживаемые регенераторы. В рассматриваемой конфигурации оборудования скорость передачи информации составит до 6 Мбит/с.

Данная система позволяет организовать передачу информации от узловой станции к линейным станциям с выделением на каждой станции участка портов Ethernet стандарта 10/100 BaseT, телефонных и ТЧ каналов. Оборудование MC04-DSL является гибкой программно-аппаратной платформой с большим спектром применяемых модулей для решения различных задач. Количество выделяемых на каждой станции каналов связи и портов для передачи данных, а также скорость и объем передаваемой информации зависит от выбранной конфигурации оборудования, типа кабельных линий связи и длины участков регенерации.

Преимуществом системы является включение в симметричные медные магистральные кабели связи совместно с аналоговыми системами передачи типа К-60П, К12+12. При наращивании функционала системы можно организовать ЦСП не только между узловой станцией и несколькими линейными станциями, но и между соседними узловыми станциями. Внедрение такой системы передачи данных позволит вывести из эксплуатации аналоговую аппаратуру К-60П, К12+12 и др. Кроме того, оборудование MC04-DSL имеет возможность дальнейшего развития путем установки дополнительных плат, обеспечивающих работу системы по волоконно-оптическим кабелям. Таким образом, при прокладке оптоволоконного кабеля имеется техническая возможность увеличить скорость передачи данных до 1,25 Гбит/с.

Реализовав данные решения построения цифровой системы передачи по магистральным медным кабелям связи, можно:

- существенно улучшить качество связи;
- расширить технические возможности систем передачи данных на сети оперативно-технологической связи железной дороги;
- организовать мониторинг оборудования;
- существенно сократить эксплуатационные расходы дистанций сигнализации и связи.

## Список литературы

- 1 Филонович, В. Л. Организация сетей технологической связи / В. Л. Филонович, В. С. Андриенко, А. В. Колобов // Автоматика, связь, информатика. – 2016. – № 9. – С. 22.
- 2 Телекоммуникационное оборудование Zelaх. Редакция 25. – Минск : Донарит, 2020. – 68 с.
- 3 Цифровая система передачи MC04-DSL. Руководство по эксплуатации KB3.090.011 РЭ (ред. 24 / январь 2016). – Пермь : АДС, 2016. – 174 с.

УДК 656.25(078.5)

## МЕТОД КОСВЕННОЙ ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ МИКРОЭЛЕКТРОННЫХ И МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМ К ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ИМПУЛЬСАМ ПРЕДНАМЕРЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

*Д. В. КОМНАТНЫЙ*

*Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого, Республика Беларусь*

Проблема обеспечения устойчивости микропроцессорных систем железнодорожной автоматики и телемеханики (МСЖАТ) к электромагнитным импульсам преднамеренного воздействия (ЭИПВ) становится крайне актуальной в связи с ухудшением положения в мире. Об этом свидетельствует анализ публикаций в научно-технической периодике и ограниченно опубликованные результаты проекта SECRET, выполняемого в Евросоюзе. Для ускорения испытаний и для сокращения потребности в испытательном оборудовании может быть предложена методика косвенной оценки устойчивости МСЖАТ к указанному виду помех.

В предложенном методе используются результаты предварительного расчета и натурных испытаний на устойчивость исследуемой аппаратуры к электростатическому разряду с амплитудой напряжения, соответствующей нормативной жесткости испытаний, а также с дополнительными значениями амплитуды.

Метод основан на сопоставлении импульса напряжения электростатического разряда и импульса напряжения от ЭИПВ.

Испытания на устойчивость к электростатическим разрядам (ЭСР) занимают, как показывает анализ, особое место. По ГОСТ Р 33436.4-1–2015 импульсы испытательного генератора производятся в места неоднородностей на корпусе. Электростатический разряд характеризуется амплитудой, длительностью и формой импульса напряжения, который воздействует на неоднородность корпуса ТС ЖАТ. Эти неоднородности являются паразитными излучающими антеннами, в раскрытие которых под воздействием ЭСР формируется импульс напряженности электрического поля, создающий внутри корпуса помеховые электромагнитные поля. Эти поля имеют и очень широкий спектр, обеспечивающий высокую проникающую способность, и достаточную мощность. Мощность помех определяется импульсом напряжения испытательного генератора, который имеет по ГОСТу сравнительно высокую амплитуду, до 15 киловольт по ГОСТ Р 33436.4-1–2015.

С учетом свойств ЭСР допустимо полагать, что импульс напряжения от электромагнитного импульса преднамеренного воздействия, эквивалентный импульсу ЭСР соответствующей степени жесткости испытания, создаст в раскрытии паразитной антенне и в корпусе рецептора помеховое электромагнитное поле, вызывающее отказы и сбои рецептора.

Представляется, что эквивалентные импульсы должны обладать одинаковой энергией и иметь одинаковую активную полосу частот. От уровня энергии зависят последствия воздействия помех на элементную базу. Следовательно, в паразитную антенну от разных импульсов должна поступать одинаковая энергия, которая затем передается в рецепторы при пренебрежимо малых потерях. Активная полоса частот определяет проникающую способность импульсов. Поэтому целесообразно использовать спектрально-энергетический способ вывода условий эквивалентности импульсов

$$\begin{cases} W_1 = W_2 \\ \Delta f_1 = \Delta f_2 \end{cases}, \quad (1)$$

где  $W_1$  и  $W_2$  – энергии импульсов, Дж;  $\Delta f_1$  и  $\Delta f_2$  – активные полосы частот, Гц.

Апертура вырезает часть фронта импульсной электромагнитной волны и образует в плоскости раскрыва импульс той же формы и длительности, которую имеет импульс, излученный источником помех. Если амплитуду напряжения  $U_m$  излучаемого внутрь корпуса импульса выразить через амплитуду импульса принимаемого, то окончательное выражение для амплитуды напряжения излучаемого импульса примет вид

$$U_m = x E_{m\text{прин}} \sqrt{K_n}, \quad (2)$$

где  $x$  – размерный коэффициент, м;  $E_{m\text{прин}}$  – напряженность электрической составляющей принимаемого ЭИПВ, В/м;  $K_n$  – коэффициент использования, для прямоугольного отверстия  $K_n = 1$ , а для круглого  $K_n = 1/2\pi$ .

Для прямоугольного отверстия размерный коэффициент численно равен длине вертикальной стороны отверстия, а для круглого – радиусу отверстия.

Восприимчивость паразитных щелевых и штыревых антенн характеризует эффективная длина  $l_{\text{эфф}}$ . При этом в антенне возникает импульс напряжения  $U(j\omega)$ , с амплитудой  $U_m$ , которые вычисляются по формулам

$$\begin{aligned} U(j\omega) &= l_{\text{эфф}} E_{\text{прин}}(j\omega). \\ U_m &= l_{\text{эфф}} E_{m\text{прин}}. \end{aligned} \quad (3)$$

Для целей анализа проникновения импульсных помех через рассматриваемые паразитные антенны допустимо считать эффективную длину равной геометрической длине.

Таким образом, по соотношениям (1) можно найти амплитуду напряжения излучаемого импульса, эквивалентного импульсу ЭСР, а формулы (2) и (3) позволяют найти амплитуду напряженности электрической составляющей электромагнитного поля принимаемого импульса преднамеренного воздействия.

Для указанной амплитуды принимаемого ЭИПВ справедлива формула

$$E_{m\text{прин}} = \frac{\sqrt{60PG}}{r} e^{-\gamma r}, \quad (4)$$

где  $P$  – мощность генератора, Вт;  $G$  – коэффициент направленности антенны;  $r$  – расстояние между генератором помех и рецептором, м;  $\gamma$  – коэффициент ослабления поля.

Формула (4) является аналогом известного уравнения силового подавления радиоэлектронных средств.

В формуле (4) может быть использован параметр генератора ЭИПВ  $FOM = \sqrt{60PG}$ , что в некоторых случаях упрощает анализ.

По уравнению силового подавления и его аналогу (4) можно решать различные задачи расчета воздействия электромагнитных импульсов преднамеренного воздействия на микроэлектронную аппаратуру железнодорожной автоматики. В частности, найти мощность и коэффициент усиления антенны генератора, который расположен на данном расстоянии от микропроцессорной аппаратуры и создает в паразитной антенне импульс, способный вызвать отказ или сбой. Другой задачей является расчет расстояния от данного генератора импульсов преднамеренного воздействия до рассматриваемой системы автоматики, на котором возможно вызвать сбой или отказ. Для решения последней задачи из (4) может быть получена формула

$$\frac{e^{-\gamma r}}{r} = \frac{\sqrt{60PG}}{E_{m\text{прин}}}. \quad (5)$$

Уравнение (5) является трансцендентным по Эйлеру, поэтому решается графическим либо численными методами.

Следовательно, описанный метод позволяет оценить устойчивость микроэлектронной и микропроцессорной аппаратуры к электромагнитным импульсам преднамеренного воздействия и предложить методы защиты, в частности установить размеры защитных зон.

Достоинствами предлагаемого метода является сокращение объема испытаний, снижение потребности в дорогостоящем и малодоступном оборудовании. Испытательные генераторы ЭИПВ яв-

ляются, зачастую, уникальными установками, доступ к которым ограничен. Для замены таких генераторов используются радиолокационные установки, для работы с которыми требуются открытые площадки. При этом необходимо обеспечивать безопасность находящейся в окрестностях полигона микроразностной аппаратуры.

Немаловажным обстоятельством является и то, что исследование нового вида электромагнитных угроз – электромагнитных импульсов преднамеренного воздействия – ведется на основе уже достаточно изученного электростатического разряда методами энергетического подхода к расчету распространения помехового излучения и на базе условий эквивалентности импульсов.

УДК 621.396:621.391.82

## РАСЧЕТ ПОЛОСКОВЫХ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ МЕТОДОМ ГРАНИЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

*Д. В. КОМНАТНЫЙ*

*Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого, Республика Беларусь*

При разработке аппаратуры современных микроразностных и микропроцессорных систем железнодорожной автоматики и телемеханики возникают новые проблемы электромагнитной совместимости. Необходимо обеспечить помехозащищенность узлов этой аппаратуры, что достигается использованием полосковых печатных плат. В этих платах диэлектрический слой, содержащий линии связи, экранирован сверху и снизу металлическими экранами. Вместе с тем, требуется исключить возникновение помех в линиях связи таких плат. Для решения этой задачи требуется анализ распространения сигналов по линиям связи путем решения уравнений идеальной длинной линии. Расчет первичных параметров такой линии, от которых зависят коэффициенты уравнения линии, осуществляется путем определения погонной емкости проводников линий связи методами электростатики.

Так как конструкция платы является сложной электродинамической системой, расчет поля в ней выполняется численными методами. Среди численных методов в трудах Л. Н. Кечиева наиболее проработан метод граничных элементов. Он основан на численном решении интегрального уравнения для электростатического поля в печатной плате

$$u(x, y) = \int_S G(x_M, x_Q, y_M, y_Q) \sigma(x_Q, y_Q) dx dy, \quad (1)$$

где  $u$  – потенциал, В;  $x, y$  – координаты точки наблюдения  $M$  и точки влияния  $Q$ , м;  $G$  – функция Грина задачи;  $\sigma$  – плотность электрического заряда, Кл/м.

Для численного решения интегрального уравнения (1) границы проводников линии связи разделяются на граничные элементы. Предполагается, что плотность заряда элемента постоянная. Тогда интегральное уравнение (1) сводится к системе алгебраических линейных уравнений вида

$$u(x, y) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \sigma(x_Q, y_Q) \int_0^{d_j} G(x_M, x_Q, y_M, y_Q) dx dy, \quad (2)$$

где  $i, j$  – счетные переменные;  $N$  – число граничных элементов,  $d_j$  – длина граничного элемента  $j$ , м.

Геометрические параметры граничного элемента вычисляются по формулам:

$$x_Q = x_{ij} + t \cos \theta_j, \quad y_Q = y_{ij} + t \sin \theta_j, \quad d_j = \sqrt{(x_{ij} - x_{kj})^2 + (y_{ij} - y_{kj})^2},$$

$$\cos \theta_j = \frac{x_{kj} - x_{ij}}{d_j}, \quad \sin \theta_j = \frac{y_{kj} - y_{ij}}{d_j}, \quad (3)$$

где  $x_{ij}, y_{ij}$  – координаты начала граничного элемента, м;  $x_{kj}, y_{kj}$  – координаты конца граничного элемента, м;  $t$  – параметр;  $\theta_j$  – угловой параметр граничного элемента, рад.

Функция Грина для рассматриваемой электродинамической системы известна и имеет вид

$$G(x_M, x_Q, y_M, y_Q) = \frac{1}{\pi \epsilon_a} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} \sin\left(\frac{n\pi y_Q}{2d}\right) \sin\left(\frac{n\pi y_M}{2d}\right) \exp\left(-\frac{n\pi}{2d}(x_M - x_Q)\right), \quad (4)$$

где  $\varepsilon_a$  – абсолютная диэлектрическая проницаемость диэлектрика платы,  $\Phi/m$ ;  $n$  – счетная переменная функции Грина;  $d$  – толщина слоя диэлектрика, м.

После подстановки (3) в (2) линейные алгебраические уравнения системы приобретают вид

$$u(x, y) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \sigma(x_Q, y_Q) \int_0^{d_j} G(x_M, x_{hj} + t \cos \theta, y_M, y_{hj} + t \sin \theta_j) dt. \quad (5)$$

Подстановка (4) в (5) показывает, что для вычисления коэффициентов уравнений (5) требуется взять следующие интегралы. Внедиагональные элементы матрицы коэффициентов уравнения (5) связывают потенциал в точке наблюдения  $M$  с плотностью электрического заряда в точке влияния  $Q$ , которые принадлежат разным граничным элементам. Для вычисления внедиагональных коэффициентов

$$\int \frac{1}{n} \sin\left(\frac{n\pi}{2d}(y_{hj} + t \sin \theta_j)\right) \sin\left(\frac{n\pi y_M}{2d}\right) \exp\left(-\frac{n\pi}{2d}(x_M - (x_{hj} + t \sin \theta_j))\right) dt. \quad (6)$$

При введении обозначений  $\frac{n\pi}{2d} y_{hj} = a$ ,  $\frac{n\pi}{2d} \sin \theta_j = b$ ,  $\frac{n\pi}{2d} x_{hj} - \frac{n\pi}{2d} x_M = f$ ,  $\frac{n\pi}{2d} \cos \theta_j = c$  интеграл (6) сводится к интегралу

$$\int \sin(a + bt) \exp(ct + f) dt. \quad (7)$$

Диагональные элементы связывают потенциал в точке наблюдения с зарядом, распределенным по граничному элементу, к которому эта точка принадлежит. Для вычисления диагональных коэффициентов необходимо взять интеграл

$$\int \frac{1}{n} \sin\left(\frac{n\pi}{2d}(y_{hi} + t \sin \theta_i)\right) \sin\left(\frac{n\pi y_M}{2d}\right) \exp\left(-\frac{n\pi}{2d}(x_M - (x_{hi} + t \sin \theta_i))\right) dt. \quad (8)$$

При введении обозначений  $\frac{n\pi}{2d} y_{hi} = a$ ,  $\frac{n\pi}{2d} \sin \theta_i = b$ ,  $\frac{n\pi}{2d} x_{hi} - \frac{n\pi}{2d} x_M = f$ ,  $\frac{n\pi}{2d} \cos \theta_i = c$  интеграл (8) сводится к интегралу (7). При этом не возникает исключений, связанных с тем, что подынтегральное выражение оказывается равным бесконечности.

Интеграл (7) может быть найден аналитически методом интегрирования по частям. В результате получается

$$\int \sin(a + bt) \exp(ct + f) dt = \frac{-1}{b + c} e^{ct+f} \cos(bt + a) + \frac{c}{b^2 + bc} \exp(ct + f) \sin(bt + a).$$

Система линейных алгебраических уравнений (5) относительно неизвестных плотностей электрических зарядов граничных элементов может быть составлена с достаточной для практики точностью при удержании пяти слагаемых в функции Грина (4).

Приведенные в докладе расчетные соотношения метода граничных элементов для анализа полосковой линии позволяют сделать выводы.

При расчете полосковой печатной платы методом граничных элементов не возникают исключения. Диагональные и внедиагональные элементы матрицы коэффициентов системы линейных алгебраических уравнений вычисляются по формулам одного вида. При этом существуют аналитические выражения для необходимых интегралов. Численное интегрирование не требуется. Это облегчает составление программ для реализации метода граничных элементов на компьютере.

Функция Грина задачи получена так, что в ней учитываются электрические заряды, индуцированные на металлических экранах платы. Следовательно, не требуется вводить на этих экранах сетку граничных элементов, что сокращает размерность задачи. С другой стороны, предполагается, что края платы не оказывают влияния на электростатическое поле в диэлектрике платы, а само поле плоскопараллельное. Как показывает практика, такое предположение не вносит значительных погрешностей.

Недостатком рассматриваемого в докладе метода является необходимость вычисления сумм громоздких выражений вида (6) и (8). Но этот недостаток искупается указанными выше достоинствами, сокращающими вычислительную сложность метода.

Поэтому можно сделать общий вывод. Применение полосковых печатных плат в конструкциях аппаратуры железнодорожной автоматики и телемеханики повышает помехозащищенность узлов



этой аппаратуры к внешним и внутриаппартурным электромагнитным помехам. Исключение помех в линиях связи таких плат при проектировании является исследованной задачей и может быть достигнуто. Метод граничных элементов позволяет рассчитать первичные параметры линий связи, при этом вычислительные трудности сравнительно ниже, чем при расчете линий связи печатных плат других конструкций. Следовательно, полосковые печатные платы являются предпочтительными в конструкциях аппаратуры железнодорожной автоматики и телемеханики. Их проектирование не вызывает принципиальных затруднений и может быть осуществлено на практике без неприемлемых затрат труда и времени.

УДК 656.259.12

## ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ ОБНАРУЖЕНИЯ СИГНАЛОВ КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЙ РЕЛЬСОВОЙ ЛИНИИ

*Д. Д. МЕДВЕДЕВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Рельсовая цепь (РЦ) является основным элементом всех современных систем автоматики и телемеханики по регулированию движения поездов на железных дорогах и выполняет функции датчика информации о свободности и целостности рельсового пути, а также телемеханического канала связи между проходными светофорами и между путевыми и локомотивными устройствами [1].

В настоящее время при разработке и проектировании РЦ широко применяется микроэлектронная элементная база [2, 3], позволяющая применять современные методы обработки сигналов.

Эксплуатируемые в настоящее время на Белорусской железной дороге приемники тональных рельсовых цепей сравнивают амплитуду огибающей сигнала с некоторым фиксированным порогом. При этом если величина огибающей входного воздействия превышает порог ограничения обнаружителя, принимается решение о свободном и исправном состоянии контролируемой рельсовой линии [1]. В противном случае рельсовая линия считается занятой подвижным составом, либо неисправной [2].

Для решения задачи достоверной классификации состояний рельсовых линий необходимо, наряду с развитием существующих РЦ, создавать новые классификаторы состояний рельсовых линий (КСРЛ), позволяющие существенно расширить функциональные возможности рельсовых цепей при воздействии возмущающих факторов, организовать классификатором диагностику и прогнозирование состояния элементов рельсовой линии как первичного датчика информации и добиться относительной инвариантности классификатора к возмущающим воздействиям.

Наиболее перспективными для решения подобных задач представляются методы адаптивной обработки выходного сигнала рельсовой линии, методы распознавания образов с элементами самодобора сложности полинома решающих функций, а также методы инвариантности с принципом многоканальности [4].

При построении КСРЛ, рассчитанных на работу при повышенной проводимости изоляции, и в условиях воздействия комплекса помех, хорошие результаты дает использование математического аппарата обнаружения разладки случайного процесса [4]. Разладкой случайного процесса называется скачкообразное изменение его свойств, происходящее в неизвестный момент времени или не происходящий вовсе [5]. Различают положительную и отрицательную разладки. Применительно к контролю состояний рельсовых линий под положительной разладкой понимают скачкообразное изменение амплитуды сигнала контроля в момент освобождения рельсовой линии подвижным составом. Отрицательная разладка заключается в скачкообразном ее снижении, происходящей под действием поездного шунта, либо при нарушении целостности рельсовых нитей [4].

С точки зрения аппаратной реализации метода обнаружения разладки случайного процесса, наиболее простым и математически обоснованным является алгоритм кумулятивных сумм с отражающим экраном [4]. Он представляет собой последовательный анализ Вальда. Правило обнаружения разладки строится на сравнении на  $h$ -м шаге решающей статистики  $S_h$  с фиксированным порогом  $U_{пв}$ . Решающая статистика рассчитывается по формуле

$$S_h = \left\{ S_{h-1} + \ln \frac{W_1(y_h | \theta_2)}{W_0(y_h | \theta_1)} \right\}, S_0 = 0, \quad (1)$$

где  $W_1(y_h|\theta_2)$ ,  $W_0(y_h|\theta_1)$  – условные плотности распределения вероятностей наличия параметров сигнала  $\theta_2$  и  $\theta_1$  в выборке  $\{y_h\}$ ;  $\theta_2$  и  $\theta_1$  – параметры случайного процесса до и после разладки (в шунтовом и нормальном режиме).

Работу классификатора, реализующего алгоритм (1), поясняет пример, когда подвижной состав освобождает рельсовую линию [4]. Временная диаграмма исходного процесса представлена на рисунке 1.

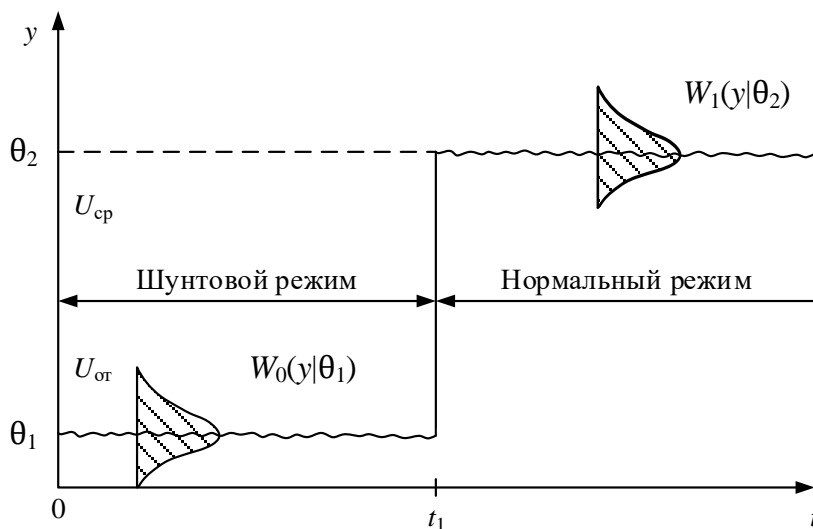


Рисунок 1 – Диаграмма напряжения на входе классификатора в момент освобождения поездом участка контроля

В нормальном режиме на входе классификатора действует смесь полезного сигнала высокого уровня  $\theta_2$  и помехи. Значения функции  $W_1(y_h|\theta_2)$  в произвольный  $h$ -й момент будут превышать величину  $W_0(y_h|\theta_1)$ , и логарифм их отношения будет положительным [4]. После превышения порога разладки  $U_{пв}$  приемник зафиксирует свободное состояние рельсовой линии. Аналогичным образом происходит работа при переходе из нормального режима в шунтовой либо контрольный.

Алгоритм кумулятивных сумм [4, 6] достаточно просто реализуется на любом микропроцессорном комплекте, что позволяет применять его в приемнике сигналов контроля рельсовой линии.

Таким образом, применение новых методов и цифровых устройств обработки сигналов позволит снизить материалоёмкость, уменьшить габаритные размеры аппаратуры, а также за счет использования современной микроэлектронной элементной базы появляется возможность повысить надёжность функционирования аппаратных средств.

#### Список литературы

- 1 **Брылеев, А. М.** Теория, устройство и работа рельсовых цепей / А. М. Брылеев, Ю. А. Кравцов, А. В. Шишляков. – М. : Транспорт, 1978. – 344 с.
- 2 **Беляков, И. В.** Теория и методы реализации адаптивных систем контроля состояния рельсовых линий : дис. ... д-ра техн. наук : 05.22.08 / И. В. Беляков ; Московский ин-т инж. ж.-д. трансп. – М., 1996.
- 3 **Бочков, К. А.** Теория и методы контроля электромагнитной совместимости микроэлектронных систем обеспечения безопасности движения поездов : дис. ... д-ра техн. наук : 05.22.08 / К. А. Бочков ; Московский ин-т инж. ж.-д. трансп. – М., 1993. – 379 с.
- 4 **Тарасов, Е. М.** Математическое моделирование рельсовых цепей с распределенными параметрами рельсовых линий : учеб. пособие / Е. М. Тарасов. – Самара : СамГАПС, 2003. – 118 с.
- 5 **Жиглявский, А. А.** Обнаружение разладки случайных процессов в задачах радиотехники / А. А. Жиглявский, А. Е. Красковский. – Л. : Издательство ленинградского университета, 1988. – 224 с.
- 6 Алгоритм обнаружения сигналов контроля состояний рельсовой линии для железных дорог республики Узбекистан / А. Н. Садиков [и др.] // Universum: технические науки : электрон. научн. журн. – 2022. – № 5(98).

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЛИНЫ СМЕЖНЫХ И СОСЕДНИХ РЕЛЬСОВЫХ ЛИНИЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ РАСЧЕТА БЕССТЫКОВЫХ РЕЛЬСОВЫХ ЦЕПЕЙ

Д. Д. МЕДВЕДЕВ, С. И. ХОМЕНКО

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Рельсовая цепь (РЦ) является основным путевым датчиком систем, с помощью которых регулируется движение на железнодорожных магистралях и обеспечивает при этом высокий уровень безопасности. Работа каждой рельсовой цепи характеризуется определенными строго заданными критериями, которые получают в результате электрического расчета каждого из режимов работы [1].

Бесстыковыми называют РЦ, между которыми нет изолирующих стыков, электрически отделяющих смежные цепи одну от другой. Отсутствие изолирующих стыков – наименее надежного элемента РЦ – является большим достоинством РЦ, что особенно важно для перегонов, где все шире применяются цельносварные плети большой длины, устройство на которых изолирующих стыков с технической и экономической точек зрения нерационально [2].

В настоящее время широкое распространение на сети железных дорог Республики Беларусь получили бесстыковые тональные рельсовые цепи (ТРЦ) третьего поколения, применяющиеся в автоблокировках с централизованным размещением аппаратуры типов АБТЦ-03 и АВЕ-1-ВС.

Расчет электрических параметров ТРЦ выполняется на основании формального описания в виде схем замещения аппаратуры рельсовых цепей и условий канализации сигнального тока в рельсовых цепях [3].

В бесстыковых ТРЦ необходимо при расчете учитывать утечку сигнальных токов (рисунок 1) как с питающего конца  $I_{упк}$ , так и с релейного  $I_{урк}$ . Величина тока утечки будет определяться входным сопротивлением  $Z_{вх.см}$  смежной и  $Z_{вх.с}$  соседних рельсовых линий, входными сопротивлениями  $Z_{вх}$  аппаратуры питающего  $Z_{вх.п}$  и релейного  $Z_{вх.р}$  концов смежной и соседних рельсовых цепей, а также волновым сопротивлением  $Z_{в}$  распространения сигнального тока в последующих рельсовых линиях [3].

При расчетах входных сопротивлений участков смежных и соседних РЦ достаточно сложно определить его значение. Теоретически необходимо учитывать все РЦ, находящиеся на перегоне. Кроме сопротивления РЛ необходимо учесть сопротивления аппаратуры релейных и питающих концов РЦ. Методы, предложенные в [2, 3], предполагают учёт только нескольких участков смежных и соседних РЦ. При увеличении количества таких участков снижается погрешность расчета [2], но при этом он значительно усложняется. Усложнение расчета также связано с тем, что его необходимо производить для частоты, на которую аппаратура не настроена. При этом в ряде случаев значение сопротивления аппаратуры, используемое в расчетах, не регламентируется.

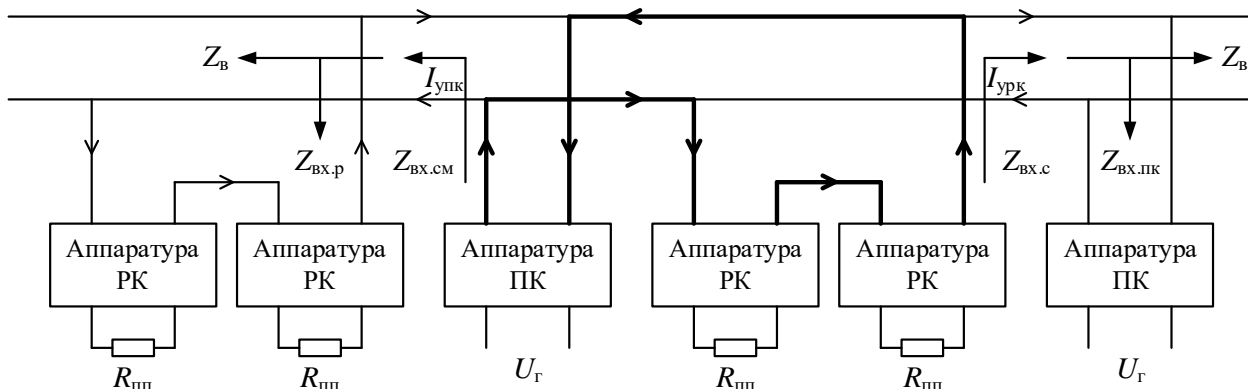


Рисунок 1 – Схема распространения сигнального тока в тональной рельсовой цепи

Для упрощения расчета с сохранением допустимой погрешности необходимо ограничить количество участков смежных и соседних РЦ. Для этого проанализируем изменение входного сопротивления участка РЦ при изменении его длины. Будем рассматривать сопротивление рельсовой линии,

нагруженное на рассчитанное сопротивление релейного конца ( $Z_k \neq \infty$ ), а также сопротивление не нагруженного участка рельсовой линии ( $Z_k = \infty$ ).

Условия передачи сигналов через рельсовую линию характеризуются рабочими параметрами [1]:

– сопротивлением передачи четырехполосника

$$Z_{\text{ПЧ}} = AZ_{\text{H}} + B; \quad (1)$$

– прямым входным сопротивлением

$$Z_{\text{ВХ}} = \frac{AZ_{\text{K}} + B}{CZ_{\text{K}} + D}, \quad (2)$$

где А, В, С и D – коэффициенты рельсового четырехполосника:

$$\left. \begin{aligned} A &= ch\gamma l; & B &= Z_{\text{B}} sh\gamma l; \\ C &= \frac{sh\gamma l}{Z_{\text{B}}}; & D &= ch\gamma l; \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Если линия работает в режиме холостого хода ( $Z_k = \infty$ ), то

$$Z_{\text{ВХ.ХХ}} = Z_{\text{B}} cth\gamma l. \quad (4)$$

Используя формулы (2)–(4), построен график (рисунок 2) зависимости  $Z_{\text{ВХ}}$  и  $Z_{\text{ВХ.ХХ}}$  от длины рельсовой линии для двух крайних частот диапазона ТРЦ.

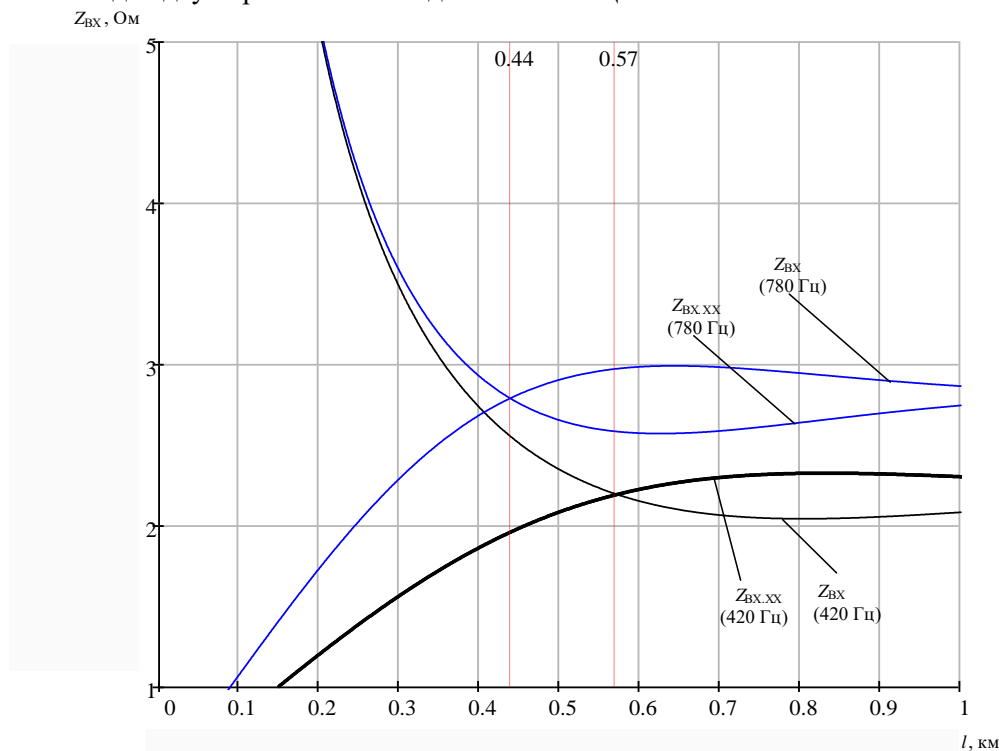


Рисунок 2 – График зависимости входного сопротивления рельсовой линии от длины при различных значениях частоты сигнала

Анализ полученной функциональной зависимости  $Z_{\text{ВХ}}$  – входного сопротивления РЛ с учетом сопротивления аппаратуры соответствующего конца РЦ, позволяет установить, что эквивалентное сопротивление участка РЦ более 400–600 м (440 м для частоты 780 Гц и 570 м для частоты 420 Гц) начинает изменяться незначительно. Следовательно, для большинства расчетов имеется возможность ограничить количество учитываемых РЦ одной смежной и соседней, если её длина превышает 500 м.

График  $Z_{\text{ВХ.ХХ}}$  – входного сопротивления РЛ в режиме холостого хода, показывает, что с увеличением длины  $Z_{\text{ВХ.ХХ}}$  стремится к аналогичному значению, что и  $Z_{\text{ВХ}}$ . Следовательно, с увеличением длины РЛ её параметры оказывают большее влияние на эквивалентное входное сопротивление рассматриваемого участка. Поэтому при упрощённом расчете и длине РЛ более 500 м достаточно использовать значение  $Z_{\text{ВХ.ХХ}}$ .

### Список литературы

- 1 Путьевая блокировка и авторегулировка : учеб. для вузов / Н. Ф. Котляренко [и др.] ; под ред. Н. Ф. Котляренко. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Транспорт, 1983. – 408 с.
- 2 Романцев И. О. Анализ методов расчета тональной рельсовой цепи перегона / И. О. Романцев, В. И. Гаврилюк // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. т-ту ім. акад. В. Лазаряна. – 2010. – Вип. 35. – С. 187–192.
- 3 Расчет параметров и проверка работоспособности бесстыковых тональных рельсовых цепей / М. Н. Василенко [и др.] // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2006. – № 2. – С. 103–111.

УДК 621.313.333.2

## 3D-МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ АСИНХРОННЫХ МАШИН

*Д. В. МИРОШ, И. Е. МОНАРХОВИЧ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Электропривод с асинхронным двигателем (далее – АЭД) обладает простой конструкцией, высокой надежностью и сравнительно небольшой стоимостью. Низковольтные АЭД – наиболее распространенный и широко применяющийся тип электрических машин. В связи с этим вопрос о повышении качества и надежности этих устройств имеет на сегодняшний день важное значение.

Частыми причинами выхода из строя АЭД являются неудовлетворительное состояние изоляции и подшипниковых узлов, несовершенство и нарушение технологического процесса технического обслуживания и ремонта, а также несоответствие режимов эксплуатации, что способствует нарушению температурных режимов. Данная информация широко освещена в общедоступной литературе, однако в целях исследования необходимо руководствоваться еще и некоторыми статистическими данными предприятий. В нашем случае выбор пал на локомотивное депо.

Согласно полученной информации по отказам АЭД, установленных на подвижном составе для электровозов ВЛ80<sup>С</sup> и БКГ приписки локомотивного депо Барановичи в период с 2014 по 2022 год, причины и характер отказов можно выделить следующие: повышенная вибрация и шум подшипника; межвитковое замыкание обмотки статора; неисправности в клеммной коробке и другие. Распределение неисправностей в процентном соотношении изображено на рисунке 1.

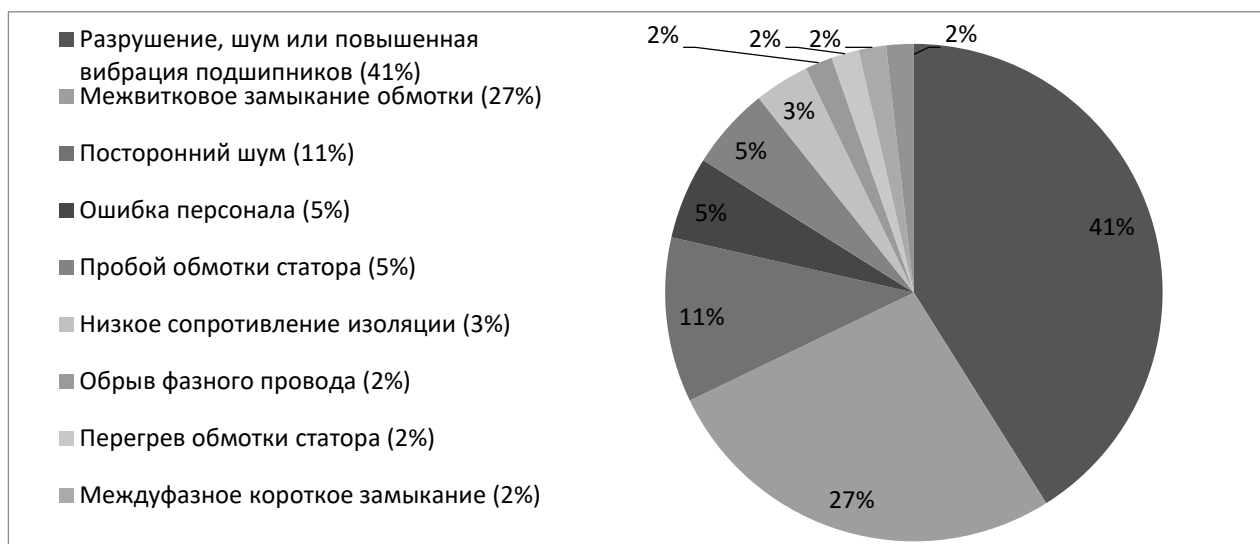


Рисунок 1 – Распределение неисправностей вспомогательных АЭД на грузовых электровозах

Основной задачей исследования является получение информации о текущем состоянии АЭД. В распоряжение локомотивных депо (особенно на крупные узлы и агрегаты) редко поступают запасные части в новом заводском исполнении. Параметры, полученные при диагностике АЭД, которые эксплуатируются на протяжении десятков лет, будут значительно отличаться от заводских значе-

ний. Для получения значений, близких к заводскому исполнению, чтобы впоследствии отследить происходящие изменения параметров с течением времени, предлагается использовать программный комплекс *Ansys Electronics*.

3D-модель позволяет получить максимально приближенный по параметрам и техническому исполнению образец электродвигателя. При этом используются аналогичные по характеристикам материалы с возможностью корректировки отдельных параметров (например, изоляции обмотки). Преимущество моделирования АЭД заключается в следующем:

- имеется возможность получения характеристик с любого электродвигателя, при этом достаточно ограничиться знанием основных размеров элементов конструкции;
- использование виртуальной модели позволяет избежать рисков, связанных с проведением испытаний, нахождением на рабочих местах с повышенной опасностью;
- создание модели не требует от оператора глубоких знаний в электротехнике, сложность заключается лишь в освоении программного обеспечения;
- появляется возможность проанализировать рабочий процесс электродвигателя при изменении материалов обмотки изоляции, что может поспособствовать повышению качества капитальных ремонтов АЭД, а с этим повысить надежность подвижного состава и безопасность на транспорте;
- полученное распределение по тепловым и электромагнитным полям позволяет оценить слабые места и провести доработку отдельных элементов конструкции.

С целью разработки более энергоэффективного и надежного АЭД были поставлены и реализованы следующие задачи исследования:

- создана модель вспомогательного асинхронного двигателя АЭ92-4 электровоза ВЛ80<sup>С</sup>;
- получена картина распределения электромагнитного и температурного полей в номинальном режиме работы и на холостом ходу с целью прогнозирования наработки на отказ изоляции обмоток.

Весь расчет с помощью таких программ проводится обычно в интерактивном режиме. Программа разбивает моделируемое пространство на конечные элементы (треугольники, прямоугольники, тетраэдры, параллелепипеды и пр.). Необходимо только построить модель, ввести свойства материалов и граничные условия, запустить расчет и вывести его результаты в числовом и графическом виде. Весь процесс анализа весьма нагляден, как правило, он сопровождается графическими построениями на экране компьютера [1, 2].

Одним из элементов, входящих в *Ansys* является *Emag*. Этот пакет ориентирован на решение задач низкочастотных электромагнитных устройств, электродвигателей, реле и соленоидов. Обеспечивает всесторонний анализ различных электромагнитных явлений на всех этапах проектирования. Визуализированная модель статора АЭД представлена на рисунке 2.

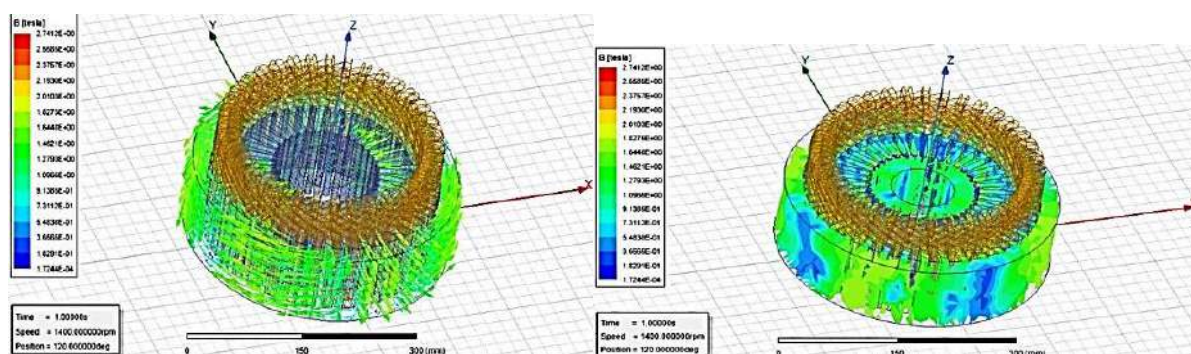


Рисунок 2 – Анализ распределения полей 3D-модели *Ansys Electronics*

Рассмотренные 3D-модели электромагнитных процессов АЭД позволяют оценить эффективность электрической машины, усовершенствовать конструкцию по критериям пропускной способности электротехнической стали и температуры обмоток, создают предпосылки для более точных прогнозов по остаточному ресурсу изоляции, а также позволяют делать коррективы при ремонтах асинхронных электродвигателей.

## Список литературы

1 **Оконечников, А. С.** Прочностные и динамические расчеты в программном комплексе *Ansys Workbench* : учеб. пособие / А. С. Оконечников, Д. О. Сердюк, Г. В. Федотенков. – М. : Изд-во МАИ, 2021. – 104 с.

2 **Буль, О. Б.** Методы расчета систем электрических аппаратов. Программа *ANSYS* : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / О. Б. Буль. – М. : Академия, 2006. – 288 с.

УДК 656.254

## РОЛЬ ИНФОТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В РАЗВИТИИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

*С. А. НАДЕЖКИНА, С. В. ДУШЕЙКО*

*Самарский государственный университет путей сообщения, Российская Федерация*

В развитии железнодорожной отрасли непосредственное использование информационно-телекоммуникационных технологий является необходимостью, поскольку они являются одним из самых лучших способов повышения качества управления производством. Благодаря телекоммуникациям становится проще передавать информацию на дальнее расстояние без особых потерь данных, уменьшать влияние человеческого фактора, повышать в значительной мере производительность труда [1].

Появление современных инфокоммуникационных технологий прокладывают новый путь для качественного функционирования транспортных предприятий [2, 3]. Использование новых технологий повышает безопасность движения транспортных средств, благоприятно сказывается на своевременном исправлении неполадок в транспортировке и повышает оперативность и надежность принятия решений на всех этапах транспортной системы, а также улучшает сервис для пассажиров и грузоотправителей.

Одной из основных функций инфотелекоммуникационных технологий в железнодорожной отрасли является автоматизация и управление железнодорожным движением. Благодаря системам автоматического контроля и управления поездами можно уменьшить вероятность возникновения аварийных ситуаций и сократить время задержек. Это достигается за счет использования информационных систем, с помощью которых операторы могут отслеживать положение и состояние поездов в реальном времени, координировать их движение, а также предупреждать о возможных проблемах на пути следования.

Телекоммуникационная сеть на железнодорожном транспорте является важной инфраструктурой, которая обеспечивает связь и передачу информации между различными объектами и участниками железнодорожного движения.

Основная цель телекоммуникационной сети на железной дороге – обеспечить безопасность, эффективность и надежность работы системы железнодорожного транспорта. Она включает в себя различные элементы, такие как передача голосовой информации, передача данных, видеонаблюдение, контроль и управление железнодорожными системами.

Приоритетные задачи телекоммуникационной сети включают в себя следующие:

1 Голосовая связь: обеспечение связи между сотрудниками железнодорожной отрасли, диспетчерами и другими участниками процесса транспортировки грузов и пассажиров.

2 Передача данных: обмен информацией о состоянии путей, состава поездов, графиках движения, обслуживание телекоммуникационных систем и другие данные, необходимые для организации безопасного и эффективного движения поездов.

3 Видеонаблюдение: установка камер видеонаблюдения на станциях, на платформах и депо, чтобы обеспечить контроль и безопасность пассажиров и грузов [4].

4 Управление и контроль: сети сбора и передачи данных обеспечивают мониторинг и управление работой системы железнодорожного транспорта. Все данные от всех сегментов системы собираются, обрабатываются и анализируются, чтобы обеспечить надежное и эффективное функционирование транспортной отрасли [5].

Телекоммуникационная сеть на железной дороге состоит из нескольких компонентов, включая оптические кабели, радиосистемы, спутниковую связь, а также передатчики и приемники сигналов.

Железнодорожный транспорт использует различные телекоммуникационные технологии для обеспечения связи, безопасности и управления [6]. Некоторые из них включают:

- радиосвязь. Используется для обмена информацией между поездами, диспетчерами и другими сотрудниками железной дороги. Радиосвязь позволяет передавать важные сообщения о безопасности, расписаниях и других операционных деталях;

- мобильные телефоны и сотовая связь. Позволяют коммуницировать между сотрудниками железной дороги на различных уровнях организации;

- Интернет и сети передачи данных. Используются для обмена информацией и передачи данных между различными системами железнодорожного транспорта.

Это лишь некоторые из технологий, используемых в железнодорожной отрасли. Все они играют важную роль в обеспечении безопасности, эффективности и связи в функционировании железнодорожного транспорта.

Телекоммуникационные технологии – это огромный шаг в будущее, сильно упростившее реализацию всех работ на железной дороге, повышение эффективности и конкурентоспособности. Благодаря развитию современных телекоммуникационных технологий повышается безопасность и качество не только пассажирских перевозок, а также грузовых, становится легче выявление возникших проблем и их своевременное устранение, также современное оборудование позволяет более качественно и надежно поддерживать связь на различных этапах эксплуатации оборудования.

Нельзя не отметить, что инфотелекоммуникационные технологии становятся важным звеном современной инфраструктуры железнодорожного транспорта и играют ключевую роль в его развитии. Необходимость постоянного внедрения новых IT-решений и развития сетевой инфраструктуры нельзя недооценивать, поскольку это позволит оптимизировать все процессы и улучшить качество предоставляемых услуг. Все это способствует модернизации и совершенствованию железнодорожной отрасли и делает ее более современной и конкурентоспособной на мировом рынке перевозок.

Таким образом, инфотелекоммуникационные технологии играют ключевую роль в развитии железнодорожного транспорта. С их помощью повышается эффективность и надежность движения железнодорожных транспортных средств, а также улучшается сервис для пассажиров и грузоотправителей. Дальнейшее развитие этих технологий будет способствовать совершенствованию железнодорожной отрасли и созданию еще более комфортных условий для путешествий и транспортировки грузов.

#### Список литературы

1 Цифровой помощник проводника вагона / Е. М. Тарасов [и др.] // Научно-технический вестник Поволжья. – 2023. – № 5. – С. 165–171.

2 Кочетова, А. О. К вопросу подготовки специалистов в сфере телекоммуникационных технологий на железнодорожном транспорте / А. О. Кочетова, В. А. Надежкин, А. Л. Золкин // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2023. – Т. 25, № 1(111). – С. 92–98. – DOI 10.37313/1990-5378-2023-25-1-92-98.

3 Формирование кадрового потенциала на железнодорожном транспорте: тенденции подготовки специалистов в сфере телекоммуникационных технологий / Е. М. Тарасов [и др.] // Научно-технический вестник Поволжья. – 2023. – № 3. – С. 111–117.

4 Сарычева, С. А. Видеофиксация препятствий на железнодорожном переезде на ходу поезда / С. А. Сарычева, В. А. Надежкин // Молодежная наука: вызовы и перспективы : материалы V Всерос. науч.-практ. конф. студентов и молодых ученых, Самара, 18–29 апреля 2022 года / отв. ред. О. В. Карсунцева. – Самара : Самарский гос. техн. ун-т, 2022. – С. 304–306.

5 Сарычева, С. А. Особенности обеспечения экономической безопасности железнодорожного транспорта / С. А. Сарычева, В. А. Надежкин // Проблемы безопасности на транспорте : Материалы XII Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 160-летию Белорусской железной дороги. В 2 ч., Гомель, 24–25 ноября 2022 года / под общ. редакцией Ю. И. Кулаженко. Ч. 2. – Гомель : БелГУТ, 2022. – С. 348–350.

6 Особенности изучения передачи пакетной информации по технологиям компьютерных сетей обучающимися железнодорожных вузов / А. Е. Тарасова [и др.] // Мягкие измерения и вычисления. – 2023. – Т. 63, № 2. – С. 66–86. – DOI:10.36871/2618-9976.2023.02.005.



## СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ЗАКРЕПЛЕНИЯ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

*И. А. ОЛЬГЕЙЗЕР, К. И. КОРНИЕНКО*

*Ростовский филиал АО «Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте», Российская Федерация*

До сих пор основными устройствами [1, 2] закрепления составов на путях станций являются тормозные башмаки [3] и устройства закрепления составов УТС-380 [4].

Очевидными недостатками закрепления тормозными башмаками являются:

- ручной способ закрепления – высокое влияние человеческого фактора;
- низкий срок службы башмака (приблизительно 1-2 месяца) [5];
- зависимость количества укладываемых башмаков от продольного уклона путей и количества осей в подвижном составе [6].

Применение УТС-380 позволяет механизировать процесс закрепления и облегчить труд составителя в части укладки тормозных башмаков. Недостатком существующего процесса закрепления с помощью указанного устройства является сложный процесс технологического и технического взаимодействия работников. В процесс закрепления вовлечены дежурный по парку (выдача команды), составитель (контроль позиционирования, управление упором, контроль положения упора) и машинист (ведение поезда). Управление упором осуществляется от местного пульта управления, увязанного с релейной схемой поста ЭЦ, которая в свою очередь увязывается с электрической централизацией.

Специалистами АО «НИИАС» на протяжении нескольких последних лет ведется интенсивная работа в области автоматизации процессов заграждения и закрепления составов в парках станции [7]. В рамках концепции Цифровой железнодорожной станции (ЦЖС) [8] разработана схема процесса автоматического закрепления, при которой автоматическая система позиционирования прибывающего для закрепления состава (комплекс ПРИЦЕЛ разработки АО «НИИАС», описан ниже) (рисунок 1) будет взаимодействовать с бортовой аппаратурой локомотива и автомашинистом (разработки АО «НИИАС»), с электрической централизацией и программно-аппаратным комплексом контроля и управления устройствами закрепления (ПАК КУЗС – разрабатывается АО «НИИАС» в настоящее время).

Преимуществом такой схемы является отсутствие человека в опасной зоне и возможность полной автоматизации процесса при наличии увязки с системой автоведения и задания на закрепление от модуля-планировщика ЦЖС.

На основании разработанной схемы процесса автоматического закрепления были определены основные направления работы института [9] в части автоматизации процессов закрепления и заграждения составов на станции:

- разработка методик расчета и размещения балочных заграждающих устройств и домкратовидных устройств закрепления;
- разработка аппаратуры контроля и управления балочными устройствами заграждения и закрепления;
- разработка комплекса позиционирования и контроля закрепления составов на путях станций.

С 2015 года [10] институт занимается разработкой схем размещения устройств закрепления, а также научным и экономическим обоснованием расчетов оптимальности применения тех или иных устройств закрепления в зависимости от параметров и технологии работы станции (весовые нормы закрепляемых составов, профиль путей парков станций и т.п.).

В части контроля и управления заграждением специалистами АО «НИИАС» разработана и внедряется Аппаратура контроля и управления балочными заграждающими устройствами (АКУ БЗУ). Аппаратура АКУ БЗУ предназначена:

- для предотвращения выхода отцепов за полезную длину пути;
- вывода работников станции из опасной зоны;
- повышения безопасности перевозочного процесса за счет минимизации человеческого фактора.

В настоящий момент балочные заграждающие устройства производства концерна «Трансмаш» под управлением АКУ БЗУ внедрены на двух сортировочных горках. Идет внедрение еще на трех сортировочных горках.

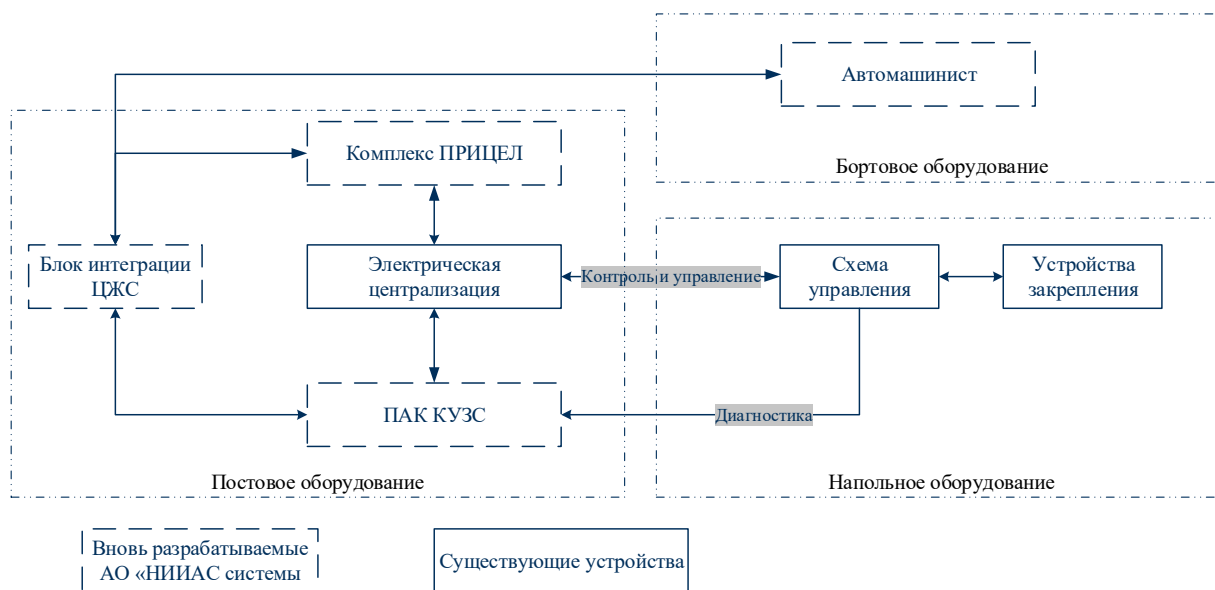


Рисунок 1 – Структурная схема системы автоматического закрепления

Для управления устройствами закрепления АО «НИИАС» разрабатывает программно-аппаратный комплекс контроля и управления устройствами закрепления (ПАК КУЗС). ПАК КУЗС будет увязываться с устройствами электрической централизации и балочными устройствами закрепления. Важным фактором успешного внедрения автоматизированного закрепления является взаимодействие АО «НИИАС» и заводов-изготовителей на всех этапах разработки новых устройств.

Кроме этого, специалистами института, по предложению Центральной дирекции управления движением, прорабатываются варианты оптимизации схемы размещения устройств закрепления, в частности комбинирования существующих и дополнительных устройств закрепления. Предлагается рассмотреть возможность комбинированного использования механизированного устройства закрепления УТС-380 и новых устройств закрепления для демпфирования наката на УТС-380 (например, домкратовидных устройств закрепления [10]) после позиционирования и отпуска тормозов.

Преимуществами предлагаемого решения являются:

- уменьшение количества необходимых новых устройств закрепления;
- повышение безопасности за счет комбинирования устройств, работающих на разных принципах, и взаимная компенсация их недостатков.

Исходя из концепции ЦЖС позиционирование подвижного состава в устройствах закрепления должно производиться без участия человека. Именно поэтому специалистами института была инициирована разработка Комплекса позиционирования подвижного состава в устройствах закрепления составов на путях станций «ПРИЦЕЛ» [11, 12].

Комплекс «ПРИЦЕЛ» предназначен:

- для автоматизации позиционирования и контроля размещения подвижного состава в устройствах закрепления,
- контроля положения устройств закрепления;
- увязки с электрической централизацией и передачи информации о расположении состава и требуемом смещении на борт локомотива.

В качестве дальнейших направлений работы в части автоматизации процесса закрепления подвижного состава необходимо обозначить:

- комплексный подход в реализации систем и устройств автоматизации закрепления подвижного состава и максимального исключения влияния человеческого фактора с учетом обеспечения функциональной безопасности;

– поиск технических решений для оптимизации затрат на автоматизацию процесса закрепления, в том числе за счет комбинированного использования новых и уже эксплуатируемых устройств, а также проведение необходимого комплекса испытаний разрабатываемых институтом и изготавливаемых отечественной промышленностью систем и устройств закрепления подвижного состава;

– совместную работу института с производителями устройств закрепления для комплексной проработки технических и технологических аспектов внедрения устройств автоматизации подвижного состава.

#### Список литературы

- 1 Пасичный, А. Н. Обзор современных технических средств для закрепления подвижного состава на станционных путях / А. Н. Пасичный. – 2013. – № 2. – С. 80–85.
- 2 Кобзев, В. А. Развитие технических средств обеспечения безопасности станционных процессов: учеб. пособие / В. А. Кобзев. – М. : МИИТ, 2008. – 76 с.
- 3 Ильин, А. М. Повышение надежности закрепления подвижного состава на станционных путях / А. М. Ильин, О. Н. Числов, А. С. Боева // Железнодорожный транспорт. – 2020. – № 10. – С. 24–29.
- 4 УТС-380 будет работать надежней // Автоматика, связь, информатика. – 2018. – № 6. – С. 45.
- 5 Стояночные тормозные башмаки для закрепления подвижного состава на станционных путях. Полигонные испытания / Д. П. Марков [и др.] // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – 2016. – Т. 75, № 5. – С. 308–317.
- 6 Ильин, А. М. Многовариантная верификационная методика расчета норм закрепления подвижного состава на железнодорожных путях станций / А. М. Ильин, О. Н. Числов // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2020. – № 3 (79). – С. 115–123. – DOI: 10.46973/0201-727X\_2020\_3\_115.
- 7 Розенберг, И. Н. Инновации на железнодорожном транспорте / И. Н. Розенберг, А. Н. Шабельников // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2017. – № 3 (67). – С. 112–118.
- 8 Концепция «Цифровая железнодорожная станция», утвержденная ОАО «РЖД» 07.11.2018 распоряжение № 1049.
- 9 Бочков, А. В. Об актуальных задачах и направлениях научно-технологического развития АО «НИИАС». Январь–май 2023 г. / А. В. Бочков // Наука и технологии железных дорог. – 2023. – Т. 7, № 2 (26). – С. 3–16.
- 10 Патент № 2618656 С1 Российская Федерация, МПК В61L 3/00. Система закрепления составов на путях железнодорожной станции : № 2016107405 : заявл. 01.03.2016 : опубли. 05.05.2017 / В. А. Гапанович [и др.] ; заявитель Открытое акционерное общество «Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте».
- 11 Автоматизация позиционирования подвижного состава в системах закрепления на железнодорожных станциях / И. А. Ольгейзер [и др.]. – 2023. – № 3. – С. 2–5. – DOI: 10.34649/AT.2023.3.3.001.
- 12 Перспективы внедрения комплекса позиционирования и контроля закрепления составов на путях железнодорожных станций «Прицел» / [А. Е. Хатламаджиян [и др.]] // Вестник Института проблем естественных монополий: Техника железных дорог. – 2023. – № 3 (63). – С. 28–33.

УДК 656.25

### ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ FMECA-АНАЛИЗА

С. Н. ХАРЛАП, В. Л. КАТКОВ, Е. П. ЛИТВИНОВ

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Постоянное развитие элементной базы систем железнодорожной автоматики и телемеханики (СЖАТ) ведет к появлению новых сложных технических систем и электронных устройств. Современные тенденции развития СЖАТ – это повсеместное внедрение информационных технологий, переход к цифровым системам, объединение возможностей различных устройств и другое, но неизменным остается требование к обеспечению функциональной безопасности и надежности данных систем.

Поэтому перед внедрением микроэлектронных систем и устройств железнодорожной автоматики в соответствии с требованиями нормативных документов разработчик обязан подтвердить функциональную безопасность внедряемых систем. Основным методом доказательства, рекомендованным стандартами, служит анализ видов, последствий и критичности отказов (*Failure Mode Effects and Criticality Analysis – FMECA*) [1].

FMECA-анализ включает в себя этапы определения критериев отказов, видов отказов, их имитации в различных режимах работы, анализ последствий и расчет вероятности возникновения опасных отказов. Анализ является обязательным при доказательстве безопасности систем.

Эксперты при выполнении *FMECA* анализа сталкиваются со следующими проблемами: высокая сложность систем, длительный и рутинный характер выполнения анализа, обуславливающие высокую вероятность ошибок человека. Несмотря на недостатки, анализ необходим, все этапы его строго регламентированы. Частично решить эти проблемы можно автоматизацией проведения анализа на базе имитационной модели устройства. На данный момент существуют следующие программные комплексы, способные частично решить проблему автоматизации *FMECA*-анализа:

*RAM Commander* – это система методологии *RAMS* (*Reliability Availability Maintenance Safety* – безотказность, готовность, ремонтпригодность, безопасность) [2], программный комплекс технических и математических инструментов, охватывающих весь спектр задач оценки уровня надежности инженерной системы. Основанный на вероятностных расчетах, сложный математический аппарат *RAM Commander* реализуется в максимально понятные формы и позволяет провести необходимые расчеты и получить практические характеристики, необходимые для совершенствования современной продукции.

*RAM Commander* позволяет вычислять среднюю наработку на отказ/критический отказ (*MTBF/MTBCF*), среднее время на ремонт (*MTTR*), среднее время между устранениями отказов (*MTBMA*) и др.

К достоинствам данного программного обеспечения можно отнести: создание платформы для комплексной системы реализации стратегии предприятия по улучшению качества и сокращению стоимости жизненного цикла разрабатываемых изделий, обеспечение выполнения отчетов по надежности в соответствии с принятыми государственными и отраслевыми стандартами, единая база расчетов надежности по всем проектам, организация сквозного процесса контроля надежности изделий, повышение достоверности результатов и возможностей по оптимизации изделия, поддержка подготовки к сертификации изделия [3].

Недостатками являются высокая коммерческая стоимость и отсутствие исходного кода для индивидуальной кастомизации продукта.

Программный продукт *FavoWeb* – это работающая в Интернете динамическая *FRACAS*-система (*Failure Reporting Analysis and Corrective Action System* – Система оповещения об отказах, анализе и корректирующих действиях). Многие зарубежные компании, например компания *Lockheed Martin*, широко используют систему *FRACAS*.

Программный продукт *FavoWeb* основан на современных возможностях интернет-технологий и реализует полный замкнутый цикл методологии *FRACAS*, который применим к любому продукту, услуге, процессу. Может быть использован в любой фазе жизненного цикла: разработке, макетировании, производстве, эксплуатации, техническом обслуживании, контроле, испытании; в любой отрасли: авиации, обороне, связи, электронике, фармацевтике, автомобилестроении, бытовой технике.

Система *FRACAS* позволяет создавать базы данных, переводя разнородные данные в структурированную информацию о качестве. Имеет мощный механизм корректирующих действий: поддержка работы групп анализа отказов/дефектов/материалов, анализ глубинных причин отказов, устранение проблем. Содержит модуль *Workflow* для автоматизации извещения об отказах и серийных номерах.

Программа предлагает широкий набор функций, возможностей оценки и улучшения надежности оборудования благодаря тесной интеграции с системой анализа *RAM Commander*.

Программные комплексы *Relex* и *Risk Spectrum* позволяют проводить логико-вероятностный анализ надежности и безопасности технических систем, например, расчет надежности современных автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП), оптимизацию техногенного риска и определение оптимальных параметров системы технического обслуживания потенциально опасных объектов.

Основное применение *Risk Spectrum* получил в вероятностном анализе безопасности объектов атомной энергетики на стадии проектирования. Комплекс используется более чем на 50 % атомных станций мира, включен в перечень программных средств, аттестованных во многих странах. *Relex* и *Risk Spectrum* могут быть использованы для расчета надежности не только управляющих или технологических систем, но и изделий приборостроения, вычислительной техники, на транспорте, в оборонной технике.

Наиболее известным на постсоветском пространстве является программный комплекс автоматизированного структурно-логического моделирования (ПК АСМ). Его теоретической основой является общий логико-вероятностный метод системного анализа, реализующий все возможности

основного аппарата моделирования алгебры логики в базе операций «И», «ИЛИ», «НЕ». Форма представления исходной структуры системы – схема функциональной целостности, позволяющая отображать практически все известные виды структурных моделей систем. Комплекс автоматически формирует расчетные аналитические модели надежности и безопасности систем и вычисляет вероятность безотказной работы, среднюю наработку до отказа, коэффициент готовности, среднюю наработку на отказ, среднее время восстановления, вероятность отказа восстанавливаемой системы, вероятность готовности смешанной системы, а также значимость и вклад элементов в различные показатели надежности системы в целом. ПК АСМ позволяет также автоматически определять кратчайшие пути успешного функционирования, минимальные сечения отказов и их комбинации.

Также на российском рынке представлена успешно развивающаяся подсистема АСОНИКА-К – программное средство решения задач анализа и обеспечения надежности в рамках автоматизированного проектирования радиоэлектронной аппаратуры (РЭА). По своим возможностям подсистема АСОНИКА-К не уступает RBD-модулям зарубежных программных комплексов *A.L.D. Group (RAM Commander)*, *Relax*, *Isograph* и др. АСОНИКА-К позволяет вести расчет надежности РЭА, производимой в России, на основе данных, приведенных в отечественных справочниках «Надежность электрорадиоизделий», «Надежность электрорадиоизделий зарубежных аналогов».

Следует отметить, что актуальной является проблема разработки отечественных программных комплексов для автоматизированного моделирования и расчета статических и динамических показателей надежности и безопасности сложных технических систем, что обусловлено объективными трудностями использования для этих целей программ зарубежной разработки – так как все вышеперечисленные программные продукты обладают высокой стоимостью, технологической зависимостью и проблемами подготовки кадров. Поэтому в «НИЛ БЭМС ТС» на базе БелГУТа ведется разработка собственного программного комплекса, который в будущем, как предполагается, сможет выполнять большинство пунктов FMECA-анализа в автоматическом режиме.

Программное обеспечение базируется на программе *ngSpice* [4], которая использует для моделирования ядро *SPICE* – общепризнанный эталон в области моделирования электронных схем. Используется открытое, свободно распространяемое программное обеспечение. В настоящее время решены задачи автоматизации для этапов определения видов отказов, их имитации и протоколирования результатов. Ведется работа над определением последствий и критичности отказов в соответствии с установленными критериями.

#### Список литературы

- 1 Failure Mode, Effects & Criticality Analysis (FMECA) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://quality-one.com/fmea/>. – Дата доступа : 16.09.2023.
- 2 RAM Commander [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://s-labs.ru/index.php/73-areas-of-work/170-ramc>. – Дата доступа : 17.09.2023.
- 3 Обзор программных комплексов по расчету надежности сложных технических систем [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://kit-e.ru/obzor-programmnyh-kompleksov-po-raschetu-nadezhnosti-slozhnyh-tehnicheskikh-sistem/>. – Дата доступа : 18.09.2023.
- 4 Ngspice User's Manual Version 40 plus (ngspice release version) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://ngspice.sourceforge.io/>. – Дата доступа : 19.09.2023.

УДК 656.25

## ОЦЕНКА КОРРЕКТНОСТИ МЕТОДИКИ РАСЧЁТОВ УРОВНЯ ГАРМОНИЧЕСКИХ ПОМЕХ ОТ ТЯГОВОГО ТОКА

*В. И. ШАМАНОВ, Д. В. ДЕНЕЖКИН*

*Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва*

На железных дорогах мира, в том числе в России и Беларуси, для контроля свободности участков пути и отсутствия на них излома рельсов широко используются рельсовые цепи (РЦ). На электрифицированных железных дорогах основным источником помех на работу РЦ и автоматической локомотивной сигнализации (АЛС) являются гармоники тягового тока. Уровень этих помех зависит от разности тяговых токов в местах подключения к рельсам приемников РЦ или под катушками АЛС. Величина этой разности (асимметрия) является основной при оценке электромагнитной обстановки для систем интервального регулирования движения поездов.

При расчетах режимов работы РЦ рельсовые линии представляется пассивным четырёхполюсником [1]. Однако для расчётов характера распределения по рельсовым линиям тягового тока более удобно рассматривать их в виде сложных электрических цепей, в которых рельсовая линия представляется в виде каскадного соединения шестиполюсников. Требуемая точность такой замены обеспечивается за счёт разделения рельсовой линии на отдельные отрезки, по длине которых продольные и поперечные сопротивления рельсовых линий изменяются в допустимых пределах [2, 3].

Разработанная методика расчётов уровней помех от тягового тока при таком представлении неоднородной рельсовой линии по величине входных сопротивлений на её отдельных участках не обеспечивает достаточно простого определения характера распределения токов по продольным и поперечным элементам линии [4]. Этому недостатка лишена методика расчётов с использованием метода контурных токов [5]. Проведение расчётов упрощается при использовании ЭЦВМ.

Корректность (валидация) этой методики расчётов помех от тягового тока проверена сравнением результатов, полученных при её использовании, с результатами измерения уровней переменных тяговых токов в рельсовых линиях и его асимметрии в условиях эксплуатации на участках Транссибирской магистрали, электрифицированных на переменном токе. Измерения выполнены научными сотрудниками ИрГУПС. Проводились также сравнения с результатами, полученными по другим методикам расчётов разными авторами.

Сравнение результатов расчётов по разработанной методике изменения величины первой гармоники тягового тока в рельсовой линии при приближении поезда к РЦ (рисунок 1, а) с результатами измерений такой величины по мере приближения поезда к границе станции Подкаменная ВСЖД (рисунок 1, б) подтверждает достоверность данных, получаемых при использовании рассматриваемой методики.

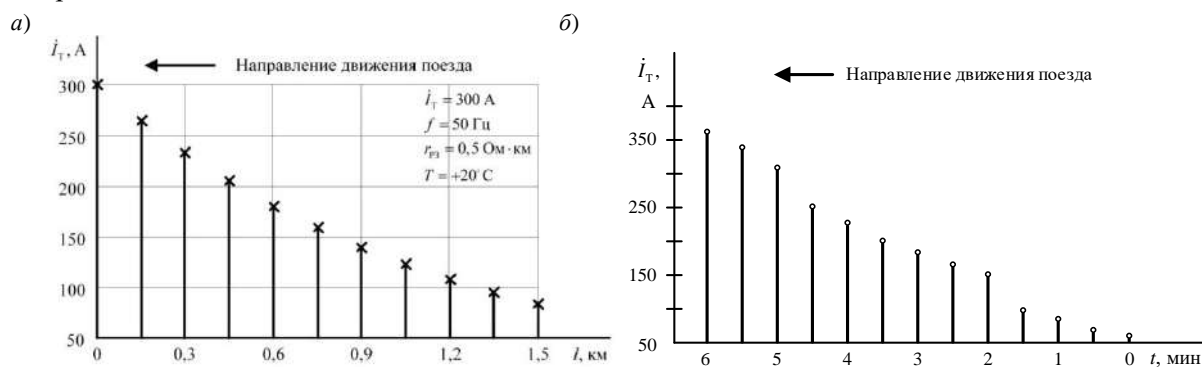


Рисунок 1 – Изменение величины первой гармоники тягового тока при приближении поезда к РЦ: а – результаты расчётов, б – результаты эксперимента

Корректность разработанной методики проверена также анализом результатов из других источников по определению изменения асимметрии первой гармоники тягового тока под приёмными локомотивными катушками АЛС. На рисунке 2, а представлены графики изменения коэффициента асимметрии тягового тока. Кривая 1 получена решением дифференциальных уравнений распределения тока и напряжения по длине однородной линии, кривая 2 – вычислением входных сопротивлений рельсовых нитей [4], кривая 3 – с использованием разработанной методики.

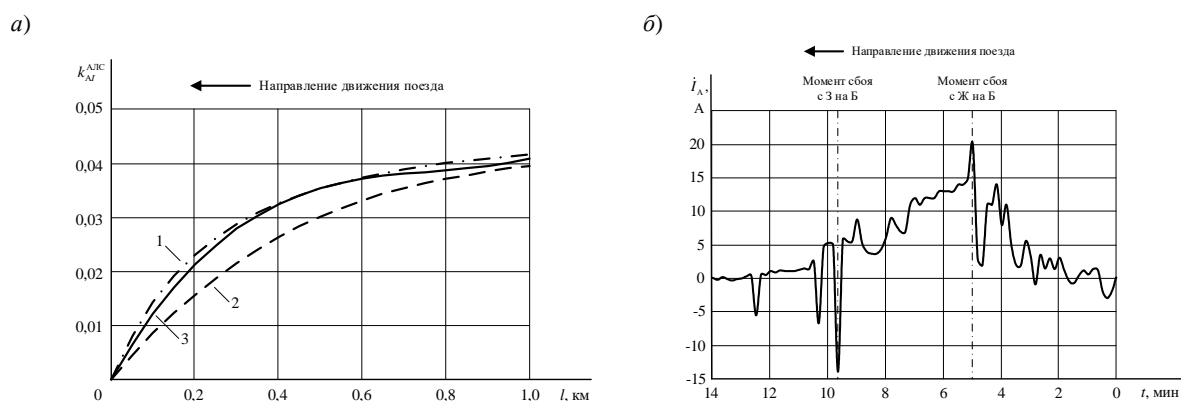


Рисунок 2 – Изменения коэффициента асимметрии первой гармоники тягового тока по длине однородной рельсовой линии: а – результаты расчётов; б – экспериментальные данные

Видно хорошее совпадение результатов расчётов, полученных решением дифференциальных уравнений (кривая 1) с результатами расчётов по разработанной методике (кривая 3). При расчётах, по результатам которых построена кривая 2, не учитывалось влияние взаимной индуктивности рельсовых нитей по длине рельсовой линии.

Проверена также достоверность получаемых по разработанной методике результатов того, как изменяется асимметрия обратного тягового тока при движении поезда по несимметричной рельсовой линии. Для сравнения взяты результаты измерения в кабине электровоза величины асимметрии переменного тягового тока под катушками АЛСН при движении поезда по одному из перегонов Красноярской железной дороги (рисунок 2, б).

На большей части перегона тяговый ток интенсивно стекал через цепи заземления, и, когда его асимметрия превышала 16 А, происходил сбой в работе АЛСН. Рост величины продольной асимметрии сопротивления рельсовой линии при приближении поезда к станции привёл ко второму сбою в работе АЛСН. Волнистый характер полученных кривых вызван наличием на этом участке отрезков рельсовых нитей с плохим состоянием токопроводящих соединений рельсовых звеньев. Сравнение результатов этих измерений с результатами расчётов по разработанной методике показало их хорошую сходимость.

Таким образом, получаемые с использованием разработанной методики результаты удовлетворительно согласовываются с результатами соответствующих измерений в условиях эксплуатации и с результатами расчётов, выполненных другими авторами по другим методикам. Это подтверждает корректность данной методики.

#### Список литературы

- 1 **Брылеев, А. М.** Электрические рельсовые цепи / А. М. Брылеев, Н. Ф. Котляренко. – М. : Транспорт, 1970. – 256 с.
- 2 Основы теории цепей / Е. Г. Зевеке [и др.]. – М. : Энергия, 1975. – 751 с.
- 3 **Шаманов, В. И.** Расчётные электрические схемы рельсовых линий / В. И. Шаманов, Д. В. Денежкин // Проблемы безопасности на транспорте : материалы XII Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 160-летию Белорусской железной дороги. Ч. 1. – Гомель : БелГУТ. 2022. – С. 230–232.
- 4 **Шаманов, В. И.** Оценивание электромагнитной обстановки для аппаратуры автоматики и телемеханики на электрифицированных участках железных дорог / В. И. Шаманов // Автоматика на транспорте. – 2022. – Т. 8, № 3. – С. 234–252.
- 5 **Шаманов, В. И.** Помехи от гармоник тягового тока в рельсах на системы автоматической локомотивной сигнализации и рельсовые цепи / В. И. Шаманов, Д. В. Денежкин // Электротехника. – 2023. – № 9. – С. 51–54.

УДК 656.259.12

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДЕСТАБИЛИЗИРУЮЩИХ ФАКТОРОВ НА ЗНАЧЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ШУНТОВОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ РЕЛЬСОВОЙ ЦЕПИ

*Д. В. ШВАЛОВ, Е. Р. ПЛЕЧИСТОВА, А. Д. МАМОНТОВА*

*Ростовский государственный университет путей сообщения, г. Ростов-на-Дону,  
Российская Федерация*

Отступления от норм содержания рельсовых цепей в части необеспечения шунтового эффекта приводят к крушениям поездов из-за перевода стрелки под составом или открытия светофора, ограждающего занятый участок пути (станция Ясиноватая в 1993 и 1996 гг., станция Колокша в 1997 г., перегон Гжель – Овражки в 2005 г., станция Кутан в 2012 г. и другие известные случаи). Известные средства технического диагностирования и мониторинга устройств железнодорожной автоматики и телемеханики имеют возможность выявления ложной свободности путем контроля логической последовательности занятия рельсовых цепей, но не решают задачу автоматической идентификации причин, вызывающих ухудшение шунтового эффекта. В этой связи представляет интерес исследование возможности выявления факта и причин ухудшения (невыполнения) шунтового эффекта на основе использования данных о значениях параметров рельсовых цепей и фактическом местоположении подвижных единиц в пределах рельсовых цепей.

Принципы построения модели изменения параметров сигнального тока на входе путевого приемника в динамике движения подвижной единицы по рельсовой цепи от момента вступления до момента освобождения изложены в [1]. Рассмотрим экспериментальную методику расчета коэффициента чувствительности рельсовой цепи к фактическому поезвному шунту – исследование динамики изменения коэффициента в одних и тех же точках рельсовой линии при нормальных условиях

эксплуатации и при воздействиях различных дестабилизирующих факторов. В качестве таких факторов выбраны загрязнение поверхностей головок рельсов непроводящим материалом (например, песком) на протяжении участка конечной длины и загрязнение поверхностей колес одного вагона (последнего вагона в составе) непроводящим материалом (например, мазутом). Расчетная схема замещения рельсовой цепи показана на рисунке 1, где использованы следующие обозначения:

- $U, I$  – напряжение, ток источника питания рельсовой цепи;
- Н и К – четырехполосники, замещающие аппаратуру соответственно питающего и релейного конца рельсовой цепи, с коэффициентами соответственно  $A_n, B_n, C_n, D_n$  и  $A_k, B_k, C_k, D_k$ ;
- $A_{ш}, B_{ш}, C_{ш}, D_{ш}$  – коэффициенты общего четырехполосника, замещающего рельсовую линию с наложенным на нее поездным шунтом;
- $Z_{рл1}$  – свободная от подвижного состава часть рельсовой линии между поездным шунтом и питающим концом;
- $Z_{рл2}$  – свободная от подвижного состава часть рельсовой линии между поездным шунтом и релейным концом;
- $R_{ш}$  – сопротивление поездного шунта;
- $U_{шп}, I_{шп}$  – напряжение, ток на входе путевого приемника  $Z_{шп}$ .

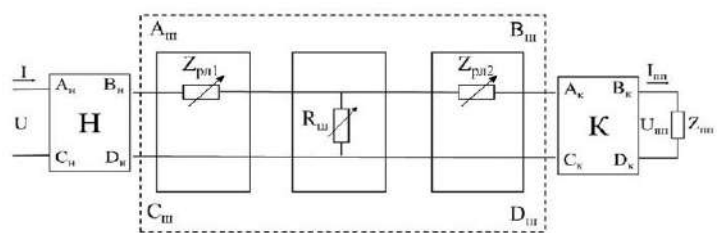


Рисунок 1

По выбранной схеме замещения выражение для расчета коэффициента шунтовой чувствительности рельсовой цепи в любой момент времени в процессе движения по ней подвижной единицы (поезда) можно получить, пользуясь типовой методикой расчета рельсовых цепей согласно [2]:

$$K_{ш} = \frac{I_{шп} \left| K'_{тн} K_{тк} \left( A_{ш} Z_{вх к} + B_{ш} + Z'_{вх н} \cdot (C_{ш} Z_{вх к} + D_{ш}) \right) \right|}{|U|},$$

где значения  $K'_{тн}, K_{тк}, Z_{вх к}, Z_{вх н}$  рассчитываются согласно [2] и являются постоянными для конкретного расчета величинами, а значения коэффициентов  $A_{ш}, B_{ш}, C_{ш}, D_{ш}$  рассчитываются в зависимости от местоположения поездного шунта и длины свободной части рельсовой линии [1] и являются переменными величинами.

Результаты расчета коэффициента чувствительности рельсовой цепи к фактическому поездному шунту при воздействиях указанных выше дестабилизирующих факторов показано на рисунке 2. Исследование динамики изменения искомого коэффициента в одних и тех же точках рельсовой линии при отсутствии влияний (график 1), при потере шунта всеми колесными парами последнего вагона в составе (2) и при загрязнении поверхностей головок рельсов непроводящим материалом (3) позволяет сделать вывод о причинах снижения фактической шунтовой чувствительности, а также выявить участки рельсовой линии, для которых фактический коэффициент шунтовой чувствительности ниже нормативного.

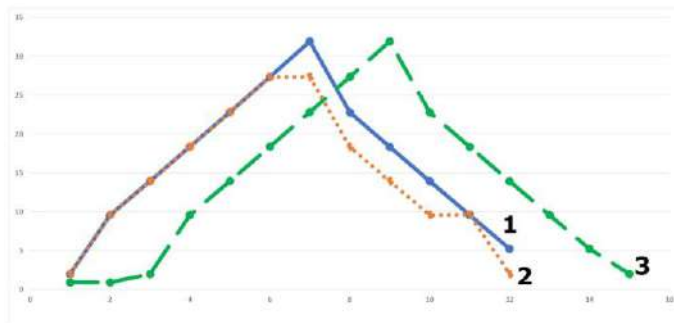


Рисунок 2



Динамика изменения значений фактического коэффициента шунтовой чувствительности может быть использована при реализации алгоритма логического распознавания характера занятия рельсовой цепи – фактического или ложного, что может быть использовано для организации технического обслуживания рельсовых цепей «по состоянию» (ситуационного управления) [3, 4]. Такой алгоритм при реализации в системе технического диагностирования и мониторинга может стать дополнительным каналом получения информации наряду с известными алгоритмами логического контроля последовательного занятия и освобождения рельсовых цепей, реализуемыми в системах централизации стрелок и светофоров.

#### Список литературы

1 Швалов, Д. В. Динамическая модель фазочувствительной рельсовой цепи в шунтовом режиме / Д. В. Швалов, Е. Р. Плечистова, А. Д. Мамонтова // Проблемы безопасности на транспорте : материалы XII Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 160-летию Белорусской железной дороги (Гомель, 24–25 ноября 2022 г.). В 2 ч. Ч. 1; под общ. ред. Ю. И. Кулаженко. – Гомель : БелГУТ, 2022. – С. 234–236.

2 Брылеев, А. М. Устройство и работа рельсовых цепей / А. М. Брылеев, А. В. Шишляков, Ю. А. Кравцов. – М. : Транспорт, 1966. – 264 с.

3 Пультяков, А. В. Управление инцидентами в системе технической эксплуатации микропроцессорных устройств железнодорожной автоматики и телемеханики / А. В. Пультяков, В. А. Алексеенко, Р. В. Лихота // Транспорт Урала. – 2020. – № 1 (64). – С. 43–47.

4 Пультяков, А. В. Организация работы центров технической диагностики и мониторинга устройств автоматики и телемеханики на Восточном полигоне / А. В. Пультяков, В. А. Алексеенко // Транспорт: наука, техника, управление. – 2023. – № 1. – С. 23–28.

УДК (681.584.7+656.259.9):681.518.5

## ПРОБЛЕМЫ ВЫЯВЛЕНИЯ НЕИСПРАВНОСТЕЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ РЕЛЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ

*Д. В. ШВАЛОВ, В. В. ПОЛУКОШКО*

*Ростовский государственный университет путей сообщения, Ростов-на-Дону,  
Российская Федерация*

На сегодняшний день, несмотря на активное развитие микропроцессорной техники, в системах железнодорожной автоматики и телемеханики доминирующими приборами являются электромагнитные реле, часть которых имеет выработку установленного ресурса и находится в состоянии физического старения, что при влиянии различных дестабилизирующих факторов может привести к возникновению отказов, и, как следствие, к увеличению рисков нарушения условий безопасности движения поездов, снижения пропускной и провозной способности железных дорог.

Физическое старение реле, причинами которого являются как необратимые физико-химические процессы, так и процессы, вызванные воздействием различных дестабилизирующих факторов – электромагнитных сил, коммутационных явлений, вибрационных нагрузок и других механических воздействий, экстремальных температур, агрессивной по допустимым условиям эксплуатации окружающей среды. Разрушительное воздействие на элементы реле оказывают процессы эрозии и электрического изнашивания, возникающие вследствие воздействия электрических разрядов, искрения, дугообразования, сопровождающихся значительным выделением тепловой энергии [1]. Совокупное воздействие дестабилизирующих факторов приводит к циклической деформации материала и появлению микротрещин, рост которых может быть усилен механическими напряжениями в материале, что, в свою очередь, может вызвать необратимые процессы изменения структуры и химического состава изоляции и медных жил проводов, включая жилы обмоток реле. Так, повреждение нити обмотки реле увеличивает электрическое сопротивление участка, что приводит к увеличению температуры дефектного места, выгоранию и обрыву этого участка. Также следует отметить, что релейные схемы функционируют в условиях нестабильности питания, перегрузок по напряжению (току), атмосферных и коммутационных явлений в линиях внешнего электроснабжения, что в конечном итоге и приводит к термическим повреждениям их элементов.

Как показывает практика, последствиями рассмотренных процессов являются обрывы проводов обмоток, частичные или полные короткие замыкания витков обмоток, внутренние обрывы обмоток, увеличение сопротивления контактов, отклонение от норм времени притяжения и отпущения якоря

реле. При этом практически все зафиксированные отказы релейной аппаратуры по характеру возникновения относят к внезапным вследствие отсутствия методов и средств непрерывного контроля состояния реле и своевременного выявления в процессе эксплуатации предотказного состояния и момента возникновения отклонений значений параметров приборов от нормативных.

Известные в различных отраслях методы неразрушающего контроля могут быть применены и в отношении электромагнитных реле, например:

- ультразвуковая дефектоскопия – использование высокочастотных ультразвуковых волн для обнаружения микротрещин и изменений структуры металлических (медных) элементов реле;

- инфракрасная термография – выявление температурных изменений внутри металлических элементов реле, обнаружение локальных участков повышенного нагрева, что может быть связано с наличием микротрещин;

- радиография – выявление дефектов и деформаций внутренней структуры элемента, основанное на взаимодействии рентгеновских лучей с материалом;

- электромагнитная диагностика – измерение параметров и фиксация изменений электромагнитных полей, возникающих при наличии дефектов внутри элементов реле.

Измерение параметров и характеристик реле с использованием методов неразрушающего контроля позволяет осуществлять контроль их состояния реле без вскрытия либо другого вмешательства в процесс функционирования. Однако рассмотренные методы требуют оснащения специализированным сложным и дорогостоящим оборудованием, что позволяет говорить об их применении только в стационарных условиях, то есть требуется вывод из эксплуатации контролируемой аппаратуры. Кроме того, высокая стоимость контрольно-измерительной аппаратуры и оборудования является существенным ограничением для реализации большого количества рабочих мест на предприятиях, выполняющих техническое обслуживание и ремонт релейной аппаратуры.

Чтобы получить фактическую оценку состояния (степени износа) обмотки реле и выявить факт физического старения необходимо вести непрерывное измерение значений таких параметров как сопротивление обмотки, напряжение на обмотке, сила тока, протекающего через обмотку, а также температура внешней среды и температура непосредственно обмотки. Также информацию о фактическом состоянии реле можно получить на основе данных о значениях таких параметров как временные характеристики притяжения и отпускания, динамические параметры (сила тока, напряжение) переходных процессов при подаче и снятия напряжения с обмотки реле.

Современные средства технического диагностирования и мониторинга устройств железнодорожной автоматики и телемеханики обладают широким функционалом в части измерения значений электрических параметров и имеют большую номенклатуру средств измерения, что позволяет осуществлять непрерывный мониторинг технического состояния основных устройств. С точки зрения возможности контроля технического состояния отдельных реле и выявления повреждений их элементов в процессе эксплуатации без снятия реле из цепи можно предложить два метода:

- 1) по результатам непрерывного мониторинга параметров электрических цепей – значения электрических параметров поврежденных элементов будут отличаться от эталонных значений (значений исправных приборов), следовательно, будут изменяться и электрические параметры цепей, в которые включены поврежденные приборы. Например, увеличение сопротивления обмотки реле приведет к увеличению сопротивления всей цепи, что можно выявить по увеличению силы тока в цепи при постоянном напряжении питания;

- 2) по результатам фиксации воздействий дестабилизирующих факторов – если зафиксировано внешнее воздействие с «критическими» значениями параметров, то необходимо проверить состояние включенных в эту цепь приборов, вероятность повреждения которых в результате данного воздействия существует; множество и состав проверок будет определяться в зависимости от характера и параметров воздействия. Решающее правило в общем виде может быть таким: «если зафиксировано воздействие (электрическое, температурное) и после этого зафиксировано изменение значений параметров цепи, то вероятно повреждение приборов, включенных в цепь».

С учетом большого количества различных обрабатываемых данных и различным влиянием их на состояние контролируемых объектов, современные подходы предполагают применение интеллектуальных методов анализа на основе знаний о характере деграционных процессов и взаимовлиянии различных параметров. Так, методы машинного обучения [2] позволяют обнаруживать

сложные и неочевидные, как внутренние, так и внешние взаимосвязи при протекании исследуемых процессов, что может быть упущено при так называемых традиционных методах диагностики.

Таким образом, расширение функционала современных систем технического диагностирования и мониторинга в части прямого или косвенного мониторинга фактического состояния электромагнитных реле позволит реализовать техническое обслуживание «по состоянию» релейных систем железнодорожной автоматики и телемеханики с глубиной до отдельных приборов. Основная сложность здесь представляется в области исследования характера деградиционных процессов и влияния внешних факторов на их протекание, что решается путем математического или физического моделирования реальных процессов. Следует заметить, что для практического использования количество и номенклатура контролируемых реле выбираются из соображений целесообразности с учетом риска наибольшей подверженности воздействию дестабилизирующих факторов.

#### Список литературы

- 1 **Сапожников, В. В.** Надежность систем железнодорожной автоматики, телемеханики и связи : учеб. пособие для вузов ж.-д. трансп. / В. В. Сапожников : под ред. Вл. В. Сапожникова. – М. : Маршрут, 2003. – 263 с.
- 2 **Ильин, А. В.** Создание человеко-машинной среды решения задач / А. В. Ильин, В. Д. Ильин // Системы и средства информатики. – 2016. – Т. 26, № 4. – С. 149–161.

## **4 ПРИКЛАДНАЯ ЭКОЛОГИЯ, РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ НА ТРАНСПОРТЕ**

---

УДК 625.71.8:502.3

### **ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ**

*Г. В. АХРАМЕНКО*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

*П. Г. АХРАМЕНКО*

*Гомельский филиал учреждения образования Федерации профсоюзов Беларуси  
«Международный университет «МИТСО», г. Гомель*

Республика Беларусь является транзитным государством. Поэтому особую роль в социально-экономическом развитии республики играют автомобильные дороги, представляющие собой главные транспортные артерии страны.

В стране имеется сеть дорог общего пользования протяженностью 87 031 км (в том числе республиканских дорог – 15 970 км, местных дорог – 71 061 км). Из общей протяженности твердое покрытие имеют 75 314 км дорог (из них с усовершенствованным типом покрытия – 48 533 км).

Плотность дорожной сети общего пользования в Беларуси составляет 419 км на 1 тыс. км<sup>2</sup> территории и является одной из самых высоких среди стран – участниц Содружества Независимых Государств (в России – 64 км/1000 км<sup>2</sup>, Казахстане – 36 км/1000 км<sup>2</sup>, Азербайджане – 219 км/1000 км<sup>2</sup>); выше, чем в Украине (281 км/1000 км<sup>2</sup>), но меньше, чем в Польше (1319 км/1000 км<sup>2</sup>), Литве (1270 км/1000 км<sup>2</sup>), Латвии (1078 км/1000 км<sup>2</sup>) [1].

Протяженность международных автомобильных дорог государств – членов СНГ, проходящих по территории Республики Беларусь, составляет 3 900 км, в том числе 1 600 км на маршрутах международных транспортных коридоров.

Сегодня в нашей стране доля автомобильного транспорта в общем объеме перевозки грузов превышает 40 % и постоянно увеличивается. При этом эксплуатируется более 418 тыс. грузовых автомобильных транспортных средств [1].

Строительство автомобильных дорог приводит к нарушению существующего ландшафта, разрушению почвенного покрова, изменению естественного режима движения грунтовых и поверхностных вод и другим негативным явлениям. При строительстве используются большие объемы природных материалов, значительная часть которых невозобновляема. Создание карьеров влечет за собой не только отвод земель, но и приводит к изменению микроклимата, первоначального рельефа местности и орографической ситуации района. Основное возможное воздействие на подземные воды при производстве строительно-монтажных работ связано с сооружением земляного полотна, что вызывает изменение и перераспределение поверхностного и (в меньшей степени) подземного стока, условий увлажнения грунтовой толщи на прилегающей к дороге территории [2].

Технология строительства дорог связана с уничтожением растительности, изменением водно-теплового режима полосы отвода, разрушением устоявшихся биоценозов. В результате строительства автомобильных дорог активизируются процессы водной и ветровой эрозий земель, изменяется физико-химический состав почв, микроклимат. Используемые в технологических процессах строительства и ремонта автомобильных дорог продукты и материалы могут содержать вещества, оказывающие вредное и токсичное воздействие.

Угрозу объектам окружающей среды создают и производственные предприятия дорожной отрасли. Асфальтосмесительные установки интенсивно выбрасывают в атмосферный воздух пыль, сажу, газообразные вещества, летучие углеводороды, в т. ч. токсичные, к примеру – бензапирен, представитель семейства полициклических углеводородов [2].

Эксплуатация автомобильных дорог приводит к значительному загрязнению окружающей среды газообразными и твердыми продуктами сгорания топлива, горюче-смазочными материалами, частицами истирания дорожных покрытий и шин, противогололедными реагентами. Загрязнение атмосферного воздуха составляет более 70 % от автомобильного транспорта и только 20 % – от предприятий промышленности и энергетики. Один автомобиль за год поглощает в среднем 4 тонны кислорода и выбрасывает с выхлопными газами 800 кг оксида углерода, 40 кг оксида азота, почти 200 кг различных углеводородов и 2 кг свинца. За счет истирания покрытия с участка дороги длиной 1 км и шириной 10 м за год выделяется около одной тонны пыли. Высокий уровень загрязнения и образование аномально токсичных зон на дороге приводят к непредсказуемому воздействию на участников движения, вызывая их неадекватную реакцию на обстановку в пути и, как следствие, дорожно-транспортные происшествия. Проходящий по дороге транспорт является источником шума и вибрации. Около 40 % населения Беларуси страдает от воздействия этих физических факторов.

Всё вышеотмеченное свидетельствует о необходимости осуществления комплекса природоохранных мероприятий в дорожной отрасли, направленных на обеспечение [3]:

- сохранности природных ресурсов;
- устойчивого развития биологических объектов окружающей среды;
- безопасного уровня жизнедеятельности людей.

Основными принципами, на которых базируется система экологической безопасности дорожно-транспортного комплекса, являются:

- оценка воздействия на окружающую среду на стадии проектных работ;
- учет важнейших зависимостей между транспортно-эксплуатационными показателями автомобильной дороги и экологической ситуацией;
- мониторинг качества окружающей среды вдоль транспортных коммуникаций и на производственных базах дорожной отрасли;
- постоянный поиск возможности использования передовых технических решений и выполнения природоохранных и природосберегающих мероприятий с целью улучшения экологической обстановки;
- подготовка и переподготовка специалистов по вопросам экологической безопасности в дорожно-транспортном комплексе;
- технико-экономическая и социальная оценка показателей природопользования и эффективности природоохранных мероприятий.

Вопросы ресурсосбережения в дорожной отрасли увязываются с решением важной экологической проблемы переработки крупнообъемных техногенных отходов. На территории Республики Беларусь ежегодно накапливается более 20 млн т таких отходов. Среди них наибольшим количеством выделяются глино-солевые отходы обогащения калийной руды, фосфогипс, отработанные формовочные смеси, гидролизный лигнин, отработанные автопокрышки. Применяя современные технологии переработки и активации этих отходов, можно получить приемлемое сырье для производства дорожно-строительных материалов и тем самым замкнуть экологический цикл от добычи природных ископаемых до их использования в составе строительных конгломератов, близких к исходным природным минеральным образованиям.

Белорусский дорожный научно-исследовательский институт (БелдорНИИ) первым в Советском Союзе начал проводить исследования в области экологических проблем дорожно-транспортного комплекса. Еще ранее разрабатывались теоретические основы оценки воздействия дорог на окружающую среду. Исследовались технологические причины возрастания выбросов загрязнителей при приготовлении и укладке асфальтобетона.

В настоящее время реализуется программа модернизации асфальтобетонных заводов, направленная на снижение количества сжигаемого топлива и уменьшение количества экологически опасных выбросов. Перспективным направлением дальнейшей работы является создание

системы экологической безопасности дорог на основе мониторинга уровня загрязнения окружающей среды и прогнозирования экологических последствий.

Поэтому, с учетом имеющегося опыта и современных научных разработок в области охраны окружающей среды дорожная отрасль может реально повлиять на улучшение экологической ситуации на территории Республики Беларусь, что приведет к созданию более благоприятных условий для жизнедеятельности будущих поколений [4].

#### Список литературы

- 1 Транспортный комплекс Республики Беларусь: Состояние и перспективы его развития [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://rcek.by/transportnyj-kompleks-respubliki-belarus-sostoyanie-i-perspektivy-ego-razvitiya/>. – Дата доступа : 09.09.2023.
- 2 Паршина, Е. И. Охрана окружающей среды в дорожном строительстве : учеб. пособие [Электронный ресурс] / Е. И. Паршина. – Сыктывкар : СЛИ, 2013. – 104 с. – Режим доступа : <http://lib.sfi.komi.com>. – Дата доступа : 09.09.2023.
- 3 ДМД 02191.3.011-2007. Рекомендации по оценке воздействия на окружающую среду проектных решений по строительству и реконструкции автомобильных дорог : утв. департаментом «Белавтодор» 25.05.07. – Введ. 2007-07-01. – 15 с.
- 4 Строительство и недвижимость // Нестор [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://nestor.minsk.by/sn/2023/11/sn31124.html>. – Дата доступа : 09.09.2023.

УДК 628.3

## ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ РАСЧЕТНЫХ ДОПУСТИМЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В СОСТАВЕ СТОЧНЫХ ВОД ПРЕДПРИЯТИЯ НА ВОДНЫЙ ОБЪЕКТ

О. Н. ГОРЕЛАЯ

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Вопросы нормирования сбросов загрязняющих веществ в окружающую среду в общей постановке освещены в монографиях многих исследователей (Черкинский, 1977; Израэль, 1984; Taylor, 1991; Воробейчик и др., 1994.). В качестве критериев для нормирования сброса загрязняющих веществ в водные объекты предлагаются следующие подходы:

- а) ограничение сбросов загрязняющих веществ в составе коммунальных, промышленных и дождевых сточных вод, основанное на ПДК (предельно допустимая концентрация) в водных объектах [1];
- б) то же ограничение, основанное предельно допустимыми экологическими нагрузками (ПДЭН) или критическими экологическими нагрузками на водную экосистему;
- в) полный запрет сбросов в уникальные объекты в незагрязненных районах;
- г) ограничения, обусловленные наилучшей достигнутой (или достижимой) техникой или технологией производства;
- д) ограничения в соответствии с оптимальным решением при анализе затрат и ущерба от загрязнений с учетом производственного эффекта;
- е) ограничения в соответствии с пунктом «д» при существующих ограниченных экономических возможностях (оптимум сдвинут);
- ж) стремление к наименьшим возможным сбросам (ниже допустимых) с учетом приоритетов, определенных с помощью всестороннего анализа.

В Республике Беларусь используется подход, описанный в пункте «а» и связанный с ограничением сбросов в водные объекты на основе ПДК.

Установление нормативов ПДС при допустимости регламентирования сброса по одному лимитирующему репрезентативному для данного вида сточных вод веществу осуществляется по значению кратности разбавления данного вещества в водном объекте. Если фоновая концентрация данного вещества в водоеме не равна нулю, то реальная кратность разбавления (упрощенная методика) на лимитирующем расстоянии определяется соотношением

$$n_i = \frac{C_{\text{св}} - C_{\text{ф}}}{C_{\text{струи}} - C_{\text{ф}}},$$

где  $C_{св}$ ,  $C_{струн}$ ,  $C_{ф}$  – концентрация  $i$ -го вещества соответственно в сточных водах на выпуске в водный объект, максимальная концентрация нормируемого вещества в контрольном створе, в фоновом створе, мг/дм<sup>3</sup>.

Предельно допустимое состояние отвечает условию

$$n_i = \frac{C_{св} - C_{ф}}{C_{ПДК} - C_{ф}},$$

где  $C_{ПДК}$  – предельно допустимая концентрация  $i$ -го вещества в воде водного объекта, мг/дм<sup>3</sup>; или в интерпретации белорусского законодательства [2, 3];

$$n_i = \frac{C_{св} - C_{ПДК}}{C_{ПДК} - C_{ф}} + 1.$$

Наилучшим для нормирования является подход, описанный в пункте «ж». Это стремление к наименее возможным сбросам с учетом приоритетов, определенных с помощью всестороннего анализа данных фонового и локального мониторинга водных объектов.

Нормирование предполагает установление таких максимально допустимых сбросов, при которых содержание загрязняющих веществ в контрольном створе водного объекта находилось бы на уровне сезонных колебаний и не приводило к изменению гидрохимического режима водного объекта.

Степень воздействия антропогенной нагрузки оценивается как изменение фоновых гидрохимических характеристик в контрольном створе конкретного источника загрязнения. Допустимая степень воздействия источника рассматривается как изменение гидрохимического условного фона в контрольном створе в пределах сезонной изменчивости фона. При этом особое внимание уделяется инвентаризации точечных и диффузных источников загрязнения и расположению мест водопользования (водозаборы, зоны рекреации и т. д.) [3–5].

Для оценки естественного гидрохимического фона необходим всесторонний анализ данных мониторинга антропогенного воздействия на водный объект. Естественный фон и должен стать в будущем новым критерием нормирования.

#### Список литературы

- 1 Водный кодекс Республики Беларусь. – Минск, 2015. – 37 с.
- 2 ЭкоНП 17.06.02-002-2017. Охрана окружающей среды и природопользование. Гидросфера. Правила расчета нормативов допустимых сбросов химических и иных веществ в составе сточных вод : постановление М-ва природных ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь от 21.09.2021 № 8-Т. – 2021. – 8 с.
- 3 О некоторых вопросах нормирования сбросов химических и иных веществ в составе сточных вод : постановление М-ва природных ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь от 26 мая 2017 г. № 16. – 2017. – 180 с.
- 4 Романовский, В. И. Магнитные сорбенты для удаления нефтепродуктов из сточных вод / В. И. Романовский, О. Н. Горелая, А. А. Хорт // Актуальные вопросы и перспективы развития транспортного и строительного комплексов : материалы IV Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 65-летию БИИЖТа–БелГУТа. – Гомель : БелГУТ, 2018. – С. 215–216.
- 5 Селезнева, А. В. От мониторинга к нормированию антропогенной нагрузки на водные объекты. – Самара : Изд-во СамНЦ РАН, 2007. – 105 с.

УДК 628.9

## ИСКУССТВЕННОЕ ОСВЕЩЕНИЕ ТРАНСПОРТНЫХ ОБЪЕКТОВ С ОРИЕНТАЦИЕЙ НА ЧЕЛОВЕКА

*И. С. ЕВДАСЕВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Во второй половине XX века особое значение приобретает глобализация логистики материальных ресурсов, которая трансформировалась из трансграничной торговли. Еще в XIX веке эту трансформацию предсказали К. Маркс и Ф. Энгельс. «Буржуазия путем эксплуатации всемирного рынка сделала производство и потребление всех стран космополитическим. Исконные националь-

ные отрасли промышленности уничтожены и продолжают уничтожаться с каждым днем. Их вытесняют новые отрасли промышленности, введение которых становится вопросом жизни для всех цивилизованных наций: отрасли, перерабатывающие уже не местное сырье, а сырье, которое привозится из самых отдаленных областей земного шара, и вырабатывающие фабричные продукты, потребляемые не только внутри данной страны, но и во всех частях света. Вместо старых потребностей, удовлетворявшихся отечественными продуктами, возникают новые, для удовлетворения которых требуются продукты самых отдаленных стран с самым различным климатом. На смену старой местной и национальной замкнутости и существованию за счет продуктов собственного производства приходит всесторонняя связь и всесторонняя зависимость наций друг от друга» [1]. При указанной глобализационной взаимозависимости стран бесперебойность логистических связей интегрируется в проблему безопасности для каждой отдельной нации и всего мирового сообщества.

Бесперебойное движение товара с разных точек земного шара в любую пору года и время суток накладывает повышенные требования на процессы транспортировки и формирования грузопотоков. При этом конкуренция между различными транспортными путями вводит жесткие ограничения на допустимые финансовые затраты каждого из них.

В темное время суток финансовые затраты на логистические операции с участием человека резко возрастают. Эти затраты в значительной доле обусловлены расходами на искусственное освещение объектов с целью обеспечения работы зрительных органов, а также производительности и внимательности человека за счет подстройки его циркадных ритмов (изменения суточной биологической активности организма). Напрашивается кардинальный вариант снижения этих затрат путем замены «наблюдателя» от человека к видеосистемам наблюдения и цифровой обработке данных, которые способны при меньших энергозатратах получать значительно больше визуальной информации для различения объекта за счет скорости «видения», остроты зрения, цветовой чувствительности, более широкого диапазона видимого спектра (включает ультрафиолетовые и инфракрасные области).

В настоящее время переход функций наблюдения в технологических процессах транспортировки и формирования грузопотоков уже не выглядит научной фантастикой. Отдельные логистические центры на операционном уровне работают в полностью автоматическом режиме, а при подключении искусственного интеллекта, вероятно, будут способны заменить человека в стратегических функциях. Добавим к этому набирающее обороты развитие беспилотных транспортных средств и, казалось бы, можно хоть завтра отправлять человека на «покой». Однако для наступления этого «завтра» понадобятся десятилетия, в какой-то момент человечество ограничительными законами начнет «притормаживать» развитие этих технологий, чтобы создать концепцию безопасности для себя. Для разработки такой концепции понадобится довольно много времени. Необходимо признать, что на сегодняшний день мы не только не понимаем потенциалов «саморазвития» искусственного интеллекта, но и в большинстве случаев имеем очень фрагментарные знания о самом человеке и экосистеме Земли. Например, такие ограничения в знаниях о влиянии света на человека и экосистемы проявились в начале XXI века.

В 1993 г. Ш. Накамура из Nichia Corporation представил технологию коммерческого изготовления синих светодиодов высокой яркости с использованием процесса выращивания нитрида галлия. Соединение этой технологии с хорошо известным процессом изготовления и нанесения люминофоров позволили создать светодиод белого свечения. Начался этап «светодиодной революции», который характеризовался невероятными темпами роста энергоэффективности (с 1994 по 2014 гг. световая отдача светодиодов белого свечения выросла в 15 раз и достигла 303 лм/Вт [2]) и снижения стоимости. Однако «революцией» в области искусственного освещения внедрение светодиодной технологии, вероятно, называется не за значимый вклад в решение проблемы эффективного использования энергетических ресурсов, а за появление возможности коммерческого производства и создания осветительных установок интегративного освещения, предназначенного для обеспечения благотворного физиологического и/или психологического воздействия на людей [3].

В 2010 году Международной комиссией по освещению был сформирован результат очередного этапа исследований человеческого зрения и представлена система сумеречной фотометрии [4], которая характерна для условий искусственного освещения большинства наружных территорий железнодорожных предприятий, автодорог, улиц, логистических центров и т. п. Основным отличием этой системы от широко применяемой на основе характеристик дневного зрения является смещение



максимумов спектральной чувствительности глаза в область ближе к синему цвету, где световая эффективность излучения для зрения человека значительно выше. Многие исследователи оценивают потенциал экономии энергоресурсов в осветительных установках, адаптированных под сумеречное зрение человека от 30 до 50 %. На первый взгляд прекрасным решением при создании такой установки являются светодиоды с высокой цветовой температурой, в которых по умолчанию присутствует довольно большая доля излучения синего цвета.

Дополнительным аргументом за использование таких источников света на объектах транспорта является открытое в конце XX века незрительное действие света посредством фотопигмента меланопсина в глазах человека на его организм. Это действие проявляется в поддержании активности организма путем наиболее эффективного подавления гормона мелатонина (гормона сна) излучением синего цвета (460–480 нм). Однако что хорошо для работы, то плохо для отдыха. Общества защиты от светового загрязнения по всему миру обращают внимание людей и правительств, что практически все животные имеют аналогичные мелатониновые циклы, и их нарушение путем яркого освещения в ночное время приводит к серьезным негативным последствиям непосредственно для человека и для экологических систем.

Дальнейшие исследования зрительного и незрительного воздействия света на человека и экологические системы должны количественно разграничить энергетические области в сине-зеленой части спектра с одной стороны для эффективного применения характеристик естественного эволюционного сумеречного зрения человека, а с другой – для ограничения негативных последствий светового загрязнения на экологические системы. Только после указанного разграничения мы сможем приступить к созданию интегративного освещения наружных территорий транспортных объектов для улучшения физиологического и психологического состояния людей в процессе работы и отдыха.

#### Список литературы

1 **Маркс, К.** Манифест Коммунистической партии [Электронный ресурс] / К. Маркс, Ф. Энгельс. – Режим доступа : <https://socialist.news/pic/truестory/marx-permanent-revolution/communist-manifesto.pdf>. – Дата доступа : 10.09.2023.

2 **O'Shea, P.** Cree first to break 300 lumens-per-watt barrier [Electronic resource] : 2023 by AspenCore, Inc. All Rights Reserved. – Mode of access : <https://www.electronicproducts.com/cree-first-to-break-300-lumens-per-watt-barrier/>. – Date of access : 23.08.2023.

3 **Торнз, П.** Обзор текущего состояния и перспектив развития стандартизации в области искусственного освещения / П. Торнз // Светотехника. – 2019. – № 2. – С. 14–29.

4 CIE 191:2010. Recommended System for Mesopic Photometry Based on Visual Performance. – Vienna : CIE, 2010.

УДК 351.812.117

## МОДЕРНИЗАЦИЯ ТРАМВАЙНЫХ ВАГОНОВ И ПЕРЕБОРУДОВАНИЕ В ВАГОНЫ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

*А. В. КОВАЛЕВСКИС*

*ООО «Ригас сатиксме», г. Рига, Латвия*

Урбанизация сопровождается высокими темпами жилищного строительства и увеличением городской территории. Эти факторы приводят к значительному росту пассажирских перевозок при одновременном увеличении дальности поездки.

Рельсовый транспорт является ведущим видом городского общественного транспорта для массовых перевозок в городах.

**Трамвай** – один из основных видов городского общественного транспорта. Среди главных достоинств трамвая – экологичность – он не загрязняет окружающую среду выхлопными газами. К преимуществам трамвая также относятся способность перевозить большие пассажиропотоки, низкая удельная стоимость эксплуатации на одного пассажира, высокая скорость на обособленных участках, возможность организовывать скоростное движение.

Трамвайный путь, в отличие от железнодорожного, должен также обеспечивать возможность движения по нему безрельсового транспорта, образуя совмещённое полотно. Трамвайный путь имеет кривые меньших радиусов, значительные уклоны (подъёмы и спуски), менее доступен для осмотра и более подвержен загрязнению.

Несмотря на то, что на трамвайный путь действуют меньшие нагрузки от подвижного состава, чем на железнодорожный, он в большей мере подвержен износу ввиду частых разгонов и торможений вагонов, сильного загрязнения путевого полотна безрельсовым транспортом, трудных условий вписывания колёс вагонов в кривые малых радиусов и большей частоты движения подвижного состава.

*Вагоны специального назначения* играют большую роль в трамвайном хозяйстве – служат как буксиры для перемещения неисправных вагонов, для перевозки груза, а также для обслуживания инфраструктуры трамвайной сети.

Каждая трамвайная сеть имеет свою специфику, разную протяжённость и разветвлённость линий, разный габарит и соответственно свои требования по содержанию инфраструктуры, поэтому для каждого города нужны свои вагоны специального назначения.

Покупка вагонов специального назначения – недешёвое удовольствие. Заводы по производству трамвайных вагонов заинтересованы в массовом производстве больших партий трамвайных вагонов, а вагоны специального назначения, как правило, – это штучные заказы и каждый заказ со своими техническими условиями.

Можно попытаться произвести универсальный вагон специального назначения, который подойдет всем, но спрос на такие вагоны будет очень маленьким, так как муниципалитеты в первую очередь выделяют деньги из городского бюджета на покупку пассажирских вагонов, а это может привести к тому, что вагон снимут с производства. У тех же, кто такие вагоны уже приобрёл, возникнет дефицит с запасными частями и, следовательно, с эксплуатацией вагонов специального назначения.

Также нужно учесть постоянное развитие технологий в сфере общественного транспорта. Не получится спроектировать массовый вагон специального назначения и предлагать его приобрести трамвайным хозяйствам в течение десятка лет, так как некоторые узлы вагона уже через год будут устаревшими.

Опыт эксплуатации снегоочистительных вагонов типа «ГС» в Риге показал, что вагон после прибытия с завода требует доработки и переделки, что влечёт дополнительные финансовые затраты. Вагон не проходит все кривые малого радиуса, застревает в воротах стойла, при обильных снегопадах двухосному вагону не хватает сцепного веса.

Со временем эксплуатации возник дефицит с запасными частями, вагоновожатые не довольны условиями работы. Были приняты попытки купить готовые вагоны-снегоочистители, но попытки не увенчались успехом, поэтому было принято решение о постройке вагонов-снегоочистителей своими силами.

При обновлении парка подвижного состава трамвайных депо, часто возникает вопрос: что будет со старыми вагонами. Часть старых моделей трамвайных вагонов ухожена и вполне в хорошем состоянии, чтобы их списывать. Можно оставить несколько вагонов для истории, для музея, но есть и более экономически продуманное решение – *модернизация пассажирских трамвайных вагонов и переоборудование в вагоны специального назначения* для собственных хозяйственных нужд.

На базе пассажирских трамвайных вагонов возможно построить следующие виды вагонов: учебный, экскурсионный, лаборатория КС, дефектоскоп, буксир, грузовой, платформа, поливомочный, рельсошлифовальный, снегоочиститель и др.

Положительные факторы *модернизации пассажирских трамвайных вагонов и переоборудования в вагоны специального назначения* для собственных хозяйственных нужд:

- вагон изначально создаётся для нужд трамвайного хозяйства и не требует доработки;
- имеется большое количество запасных частей, а также умение ремонтного персонала обслуживать конкретную модель подвижного состава;
- вагоновожатые хорошо знакомы с моделью вагона, что сокращает затраты на обучение;
- значительно экономятся собственные финансовые средства, так как муниципалитеты в первую очередь выделяют деньги из городского бюджета на покупку пассажирских вагонов;
- своевременное обслуживание трамвайной инфраструктуры при помощи вагонов специального назначения помогает снизить износ многих узлов нового подвижного состава, соответственно, снизить эксплуатационные расходы нового подвижного состава.

Использование вагонов специального назначения позволяет не только содержать трамвайные пути в хорошем состоянии, но и уберечь пассажирский подвижной состав от повышенного износа, а также экономить огромные финансовые средства предприятия.

## ОБ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКЕ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ВАРИАНТОВ ДЕЗИНФЕКЦИИ СООРУЖЕНИЙ И ОБЪЕКТОВ

*Н. Г. КОРОБ, М. А. КОМАРОВ, А. В. ПОСПЕЛОВ*

*Белорусский государственный технологический университет, г. Минск*

В работе дана оценка воздействия на окружающую среду различных способов дезинфекции сооружений и объектов, а также показаны перспективы использования озонирования по показателям экологической эффективности.

В последние годы в мире отмечается ухудшение эпидемиологической обстановки в связи с появлением опасных инфекций. По этой причине на белорусской границе с 1 сентября 2023 года начали проводить обязательную дезинфекцию транспорта для того, чтобы снизить риск ввоза в Беларусь возбудителей опасных инфекций.

Дезинфекция представляет собой комплекс мероприятий, направленных на уничтожение возбудителей инфекционных заболеваний, разрушение токсинов на поверхности объектов и является одним из видов обеззараживания. Среди веществ, используемых для дезинфекции, наибольшее распространение получили хлор, хлорная известь, гипохлорит натрия и гипохлорит кальция, озон [1–3].

Недостатками способов хлорирования являются недостаточная эффективность дезинфекции, образование высокотоксичных хлорорганических соединений, высокие дозы используемого активного хлора, высокая токсичность самого хлора и многих хлорсодержащих агентов, высокая коррозионная активность раствора, длительность времени обработки и соответственно времени простоя объектов, а также необходимость в дехлорировании растворов, с помощью которых производили обработку.

Использование озона приводит к упрощению процесса, повышению эффективности дезинфекции, снижению времени обработки и соответственно времени простоя объектов, меньшему коррозионному воздействию на металлические части объектов. Кроме этого, стоит отметить его экологическую безопасность. Применение озона для дезинфекции устраняет необходимость обезвреживания раствора после использования, поскольку озон распадается на кислород в воде в течение небольшого периода времени, которое, как правило составляет менее одного часа. Как показано в ряде работ, несмотря на то, что озон является более сильным окислителем в сравнении с гипохлоритами, он оказывает в 3–4 раза меньшее коррозионное воздействие на материалы и при низких концентрациях (50–250 мг/л), и при высоких (2 мас. %), за счет значительного меньшего времени воздействия для достижения требуемого эффекта дезинфекции [4–8].

Для оценки и сравнения альтернативных вариантов дезинфекции проводился анализ воздействия на окружающую среду таких дезинфицирующих веществ, как гипохлорит кальция, гипохлорит натрия, хлорная известь и озон (его насыщенный раствор в воде). В качестве функциональной единицы выбран объем дезинфицирующего раствора в количестве 1 м<sup>3</sup>. Воздействие на окружающую среду происходит на всех этапах. Для оценки жизненного цикла процесса дезинфекции объектов и сооружений применялся программный продукт SimaPro 804, включающий метод исследования IMPACT 2002+ V2.12 / IMPACT 2002+. Для сравнительного анализа оценку проводили по 10 различным методикам, включенным в программный продукт SimaPro 804. Как следует из результатов проведенного инвентаризационного анализа, рассмотренные варианты применения различных веществ для дезинфекции объектов и сооружений характеризуются такими экологическими аспектами, как потребление сырьевых материалов и энергии, а также выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух, сбросы сточных вод в водные объекты или в местную сеть канализации, образование отходов [9]. Согласно этапам оценки воздействия жизненного цикла по имеющимся входным и выходным потокам установлены категории воздействия. На основании данных инвентаризационного анализа проводится оценка значимости потенциальных воздействий исследуемой системы на окружающую среду.

Установлено, что наиболее небезопасным хлорсодержащим дезинфицирующим веществом для окружающей среды и человека является использование гипохлорита кальция. Применение насыщенного раствора озона вызывает истощение озонового слоя и является источником ионизирующего излучения. Применение методики оценки жизненного цикла для сравнения применения различ-

ных веществ для дезинфекции объектов и сооружений показало, что наименьшее значение такого интегрирующего показателя как экоиндикатор, соответствует варианту применения раствора озона в воде. Кроме того, необходимо отметить, что из вариантов применения хлорсодержащих веществ наилучшей характеристикой обладает гипохлорит натрия.

Оценка жизненного цикла позволила определить количественные экологические показатели различных дезинфицирующих веществ, включая стадии их производства, приготовление реагента и непосредственно процесса дезинфекции. На основании оценки жизненного цикла можно предсказать возможные последствия по таким категориям воздействия, как здоровье человека, состояние экосистем, истощение природных ресурсов, а также обосновать выбор наилучшей технологии при сравнении альтернативных вариантов.

Среди рассмотренных вариантов наиболее эффективным из хлорсодержащих реагентов является использование гипохлорита натрия. Однако если сравнивать хлорсодержащие реагенты с озоном, то технологии дезинфекции с использованием последнего являются наиболее эффективными.

*Работа выполнена при поддержке ГПНИ «Химические процессы, реагенты и технологии, биорегуляторы и биоорхимия», задание 2.1.02 «Сорбционные, каталитические и мембранные материалы для водоочистки и водоподготовки», НИР 5 «Физико-химические основы коррозии материалов в дезинфицирующих средах и разработка экологических и высокоэффективных способов дезинфекции» (2021-2023 гг.).*

#### Список литературы

- 1 Дезинфекция озоном водозаборных скважин и трубопроводов систем питьевого водоснабжения / В. И. Романовский [и др.] // Труды БГТУ. – 2013 – № 3 (159): Химия и технология неорганических веществ. – С. 55–60.
- 2 **Романовский, В. И.** Коррозионная устойчивость стали 15 к дезинфицирующим растворам / В. И. Романовский, В. В. Жилинский // Труды БГТУ. – 2015 – № 3 (176): Химия и технология неорганических веществ. – С. 29–34.
- 3 Анализ эффективности дезинфекции сооружений питьевого водоснабжения с использованием хлорсодержащих дезинфицирующих средств и озона / В. И. Романовский [и др.] // Вестник БрГТУ. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2015. – № 2 (92). – С. 68–71.
- 4 **Романовский, В. И.** Сравнительный анализ коррозионной устойчивости углеродистых сталей к дезинфицирующим растворам электрохимическим методом / В. И. Романовский, В. В. Жилинский, Ю. Н. Бессонова // Вестник БрГТУ. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2016. – № 2 (98). – С. 126–129.
- 5 Определение основных параметров дезинфекции и обеззараживания озоном сооружений питьевого водоснабжения / В. И. Романовский [и др.] // Труды БГТУ. – 2015 – № 3 (176): Химия и технология неорганических веществ. – С. 108–112.
- 6 **Романовский, В. И.** Сравнительный анализ способов дезинфекции водозаборных скважин и сооружений водоснабжения / В. И. Романовский, Ю. Н. Бессонова // Перспективы развития и организационно-экономические проблемы управления производством : материалы Междунар. науч.-техн. конф. : в 2 т. Т. 1. – Минск : Право и экономика, 2015. – С. 211–226.
- 7 **Романовский, В. И.** Эффективность использования озона в технологии водоподготовки / В. И. Романовский, А. Д. Гуринович, П. Вавженюк // Водоочистка. – 2014. – № 2. – С. 66–70.
- 8 **Романовский, В. И.** Коррозионная устойчивость стали 15 к дезинфицирующим растворам / В. И. Романовский, В. В. Жилинский // Труды БГТУ. – 2015. – № 3 (176): Химия и технология неорганических веществ. – С. 29–34.
- 9 **Рымовская, М. В.** Воздействие отработанных растворов дезинфекции сооружений водоснабжения на почву / М. В. Рымовская, В. И. Романовский // Труды БГТУ. – 2016 – № 4 (186): Химия и технология органических веществ. – С. 214–219.

УДК 621.763(476)

## ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ И РЕЦИКЛИНГЕ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

*Е. Ф. КУДИНА*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель;  
Институт механики металлополимерных систем им. В. А. Белого НАН Беларуси, г. Гомель*

*К. В. ЕФИМЧИК*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Согласно данным государственного учреждения «Оператор вторичных материальных ресурсов» за 2022 год, объем сбора вторичных материальных ресурсов (ВМР) за последние 10 лет в Республике Беларусь увеличился в 2 раза (рисунок 1), а уровень использования коммунальных отходов возрос почти в 3 раза [1].



Рисунок 1 – Динамика сбора ВМР и уровень использования коммунальных отходов

Исследование происхождения отходов, их состава и качества сортировки является необходимым этапом в разработке эффективной стратегии по использованию отходов в качестве вторичных материальных ресурсов и снижению их негативного влияния на окружающую среду [2].

Содержание ВМР в твердых коммунальных отходах (ТКО) распределяется следующим образом: пластиковые отходы (12 %) находятся на третьем месте после отходов бумаги (49 %) и стекла (24 %), которые легко поддаются рециклингу.

В связи с широким применением полимерных композиционных материалов (ПКМ), составляющих основную часть вторичного сырья, а также с учетом их специфических свойств, в частности, высокой стойкости к воздействиям окружающей среды, проблема их утилизации актуальна и имеет как экономический, так и экологический характер.

Решить задачу утилизации ПКМ сложно технически и технологически, поскольку вторичное сырье – это многокомпонентные продукты, содержащие в различных количествах широкий спектр как органических, так и неорганических компонентов: глину, песок, металлы, соли, оксиды и другие компоненты.

Таким образом, при разработке новых ПКМ необходимо решить задачу негативного влияния их на окружающую среду в процессе жизненного цикла готового изделия, а также повторного использования их в качестве вторичного сырья.

Интерес применения шунгита в качестве наполнителя для ПКМ вызван особенностями его химического строения и структуры, природным происхождением, экологической безопасностью, а также невысокой стоимостью.

Цель работы – разработка ПКМ на основе полипропиленовой матрицы и диспергированного шунгита, исследование механических свойств разработанного материала.

В качестве полимерного связующего использовали гранулы полипропилена марки PP 8300G (EPYS30RE).

Полипропилен PP 8300G является продуктом сополимеризации пропилена и этилена в присутствии комплексных металлоорганических катализаторов.

В качестве наполнителя использовали диспергированный шунгит. Шунгит – природный материал, содержащий углерод в виде фрагментов фуллереноподобных структур. На рисунке 2 представлена фуллереноподобная структура шунгита.

Композиции получали путем смешивания компонентов в расплаве на лабораторном одношнековом смесителе. Взвешивание компонентов производили на лабораторных весах M-ER 122 ACFJR. Температура смешения

составляла 180 °С, скорость вращения ротора – 70 об/мин, время смешивания – 20 мин. Массовое содержание шунгита в композициях варьировали от 0,5 до 10 мас. %. При содержании шунгита более 10 мас. % в данном смесителе происходит агломерация частиц шунгита.

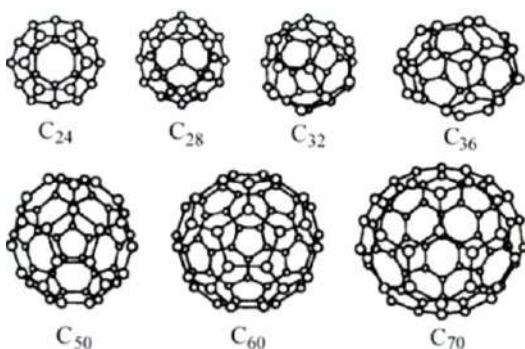


Рисунок 2 – Фуллереноподобные структуры, содержащиеся в шунгите

Испытание образцов на сжатие проводилось в соответствии с ГОСТ 4651–2014 в лаборатории «Электрические и электронные системы» учреждения образования «Белорусский государственный университет транспорта» на универсальной разрывной машине ТС244.31А. Обработку результатов исследования проводили в соответствии с ГОСТ 4651–2014.

Анализ проведенных исследований показал, что введение в качестве наполнителя диспергированного шунгита в количестве от 0,5 до 4 мас. % нецелесообразно, т. к. прочность композиции уменьшается. При введении диспергированного шунгита в количестве от 5 до 7 мас. %, прочность композиции увеличивается практически на 23 %. Введение наполнителя более 8 мас. % также является нецелесообразным, т. к. не влияет на прочность исходного материала.

После исследования влияния состава композиции на механические свойства разрушенные образцы с наполнителем из диспергированного шунгита в количестве от 5 до 7 мас. % были подвергнуты вторичной переработке для оценки изменения их свойств в процессе рециклинга.

Изучение изменения прочности при сжатии полученных образцов показало, что физико-механические характеристики разрабатываемого материала после повторной переработки ухудшились не более чем на 2 %.

Таким образом, изготовление изделий на основе модифицированного шунгитом полипропилена позволяет получить экологически безопасный материал с повышенной прочностью, не оказывающий негативного влияния на окружающую среду в процессе жизненного цикла изделия, а также повторного использования его в качестве вторичного сырья.

#### Список литературы

1 Отчет ГУ "Оператор вторичных материальных ресурсов" за 2022 год [Электронный ресурс] : офиц. сайт. – 2023. – Режим доступа : <https://vtoroperator.by/content/otchet-gu-operator-vtorichnykh-materialnykh-resursovs-za-2022-god>. – Дата доступа : 14.09.2023.

2 Кудина, Е. Ф. Методы утилизации и рециклинга полимерных композиционных материалов / Е. Ф. Кудина, К. В. Ефимчик // Полимерные материалы и технологии. – 2022. – Т. 8, № 4. – С. 77–86. – DOI: 10.32864/polymmattech-2022-8-4-77-86.

3 ГОСТ 4651–2014 (ISO 604:2002) Пластмассы. Метод испытания на сжатие. – Введ. 2015-03-01. – М. : Стандартинформ, 2014. – 16 с.

УДК 620.197:621

## ВЛИЯНИЕ ФУНКЦИОНАЛИЗИРУЮЩЕГО КОМПОНЕНТА НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА РЕАКТОПЛАСТОВ

*Е. Ф. КУДИНА*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель;  
Институт механики металлополимерных систем им. В. А. Белого НАН Беларуси, г. Гомель*

*П. А. КУРИЦЫН, И. В. ПРИХОДЬКО, Г. Р. ГОНЧАРОВ*  
*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

*А. К. ОНГАРБЕКОВ*

*ТОО «Казахстанский центр сертификации на железнодорожном транспорте», г. Астана*

Требования, предъявляемые к изделиям, работающим на железнодорожном транспорте в условиях постоянного воздействия внешних механических факторов (вибрация, удары и др.), влекут за собой необходимость разработки и внедрения современных композиционных материалов, способных обеспечить высокие механические и эксплуатационные показатели. Одним из перспективных направлений решения отмеченной задачи является применение функциональных материалов на основе эпоксидиановой смолы (ЭС).



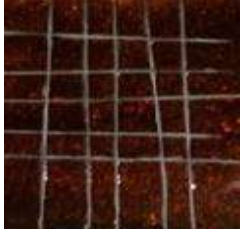

Термореактивные системы на основе эпоксидиановых олигомеров обладают широким спектром ценных свойств: малой усадкой при переходе в твердое состояние, высоким значением адгезионной прочности к различным субстратам, химической стойкостью к действию агрессивных сред. Однако, несмотря на высокие физико-химические и механические свойства композиционных материалов, получаемых на основе ЭС, их существенным недостатком является хрупкость и недостаточная эла-

стичность [1–5]. С целью устранения недостатков и придания новых свойств композиционным материалам на основе ЭС в настоящее время широко применяется метод функционализации ЭС олигомерными или полимерными органическими компонентами, обеспечивающими снижение хрупкости основного связующего и придание эластичных свойств [1–3].

Функционализирующим реагентом являлась фенолоформальдегидная резольная смола (ФФС) (ГОСТ 5962–2013), смешанная в соотношении 1:1 с этиловым спиртом до получения однородного состава. Получены покрытия и блочные материалы на основе исходной и функционализированной ЭС. Показано влияние соотношения компонентов комбинированной матрицы на адгезионные и механические свойства функциональных материалов.

В таблице 1 представлены результаты оценки адгезионной прочности покрытий на основе функционализированной ЭС к металлической поверхности в зависимости от концентрационных соотношений компонентов. Покрытия, формируемые из функционализированной ЭС, однородны, обладают хорошей укрывистостью и повышенной адгезионной прочностью, в отличие от покрытий из исходного реактопласта.

Таблица 1 – Влияние функционализации ЭС на адгезионные свойства композиционных материалов

Свойства	Состав			
	ЭС (100 %)	ЭС (40 %) / ФФС (60 %)	ЭС (50 %) / ФФС (50 %)	ЭС (60 %) / ФФС (40 %)
Адгезия, балл	4	0	0	1
Поверхность покрытия после испытания методом решетчатых надрезов				

На рисунке 1 представлены результаты оценки ударной вязкости полученных композитов. Анализ изменения прочности композитов показал, что оптимальная концентрация ФФС в образце, позволяющая увеличить ударную вязкость композита на 20 %, составляет 50 %. В композициях с составом ЭС (40 %) / ФФС (60 %) и ЭС (60 %) / ФФС (40 %), установлено снижение ударной вязкости на 28 и 39 %, соответственно, в сравнении с нефункционализированной ЭС.

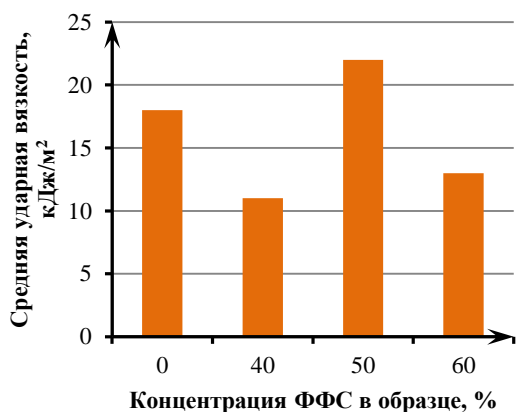


Рисунок 1 – Диаграмма зависимости средней ударной вязкости от концентрации ФФС в образцах

Кроме этого установлено, что при увеличении доли ФФС в композициях до 50 % происходит рост значений работы разрушения с 0,19 Дж для нефункционализированной ЭС до 0,27 Дж для композиций с составом ЭС (50 %) / ФФС (50 %). Полученные результаты свидетельствуют о повышении пластичности материалов и способности к поглощению упругой энергии.

Анализ полученных экспериментальных данных позволяет сделать вывод о том, что для повышения упругих и прочностных свойств композиционного материала необходим подбор оптимального концентрационного соотношения компонентов, при котором структурные участки в составе полиматричного композита могут выступать в качестве локальных релаксаторов внутренних напряжений.

Таким образом, применение ФФС в качестве компонента для функционализации ЭС в ряде случаев является эффективным технологическим приемом, способствующим улучшению эксплуатационных свойств исходного реактопласта. Установленные закономерности могут служить основой для получения функциональных композиционных материалов, применяемых как защитные покрытия изделий железнодорожного назначения.

*Работа выполнена при поддержке ГПНИ «Материаловедение, новые материалы и технологии», задание 4.1.16 «Разработка функциональных композиционных материалов технического назначения для защиты металлических поверхностей и оборудования» (2021–2025 гг.).*

#### Список литературы

- 1 **Кудина, Е.Ф.** Защита газо-нефтепроводов от внешних повреждений. Ч. 1. Полимерные материалы (обзор) / Е. Ф. Кудина // Нефтяник полесья. – 2013. – № 2 (24) – С. 88–93.
- 2 Review on Materials for Composite Repair Systems / V. P. Sergienko [et al.] // Non-destructive Testing and Repair of pipelines / ed. by E. N. Barkanov, A. Dumitrescu, I. A. Parinov. – Springer International Publishing, 2018. – P. 189–269. – ISBN: 978-3-319-56579-8.
- 3 **Кудина, Е.Ф.** Структура и свойства композиционных материалов на основе реактопластов / Е. Ф. Кудина // Новые материалы и технологии: порошковая металлургия, композиционные материалы, защитные покрытия, сварка : материалы 14-й Междунар. науч.-техн. конф., посвящ. 60-летию порошковой металлургии Беларуси, Минск, 09–11 сентября 2020 года. – Минск : Белорусская наука, 2020. – С. 220–224. – EDN CCTTGB.
- 4 Методы химической модификации эпоксидных олигомеров (обзор) / А. Г. Загора [и др.] // Труды ВИАМ. – 2021. – № 7 (101). – С. 73–85. – DOI: 10.18577/2307-6046-2021-0-7-73-85. – EDN PQCSJR.
- 5 **Kudina, H. F.** Composite Materials Intended to Repair Mechanochemical Defects in Pipelines / H. F. Kudina, S. N. Bukharov, V. P. Sergienko // Advances in Engineering Research / ed. by V. M. Petrova. – New York : Nova Science Publishers, Inc., 2019. – Vol. 26. – Chapter 3. – P. 107–172. – ISBN: 978-1-53614-714-8.

УДК 620.197:621

### ИЗОЛЯЦИОННЫЙ КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ ТЕРМОРЕАКТИВНОЙ МАТРИЦЫ

*Е. Ф. КУДИНА*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель;  
Институт механики металлополимерных систем им. В. А. Белого НАН Беларуси, г. Гомель*

*И. В. ПРИХОДЬКО, П. А. КУРИЦЫН, Г. Р. ГОНЧАРОВ, И. П. СМОЛЯКОВА*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

*Е. В. РИТТЕР*

*ТОО «Электровозосборочный завод» (ЭКЗ), г. Астана, Республика Казахстан*

При создании композиционного материала (КМ) первоочередное значение отводится матрице, которая обеспечивает монолитность материала и обуславливает его основные свойства. Наиболее распространенными видами применяемых в настоящее время реактопластов являются: фенопласты, аминопласты и эпоксипласты. В отличие от терморепактивных полимеров на основе полиэфирных, фенолформальдегидных, мочевино- и меламиноформальдегидных смол, которые могут выделять из материалов токсичные и канцерогенные вещества, эпоксиполимеры практически не выделяют вредных веществ и не имеют запаха в отвержденном состоянии, что определяет их использование как наиболее перспективное среди высокомолекулярных соединений. Связующие на основе эпоксидных смол отличаются широким комплексом физико-механических показателей, которые относятся к наиболее востребованным среди других полимеров с точки зрения применения в производстве клеев, лаков, покрытий, для заливки небольших трансформаторов или узлов аппаратуры, а также изделий различного функционального назначения [1].

Эпоксидные смолы (ЭС) совместимы с большим количеством полярных органических веществ и хорошо смачивают поверхности разных наполнителей, что позволяет широко варьировать свойства модифицированных композиционных материалов (КМ). Наиболее перспективными представляются модификаторы, обладающие синергетическим эффектом и способные встраиваться в эпоксидную матрицу и улучшать свойства КМ в целом. Наиболее эффективны модифицирующие вещества, которые не образуют побочных продуктов реакции и не выделяют летучих веществ в процессе эксплуатации материала на протяжении всего срока службы [2, 3]. Важным компонентом материалов на основе ЭС, помимо модификаторов, является отвердитель. Наиболее применяемым отвердителем является полиэтиленполиамин, обеспечивающий качественное отверждение ЭС.



На практике ЭС не совместима с водными растворами. Это в значительной степени снижает физико-механические характеристики создаваемого КМ, делая изделия хрупкими, вследствие образования неоднородной структуры. Как показали результаты исследований при определенных сочетаниях спиртового раствора ПВБ с отвержденной ПЭПА ЭД-20 можно получить материал с хорошими эксплуатационными характеристиками. Введение модификатора в соотношении 1:8 при оптимизированном сочетании компонентов ЭД-20 ( $71,5 \pm 0,5 \%$ ), ПЭПА ( $14,5 \pm 0,5 \%$ ), раствор ПВБ ( $14,5 \pm 0,5 \%$ ) позволило получить материал, который можно использовать в качестве изоляционного покрытия. Проведение оптимизации содержания отвердителя показало, что его концентрация неоднозначно отражается на качестве КМ, однородности и времени отверждения. При выборе оптимального состава следует учесть, что количество отвердителя в составе не должно превышать 20 %, поскольку при полимеризации при стандартных условиях протекает бурная реакция, сопровождающаяся выделением большого количества тепла. Температура образца повышается более чем на  $100 \text{ }^\circ\text{C}$ , что приводит к закипанию этанола и дополнительному образованию пузырей, которые в разной степени распределяются по всему объему материала, и делает его непригодным для формирования защитного покрытия. При содержании ПЭПА менее 17 % пузырчатая структура, обусловленная повышением температуры формирования КМ, образуется в меньшей степени. В структуре образца присутствуют отдельные полости больших размеров, что повышает хрупкость материала и негативно отражается на его качестве. Введение отвердителя менее 11 % в КМ позволяет сформировать образец с наименьшим содержанием неоднородностей, однако значительно замедляет процесс полимеризации КМ. Оптимальный состав с максимальной однородностью структуры соответствует содержанию отвердителя в количестве  $14,0 \pm 0,5 \%$  от общей массы состава.



Рисунок 1 – Определение адгезии методом решетчатого надреза

Из составов с содержанием ПЭПА от 11 до 17 % получали покрытия на металлической подложке, которые исследовали на адгезионную прочность к металлу методом решетчатого надреза. Покрытия обладают хорошей адгезионной прочностью. В сравнении с составами с различным содержанием отвердителя наиболее высокое качество покрытия показал образец с сочетанием компонентов ЭД-20 ( $71,5 \pm 0,5 \%$ ), ПЭПА ( $14,5 \pm 0,5 \%$ ), раствор ПВБ ( $14,5 \pm 0,5 \%$ ) (рисунок 1), поскольку на остальных образцах образуются небольшие сколы в некоторых местах надреза ввиду большей хрупкости композитов.

Важным направлением в электротехнике является изоляция деталей и оборудования покрытиями из полимерных КМ. Такие материалы должны обладать высокими диэлектрическими и механическими свойствами, а также сохранять их в условиях воздействия климатических факторов при заданных рабочих электрических параметрах. Результаты исследований позволяют сделать вывод о получении качественных изоляционных покрытий. Высокие значения объемного удельного сопротивления позволяют судить о возможности их использования в качестве диэлектрических покрытий высоковольтного оборудования. Как показано на рисунке 2, максимальное значение удельного объемного сопротивления разработанного покрытия составило 53 ГОм·см. По сравнению с покрытием на основе исходной ЭС отвержденной ПЭПА (100 ГОм·см) [4] значение параметра уменьшилось, но незначительно и мало влияет на изоляционные свойства материала. Изучение адгезионной прочности покрытия показало, что введение модификатора снижает хрупкость покрытия.

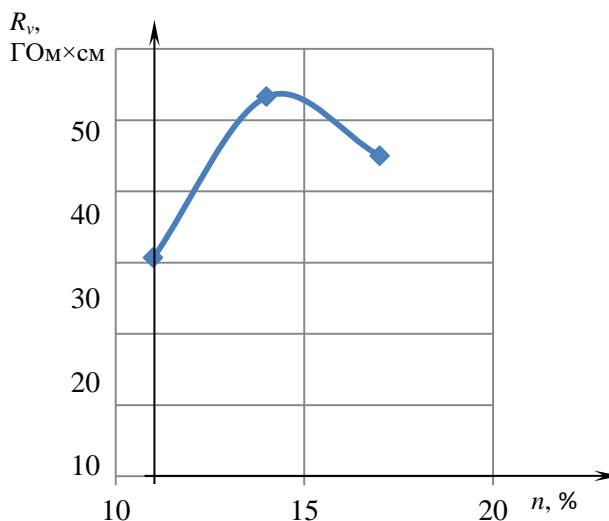


Рисунок 2 – Зависимость удельного объемного сопротивления ( $R_v$ ) от содержания ПЭПА ( $n$ )

Изучение адгезионной прочности покрытия показало, что введение модификатора снижает хрупкость покрытия.

Таким образом, оптимизация концентрационного соотношения модификатора и отвердителя в составе КМ позволила получить композиционное покрытие, которое обладает хорошими адгезионными свойствами. Установлен экстремальный характер зависимости удельного объемного электрического сопротивления материалов от концентрации вводимого отвердителя. Зависимость удельного объемного электрического сопротивления от концентрации отвердителя имеет экстремальный характер с максимумом отвердителя в диапазоне 13,5–14,5 %.

*Работа выполнена при поддержке ГПНИ «Материаловедение, новые материалы и технологии», задание 4.1.16 «Разработка функциональных композиционных материалов технического назначения для защиты металлических поверхностей и оборудования» (2021–2025 гг.).*

#### Список литературы

- 1 Review on Materials for Composite Repair Systems / V. P. Sergienko [et al.] // Non-destructive Testing and Repair of pipelines / ed. by E. N. Barkanov, A. Dumitrescu, I. A. Parinov. – Springer International Publishing, 2018. – P. 189–269.
- 2 Кудина, Е. Ф. Защита газо-нефтепроводов от внешних повреждений. Ч. 1. Полимерные материалы (обзор) / Е. Ф. Кудина // Нефтяник полярья. – 2013. – № 2 (24). – С. 88–93.
- 3 Кудина, Е. Ф. Получение и свойства комбинированных эпоксидных покрытий / Е. Ф. Кудина // Вестник Фонда фундаментальных исследований. – 2017. – № 4. – С. 11–25.
- 4 Абакаров, С. А. Электропроводность эпоксидных полимеров, наполненных наночастицами SiO<sub>2</sub> / С. А. Абакаров, Г. М. Магомедов, М-З. Р. Магомедов // Известия Дагестанского государственного педагогического университета. – 2007. – № 1. – С. 1–5.

УДК 629.3/504.6

## МЕТОДОЛОГИЯ ПОТРЕБИТЕЛЬСКИХ РЕЙТИНГОВ ОЦЕНКИ ВЫБРОСОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ ОТ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ

*С. В. ЛЯХОВ, И. П. ГОНЧАРОВ*

*Белорусский научно-исследовательский институт транспорта  
(БелНИИТ «Транстехника»), г. Минск*

Считается, что одной из причин, стимулирующих выпуск электромобилей, является стремление стран снизить экологические последствия от использования автомобилей на ископаемом топливе (влияние парниковых газов на климат Земли). Электромобили всех категорий уже сокращают потребление 1,5 миллиона баррелей нефти в день, что соответствует сокращению потребления 3 % автомобильного углеродного топлива [1]. Однако не существует электромобилей, не оставляющих углеродный след. Потребители должны иметь возможность сравнивать выбросы парниковых газов от автомобилей, для чего нужны рейтинги. Это является важным фактором конкуренции. Методология оценки углеродного следа электромобилей имеет разные уровни сложности, от просто аналитических методов до методов учета максимального количества факторов, включая производство и утилизацию аккумуляторных батарей.

**Уровень 1.** Наиболее широко известным является аналитический рейтинг, представленный в [2]. Рейтинг разработан исследовательской службой BloombergNEF и используется для проведения сравнительного анализа углеродного следа исключительно электромобилей.

Рейтинг углеродного следа определяется по формуле [2]

$$R = 100 \left( \frac{0,7L}{mk} + \frac{0,3C_{\min}}{C_B} \right),$$

где  $L$  – запас хода, миль, определенный ЕРА (Агентство по охране окружающей среды США);  $m$  – снаряженная масса электромобиля, фунтов;  $k$  – эталонный коэффициент экономичности,  $k = 0,1099$ , принимается на 10 % больше, чем у самого эффективного электромобиля;  $C_{\min}$  – эталонная емкость аккумуляторной батареи, кВт·ч,  $C_{\min} = 29,34$  кВт·ч, что на 10 % меньше, чем у самой маленькой аккумуляторной батареи электромобиля на рынке;  $C_B$  – емкость аккумуляторной батареи электромобиля, кВт·ч; 0,7 – доля углеродного следа, приходящаяся на зарядку электромобиля в

процессе эксплуатации; 0,3 – доля углеродного следа, приходящаяся на производство; 100 – нормировочный коэффициент, приводящий рейтинг к диапазону от 0 до 100 (лучший рейтинг – 100).

Пример рейтинга углеродного следа электромобилей приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Пример рейтинга углеродного следа электромобилей [4]

Модель	Рейтинг	Запас хода, км	Емкость АКБ, кВт·ч	Скорость зарядки, км/мин	Цена, тыс. дол. США
Tesla Model S	65,0	644	104,0	26,1	87,5
Chevrolet Bolt EV	59,5	417	65,0	6,0	26,6
BMW i4	51,6	485	83,9	18,8	56,0

**Уровень 2.** Ассоциация Green NCAP разработала универсальный рейтинг углеродного следа для всех типов двигателей автомобилей, состоящего из трех показателей: чистоты воздуха, энергоэффективности и выброса парниковых газов [4]. Показатели оцениваются как по отдельности, так и по среднему индексу. Каждый индекс оценивается по десятибалльной системе. С 2022 года Green NCAP применяет двухэтапный подход к тестированию. Автомобили, показавшие хорошие результаты в стандартных испытаниях первого этапа, имеют право на дополнительные более точные испытания второго этапа. Чтобы претендовать на дополнительное тестирование, средний балл по трем индексам должен быть не менее 5 из 10, а минимальный из трех индексов не должен опускаться ниже 3,5 из 10. Дополнительное тестирование включает проведение стендовых испытаний, имитирующих натурные условия эксплуатации автомобиля. Пример рейтинга приведен в таблице 2.

Таблица 2 – Пример рейтинга углеродного следа автомобилей с разным типом двигателя

Модель	Рейтинг	Чистота воздуха	Энергоэффективность	Выброс парниковых газов	Двигатель
VW T-Roc 1.5	5,1	8,0	4,4	2,8	Бензиновый
Renault Austral	5,3	6,6	5,3	3,9	Гибридный
Nissan Ariya	9,6	10,0	9,3	9,5	Электрический

**Уровень 3.** В рейтинге [5] за показатель углеродного следа взяты три точки выбросов CO<sub>2</sub>-эквивалента. Первая точка – это выбросы при производстве. Вторая точка – это значение выброса, в которой суммарный выброс электромобиля сравнивается с выбросом автомобиля с бензиновым двигателем. Третья точка – это суммарный выброс после утилизации. При этом учитываются выбросы начиная от добычи руды, производства и утилизации электромобиля, включая аккумуляторные батареи, источник происхождения электроэнергии. Используемая схема жизненного цикла электромобиля, по которой производится оценка выброса CO<sub>2</sub>-эквивалента, показана на рисунке 1.

На рисунке 2 представлен график выброса CO<sub>2</sub>-эквивалента электромобиля Nissan Leaf и его бензинового аналога Nissan Versa.

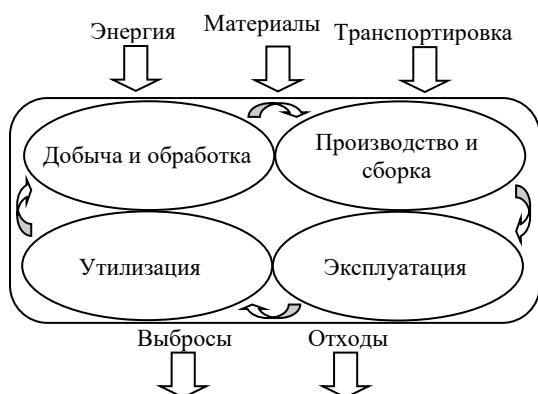


Рисунок 1 – Жизненный цикл электромобиля

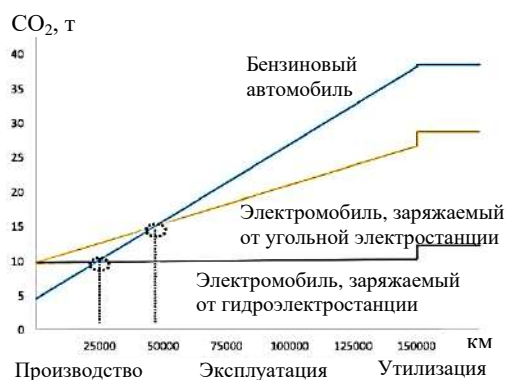


Рисунок 2 – Выброс CO<sub>2</sub>-эквивалента

Как видно, при производстве электромобиля выбрасывается значительно больше CO<sub>2</sub>-эквивалента. При эксплуатации электромобиля существенную роль играет регион, где он постоянно заряжается. Это связано с видом энергии, используемой при производстве электричества. Использование электроэнергии от возобновляемых источников практически сводит к нулю углеродный

след от зарядки электромобилей. В среднем при пробеге 50 тыс. км выброс CO<sub>2</sub>-эквивалента у электромобиля и автомобиля сравниваются, даже если зарядка производится электричеством от угольной электростанции. Это соответствует примерно 3–4 годам эксплуатации. Далее наблюдается значительный выигрыш в сокращении выброса CO<sub>2</sub>-эквивалента. При утилизации электромобиль значительно проигрывает по выбросу CO<sub>2</sub>-эквивалента автомобилю с бензиновым двигателем. Это связано с высокими энергозатратами при переработке аккумуляторных батарей и получением порошкообразного концентрата литий-никель-марганец-оксид кобальта для повторного производства аккумуляторных батарей. Так, в ЕС 12 июля 2023 года принят новый Регламент 2023/1542, устанавливающий жесткие требования к обязательному декларированию углеродного следа, наличию цифрового паспорта и переработке аккумуляторных батарей.

#### Список литературы

1 Electric Vehicle Outlook 2023 [Electronic resource]. – Mode of access : <https://about.bnef.com/electric-vehicle-outlook/>. – Date of access : 06.09.2023.

2 Methodology [Electronic resource]. – Mode of access : <https://www.bloomberg.com/graphics/electric-vehicles/methodology.html>. – Date of access : 06.09.2023.

3 How to Read the Stars [Electronic resource]. – Режим доступа: <https://www.greenncap.com/how-to-read-the-stars/>. – Date of access : 06.09.2023.

4 Bloomberg Green's Electric Car Ratings [Electronic resource]. – Mode of access : <https://www.bloomberg.com/graphics/electric-vehicles/>. – Date of access : 06.09.2023.

5 Environmental Life Cycle Assessment of Electric Vehicles in Canada [Electronic resource]. – Mode of access : <https://pluginbc.ca/wp/wp-content/uploads/2018/05/Environmental-Life-Cycle-Assessment-of-Electric-Vehicles-in-Canada.pdf>. – Date of access : 06.09.2023.

УДК 504.054:656.13

## ИСТОЧНИКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ АЭРОДРОМНОГО КОМПЛЕКСА

*Д. Ю. МЯГКОВ, Р. И. МОГИЛЯНЕЦ*

*Белорусская государственная академия авиации, г. Минск*

В настоящее время в связи с развитием авиации существенно увеличилась доля выбросов, поступающих в атмосферу от подвижных источников – воздушных судов и наземной техники.

Это обусловило научный и практический интерес к решению данной проблемы. Исследования, проведенные в данном направлении, освещены в работах Е. И. Павлова (2000); И. Р. Голубева, Ю. В. Новикова (1987); В. Г. Ененкова (1986); В. Е. Квитки (1984); Б. Н. Мельникова (1992); из зарубежных авторов следует выделить М. Баррета [1, 2] (1991–1992); Ж. Крайстона (1992) и других.

Методика оценки возможного загрязнения воздушного бассейна аэродромов отсутствует. Это связано с трудностями точного количественного определения величин выбросов загрязняющих веществ от перемещающихся источников загрязнения, какими являются воздушные суда, и условий распространения выбросов загрязняющих веществ в приземном слое атмосферы с учетом многочисленных взаимно влияющих факторов (скорости и направления ветра, рельефа местности, температуры и давления воздуха) [3].

Общепризнанным критерием качества состояния окружающей среды являются предельно-допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ, принятые в большинстве стран. Однако принцип задания ПДК в каждом государстве свой – в разных системах единиц усреднение осуществляется за разные отрезки времени, и даже в пределах одной страны могут существовать различные ПДК. В связи с этим ПДК многих стран практически не сопоставимы между собой. Поэтому они неприемлемы для осуществления глобального мониторинга и не могут быть оценены из-за различных основополагающих принципов в их установлении.

Известно, что источником загрязнения природной среды называется объект, выбрасывающий (сбрасывающий) загрязняющие вещества, энергетические излучения и информацию в окружающую среду.

В результате проведенных исследований нами были определены источники загрязнения природной среды аэродромного комплекса:

1) аккумуляторно-зарядная станция (наличие емкостей для сбора кислотосодержащих жидкостей, отработанного электролита, наличие средств нейтрализации кислот и их контроля);

2) парк:

- контрольно-технический пункт;
- пункт предварительной очистки;
- пункт заправки топливом;
- пункт чистки и мойки;
- пункт технического обслуживания и ремонта;
- места стоянки (хранения) вооружения и военной техники;
- пункт сбора отработанных масел (ПСОМ);
- аккумуляторная;
- склады военно-технического имущества;
- система отвода ливневых и дренажных вод;
- локальные очистные сооружения для очистки стоков нефтепродуктов;
- места сбора и складирования твердых отходов (наличие моек, техники с обратным использованием воды, места сбора отработанных масел, отсутствие пролива ГСМ и масляных пятен);

3) дизельные электростанции (твердые частицы, оксид углерода, оксиды азота, диоксид серы, оксид ванадия (V), нефтепродукты);

4) котельные на твердом топливе (твердые частицы, оксид углерода, оксиды азота, диоксид серы);

5) пункты заправки автомобилей (герметичность резервуаров, трубопроводов запорной арматуры, отсутствие проливов ГСМ и масляных пятен, наличие площадок из бензостойких материалов, лотков);

6) место для мойки машин в автопарке (очистные сооружения – техническое состояние эффективность работы);

7) водопровод (герметичность, ограждение зон строгого режима, чистота территории, укомплектованность водомерными приборами);

8) канализация (техническое состояние водозаборных сооружений, герметичность территории, укомплектованность водомерными приборами);

9) пожарное подразделение (химические пенообразующие вещества);

10) система водоснабжения (герметичность, ограждение зон строгого режима, чистота территории, укомплектованность водомерными приборами);

11) склады горюче-смазочных материалов (базовый и расходные в зонах рассредоточения): участок приема-выдачи горючего; резервуарный парк; хранилища и площадки для ЛВЖ и ГЖ в таре; трубопроводы; насосные станции; система отвода ливневых и дренажных вод; локальные очистные сооружения производственных вод;

12) склады и хранилища химических средств службы РХБЗ (дихлорэтан, аммиак, СПАВ, хлорпикрин, едкий натр).

Также был проведен анализ выполнения природоохранных мероприятий, выполненных за год по охране окружающей среды и рациональному использованию природных ресурсов. В результате анализа был выявлен ряд недостатков. Постоянно действующие комиссии по предотвращению отрицательного воздействия войск на природную среду и штатные инспекторы по охране окружающей среды работают неэффективно, планы обеспечения мероприятий по охране окружающей среды составляются без учета реальных экологических проблем.

В разделе «Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов» плана организации хозяйственной деятельности на год отражаются два-три малозначащих мероприятия общего характера.

Анализ состояния природоохранной работы и подведение итогов выполнения плана обеспечения мероприятий по охране окружающей среды за год с изданием приказа командира воинской части не проводятся.

Не разработаны нормативы допустимых выбросов и разрешения на выброс загрязняющих веществ в атмосферный воздух.

Инструкции по обращению с отходами производства не согласованы с территориальными органами Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь.

Контроль за содержанием мусоросборников со стороны ответственных должностных лиц воинских частей ослаблен, площадки хранения не имеют твердого покрытия, контейнеры не промаркированы, не обслужены, крышками не закрываются, что приводит к ухудшению санитарного состояния прилегающей территории.

Места для сбора отработанных масел не обозначены, не имеют ограждений, отсутствуют таблички с ответственными должностными лицами и распорядком работы.

Допускаются случаи пролива нефтепродуктов на грунт, нет запаса песка для их нейтрализации, отсутствуют оборудованные площадки для временного хранения изношенных автомобильных шин.

С нарушениями хранятся отходы черных металлов и строительного мусора.

Таким образом, определены источники загрязнения окружающей природной среды аэродромного комплекса.

#### Список литературы

1 Barrett, M. Aircraft pollution. Environmental impacts and future solutions / M. Barrett // WWF Research Paper. – 1991. – 10 p.

2 Crayston, J. ICAO group identifies environmental problems associated with civil aviation / J. Crayston // ICAO Journal. – 1992. – Vol. 17, no № 8. – P 4–5.

3 Размещение приборов контроля окружающей среды в районе аэродрома / В. А. Маслов [и др.] // Совершенствование наземного обеспечения авиации : межвуз. сб. науч.-метод. тр. Ч. IV. – Воронеж : ВВАИИ, 2000.

УДК 541.64:678.742.2

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АТМОСФЕРНЫХ ФАКТОРОВ НА СВОЙСТВА СМЕСЕЙ ВТОРИЧНЫХ ПОЛИОЛЕФИНОВ И МОДИФИЦИРОВАННОГО БЕНТОНИТА

Д. Л. ПОДОБЕД

Филиал «Институт профессионального образования»  
Университета гражданской защиты МЧС Беларуси, г. Гомель

Известно [1–3], что под действием атмосферных факторов в полимерных материалах происходят процессы окисления и деструкции, которые в большинстве случаев носят необратимый характер, приводя к старению и разрушению композитов. Анализ экспериментальных данных (таблица 1) показывает, что наибольшее влияние на свойства полимерных композитов на основе смесей вторичных полиолефинов и бентонита оказывает УФ-свет.

В качестве наполнителей использовали частицы исходной бентонитовой глины и предварительно модифицированные кремнийорганической жидкостью ПМС-200 и гудроном соапстока с последующим ее измельчением в планетарной мельнице «Pulverisette 5/4 classic line» («Fritsch», Германия) с достижением дисперсности частиц модифицированного бентонита 25–200 мкм. Наполнители вводили в количестве 1,0, 2,5 и 4,0 мас. %. Вторичные полимеры (ПЭВД<sub>вт</sub>, ПЭНД<sub>вт</sub>, в соотношении 1:1 соответственно) подвергали предварительному измельчению до частиц с размером 3 мм и мойке в течение 15 минут. В качестве целевой добавки использовали стеарат кальция в количестве 0,2 мас.%. Механическую прочность образцов определяли на испытательной машине «Instron 5567» («Instron», Великобритания) (ГОСТ 11262–2017). Изменение прочности образцов при воздействии на них УФ, влаги и термоциклирования наблюдали в течение 720 часов.

В таблице 1 представлены данные по изменению прочности при растяжении композитов при воздействии на них различных атмосферных факторов.

Таблица 1 – Прочность при растяжении образцов при воздействии на них различных атмосферных факторов

Номер композита	Исх.	УФ	Влага	Термоциклирование
1	28,4	21,3	27,2	28,2
2	32,6	24,1	31,8	32,4
3	30,0	24,6	29,2	30,0

Примечание – 1 – содержание модифицированного бентонита – 1,0 мас. %; 2 – содержание модифицированного бентонита – 2,5 мас. %; 3 – содержание модифицированного бентонита – 4,0 мас. %

При воздействии УФ-света происходит изменение структуры композита, о чем свидетельствует не только изменение окраски образца, но и увеличение прочности после первых часов испытаний (360 часов). Воздействие на композит УФ-света вызывает его термоокисление и, как следствие, способствует увеличению жесткости композита. Однако в дальнейшем наблюдается монотонное уменьшение прочности образцов.

При исследовании атмосферостойкости композиционных материалов в естественных условиях в течение 12 месяцев установлено, что потеря прочности образцов не превышает 25–35 % от первоначальной величины. Разрушение композитов происходит, как и в случае с гомогенными полимерными материалами [3], с поверхности образца в результате взаимодействия полимера с УФ-светом. Исследование состояния поверхности образцов до и после испытаний показало, что под действием атмосферных факторов на поверхности образуются микротрещины вследствие разрушения полимерной пленки на поверхности композита.

Установлено, что при комнатной влажности (65–70 %) изменение прочностных характеристик композитов в течение 8760 часов не наблюдалось (разброс значений  $\sigma_p$  не более 3 %).

После испытаний образцов при термоциклировании от минус 20 до плюс 60 °С свойства композитов и их цвет практически не изменились.

Для повышения атмосферостойкости композитов были использованы защитные покрытия из лаков и красок. При этом показано, что снижение прочностных свойств при старении происходит в 1,5 раза менее интенсивно в сравнении с образцами без покрытия. Менее интенсивное в сравнении с чистыми образцами снижение прочностных свойств образцов с защитным покрытием обусловлено уменьшением проникновения в материал УФ-лучей и влаги, при этом снижается возможность образования в нем различных поверхностных дефектов. Однако данный эффект носит кратковременный характер. Для обеспечения стабильности физико-механических свойств при воздействии на композит повышенной влажности и других атмосферных факторов целесообразно наносить на их поверхность покрытия на основе полимеров.

Таким образом, исследования показали, что композиционные материалы на основе смесей вторичных полиолефинов и модифицированной бентонитовой глины могут успешно эксплуатироваться в условиях нормальной влажности (до 70 %), а также при воздействии резкого перепада температур (от плюс 50 до минус 20 °С). Для их эффективной работы в условиях УФ-излучения при повышенной влажности и в естественных условиях необходимо наносить на них защитные покрытия на основе полимеров.

#### Список литературы

- 1 **Kablov, E. N.** The Influence of Internal Stresses on the Aging of Polymer Composite Materials: a Review / E. N. Kablov, V. O. Startsev // *Mechanics of Composite Materials*. – 2021. – Vol. 57, no. 5. – P. 565–576. – DOI:10.1007/s11029-021-09979-6. – EDN SKYNUU.
- 2 **Корецкая, Л. С.** Атмосферостойкость полимерных материалов / Л. С. Корецкая. – Минск : Наука и техника, 1993. – 206 с.
- 3 Thermal Properties of Graphene Filled Polymer Composite Thermal Interface Materials / P. Zhang, [et al.] // *Macromolecular Materials and Engineering*. – 2017. – Vol. 302, no. 9. – P. 1700068. – DOI: 10.1002/mame.201700068. – EDN YGWRZU.

УДК 648.6

## ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ВАРИАНТОВ ДЕЗИНФЕКЦИИ СООРУЖЕНИЙ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

*А. В. ПОСПЕЛОВ, М. А. КОМАРОВ, С. В. КРАСКОВСКИЙ*  
*Белорусский государственный технологический университет, г. Минск*

Установленные в работах [1–5] закономерности послужили основой для разработки технологии дезинфекции сооружений водоснабжения с использованием озона. Показано, что озон может быть использован в качестве дезинфицирующего вещества для инактивации патогенной микрофлоры с поверхности сетей и сооружений водоснабжения, что подтверждается расчетом С-Т-критерия. Кроме этого, за счет меньшего времени обработки с использованием озона (15–20 мин) по сравнению с хлорсодержащими растворами (8–24 часов) использование растворенного озона будет вызывать

меньшую коррозию стальных поверхностей. Таким образом, при оптимально подобранном оборудовании для генерации и подачи озона в воду, времени обработки и концентрации озона, можно достичь эффективной дезинфекции. Оценка различных технических аспектов предлагаемых вариантов показала эффективность использования озона по всем исследованным показателям [1–5].

Целью работы является оценка эффективности использования озона для дезинфекции систем водоснабжения вместо хлорсодержащих дезинфицирующих веществ.

В расчетах принято количество рабочих дней установки – 250 в год. Количество рабочих часов в сутки – 8 часов. Производительность скважин – 70 м<sup>3</sup>/ч. Диаметр скважин принят 0,180 м, а высота статического уровня – 250 м.

Проведя расчет эколого-экономических показателей эффективности предлагаемой технологии, можно сделать вывод, что ее внедрение является экологически и экономически целесообразным, поскольку позволит снизить коррозионное воздействие на металлические поверхности обрабатываемых сооружений и сетей, повысить эффективность дезинфекции, значительно снизить время обработки, тем самым сократить издержки от простоя сооружений.

Оценка стоимости жизненного цикла показала (рисунок 1), что общие затраты при использовании гипохлорита натрия оцениваются на 10–15 % больше, чем суммарные затраты при использовании хлорной извести. Это объясняется более высокими капитальными затратами, так как производство гипохлорита натрия обычно организуют на объектах с использованием установок для электролиза хлорида натрия с образованием концентрированного раствора гипохлорита натрия. Для рабочего раствора гипохлорита натрия приготовленный раствор должен быть разбавлен до требуемой концентрации. Образующийся раствор не содержит осадков, его не требуется отфильтровывать, а осадок утилизировать. В целом капитальные затраты при использовании озона и гипохлорита натрия самые высокие среди всех дезинфицирующих средств, поскольку требуется установка для их получения на месте. Относительно высокая стоимость эксплуатации хлорамина объясняется почти в 5 раз более высокой ценой на него по сравнению с оптовой ценой на хлорную известь и гипохлорит кальция, которые можно найти на сайтах поставщиков.

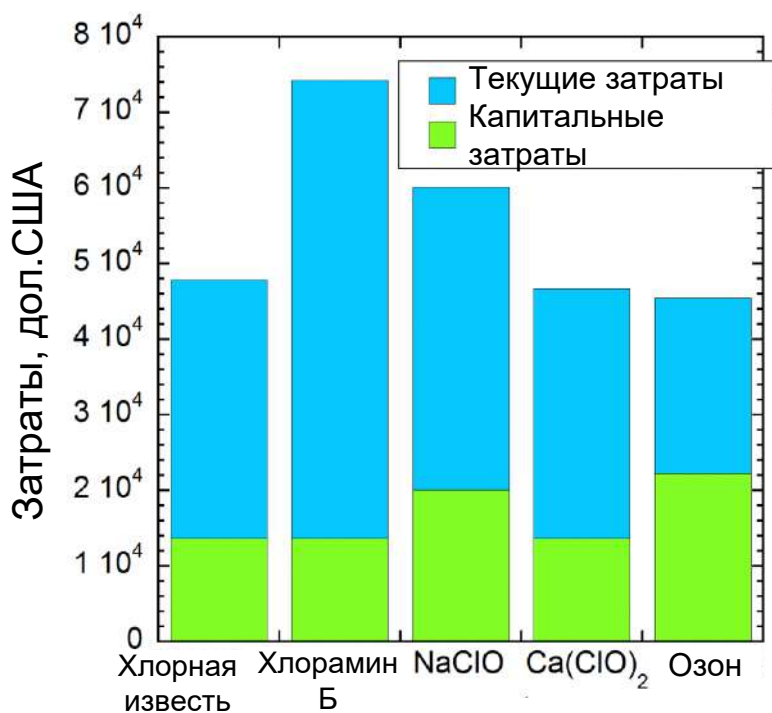


Рисунок 1 – Сравнительный анализ вариантов дезинфекции сооружений водоснабжения

*Работа выполнена при поддержке ГПНИ «Химические процессы, реагенты и технологии, биорегуляторы и биооргхимия», задания 2.1.02 «Сорбционные, каталитические и мембранные материалы для водоочистки и водоподготовки», НИР 5 «Физико-химические основы коррозии материалов в дезинфицирующих средах и разработка экологических и высокоэффективных способов дезинфекции» (2021–2023 гг.).*



## Список литературы

- 1 Дезинфекция озоном водозаборных скважин и трубопроводов систем питьевого водоснабжения / В. И. Романовский [и др.] // Труды БГТУ. – 2013 – № 3 (159): Химия и технология неорганических веществ. – С. 55–60.
- 2 **Романовский, В. И.** Коррозионная устойчивость стали 15 к дезинфицирующим растворам / В. И. Романовский, В. В. Жилинский // Труды БГТУ. – 2015 – № 3 (176): Химия и технология неорганических веществ. – С. 29–34.
- 3 Анализ эффективности дезинфекции сооружений питьевого водоснабжения с использованием хлорсодержащих дезинфицирующих средств и озона / В. И. Романовский [и др.] // Вестник БрГТУ. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2015. – № 2 (92). – С. 68–71.
- 4 **Романовский, В. И.** Сравнительный анализ коррозионной устойчивости углеродистых сталей к дезинфицирующим растворам электрохимическим методом / В. И. Романовский, В. В. Жилинский, Ю. Н. Бессонова // Вестник БрГТУ. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2016. – № 2 (98). – С. 126–129.
- 5 Определение основных параметров дезинфекции и обеззараживания озоном сооружений питьевого водоснабжения / В. И. Романовский [и др.] // Труды БГТУ. – 2015 – № 3 (176): Химия и технология неорганических веществ. – С. 108–112.
- 6 **Романовский, В. И.** Сравнительный анализ способов дезинфекции водозаборных скважин и сооружений водоснабжения / В. И. Романовский, Ю. Н. Бессонова // Перспективы развития и организационно-экономические проблемы управления производством: материалы междунар. науч.-техн. конф.: В 2 т. Т 1. – Минск : Право и экономика, 2015. – С. 211–226.
- 7 **Романовский, В.И.** Коррозионная устойчивость углеродистых сталей к дезинфицирующим растворам / В. И. Романовский, Ю. Н. Чайка // Труды БГТУ. – 2014 – № 3 (167): Химия и технология неорганических веществ. – С. 47–50.
- 8 **Романовский, В. И.** Эффективность использования озона в технологии водоподготовки / В. И. Романовский, А. Д. Гуринович, П. Вавженюк // Водоочистка. – 2014. – № 2. – С. 66–70.
- 9 **Рымовская, М. В.** Воздействие отработанных растворов дезинфекции сооружений водоснабжения на почву / М. В. Рымовская, В. И. Романовский // Труды БГТУ. – 2016 – № 4 (186): Химия и технология органических веществ. – С. 214–219.

УДК 504.4.054

## ВОПРОСЫ НОРМИРОВАНИЯ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

*А. М. РАТНИКОВА*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Определение параметров рациональности и эффективности использования ресурсов является одной из основных задач при оптимизации производственных процессов на предприятии, а также разработке мероприятий по снижению воздействия на окружающую среду. При оценке использования водных ресурсов на предприятиях основной упор делается на разработку нормативов водопользования.

Основным нормативным документом, регламентирующим разработку нормативов, а также критериев эффективности использования воды в производственных процессах в настоящее время являются экологические нормы и правила (ЭкоНиП) [1], принятые взамен ТКП [2]. При сравнении этих нормативных документов можно заметить, что в ЭкоНиП при расчете нормативов водопользования появляется обязательный раздел «Оценка эффективности использования водных ресурсов», который должен содержать расчеты и анализ эффективности использования водных ресурсов в производственном процессе, а перечень критериев оценки эффективности по сравнению с ТКП переработан и расширен.

Согласно ЭкоНиП [1] анализ эффективности использования вод в производственном процессе рекомендуется оценивать:

- по рациональности использования водных ресурсов с учетом безвозвратного водопотребления и потерь воды (далее – эффективность использования водных ресурсов);
- количеству используемой в производственном процессе оборотной воды, в % [1].

Коэффициенты рациональности использования воды  $K_p$ , потерь воды в процессе ее использования  $K_{II}$  и сброса сточных вод в окружающую среду, в том числе через систему водоотведения (канализации)  $K_{сбр}$ , определяются, исходя из данных учета вод, по следующим формулам:

$$K_p = \frac{W_{пов} + W_{об} + W_{доп}}{W_{пов} + W_{об} + W_{доп} + W_B}; \quad (1)$$

$$K_{II} = \frac{W_B + W_{доп} - S_{техн}}{W_{пов} + W_{об} + W_{доп} + W_B}; \quad (2)$$

$$K_{\text{сбр}} = \frac{S_{\text{техн}}}{W_{\text{пов}} + W_{\text{об}} + W_{\text{доп}} + W_{\text{в}}}, \quad (3)$$

где  $W_{\text{пов}}$  – объем повторно (последовательно) используемой воды, м<sup>3</sup>/год;  $W_{\text{об}}$  – объем используемой оборотной воды, м<sup>3</sup>/год;  $W_{\text{доп}}$  – объем используемой воды, поступающей не из источников водоснабжения (сточные воды после очистки и обеззараживания, вода, поступившая в составе сырья и другое), м<sup>3</sup>/год;  $W_{\text{в}}$  – объем воды, используемой из источников водоснабжения, м<sup>3</sup>/год;  $S_{\text{техн}}$  – нормативный объем производственных сточных вод, обусловленный технологическими нуждами, м<sup>3</sup>/год [1].

Согласно требованиям ЭкоНиП [1] при вычислении эффективности использования водных ресурсов должно обеспечиваться соблюдение равенства

$$K_{\text{р}} + K_{\text{п}} + K_{\text{сбр}} = 1,0. \quad (4)$$

Однако при использовании формул (1)–(3) и при условии, что  $W_{\text{доп}} > 0$ , соблюдение условия (4) невозможно.

Анализируя составляющие формул (1)–(3), можно сделать вывод, что определение параметра  $W_{\text{доп}}$  описано не совсем верно. Использование сточных вод после очистки и (или) обеззараживания в производственных процессах, согласно ЭкоНиП [3], относится либо к оборотным системам водоснабжения, либо к системам повторно-последовательного водоснабжения в зависимости от того, где образовались эти сточные воды и где используются после очистки. Соответственно, в зависимости от мест образования и использования эти воды относятся либо к объему вод  $W_{\text{об}}$ , либо к  $W_{\text{пов}}$ . Если в данном описании  $W_{\text{доп}}$  подразумеваются, например, поверхностные сточные воды, которые нельзя отнести к вышеуказанным системам, то в этом случае стоит разделять  $W_{\text{доп}}$  на две составляющие: используемые поверхностные сточные воды  $W_{\text{доп пов}}$  и воды, привносимые с продуктом  $W_{\text{доп прод}}$ .

При анализе эффективности использования водных ресурсов наилучшим считается вариант, при котором коэффициент рациональности использования воды  $K_{\text{р}}$  является максимальным (в случае применения наилучших доступных технических методов достигает 0,75–0,95), а коэффициенты потерь воды в процессе ее использования  $K_{\text{п}}$  и сброса сточных вод в окружающую среду, в том числе через систему водоотведения (канализации)  $K_{\text{сбр}}$  являются минимальными. Исходя из вышесказанного коэффициент  $K_{\text{р}}$  должен иметь наибольшее значение числителя, соответственно  $W_{\text{пов}}$ ,  $W_{\text{об}}$  и  $W_{\text{доп}}$  должны быть максимально возможными. Но количество воды, привносимое с продукцией,  $W_{\text{доп прод}}$ , не является показателем рационального использования, который тем выше, чем эффективнее используется вода. Поэтому данный показатель следует исключить из числителя формулы (1).

При использовании поверхностных сточных вод  $W_{\text{доп пов}}$  этот показатель не стоит относить к потерям воды, поскольку данный объем воды не был получен из источника водоснабжения. Таким образом, числитель формулы (2) следует уменьшить на  $W_{\text{доп пов}}$ .

Исходя из всего вышесказанного можно сделать вывод, что необходимо числители формул (1) и (2) уменьшить соответственно на  $W_{\text{доп прод}}$  и  $W_{\text{доп пов}}$ . Только при использовании данных рекомендаций можно обеспечить соблюдение условия (4).

Таким образом, действующие в Республике Беларусь требования нормативной документации по нормированию водопользования направлены не только на расчет непосредственно самих нормативов, но и на анализ критериев эффективности использования воды в производственных процессах для планирования мероприятий по рациональному использованию водных ресурсов, снижения воздействия на окружающую среду. Однако указанные критерии имеют ряд недостатков и требуют дополнительной корректировки.

#### Список литературы

- 1 ЭкоНиП 17.06.04-004-2022, ВУ. Охрана окружающей среды и природопользование. Гидросфера. Правила расчета технологических нормативов водопользования [Электронный ресурс] : утв. М-вом труда и соц. защиты Респ. Беларусь 30.11.22. – Введ. 01.03.22. // Нац. правовой интернет-портал Респ. Беларусь. – Режим доступа : <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=W22339331p>. – Дата доступа : 10.09.2023.
- 2 ТКП 17.02-13/1-2015 (33140). Охрана окружающей среды и природопользование. Технологические нормативы. Ч. 1. Расчет технологических нормативов водопользования : утв. и введ. в действие 30 января 2015 г. № 1-Т. – Минск : Минприроды, 2015. – 38 с.
- 3 ЭкоНиП 17.01.06-001-2017, ВУ. Охрана окружающей среды и природопользование. Требования экологической безопасности [Электронный ресурс]: утв. М-вом природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь 18.07.17 (в ред. постановления М-ва природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь 21.11.2022 № 23-Т) // Нац. правовой интернет-портал Респ. Беларусь. – Режим доступа : <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=W22339485p>. – Дата доступа : 10.09.2023.

## МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА a-C ПОКРЫТИЙ, ОСАЖДЕННЫХ ИЗ СЕПАРИРОВАННЫХ ПОТОКОВ УГЛЕРОДНОЙ ПЛАЗМЫ

К. А. САХОВСКИЙ

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Свойства углеродных покрытий определяются в первую очередь отношением содержания атомов углерода с  $sp^1$ -,  $sp^3$ - и  $sp^2$ -гибридизацией связей [1]. Покрытия с преобладанием  $sp^3$ -фазы по своим свойствам приближаются к свойствам природного алмаза и называются алмазоподобными покрытиями (АПП), а в англоязычной литературе – diamond-like carbon (DLC). Увеличение в покрытиях содержания атомов с  $sp^1$ - или  $sp^2$ -гибридизацией связей соответственно смещает их свойства к свойствам карбинов и графитов. Алмазоподобные покрытия – покрытия, которые широко используются в таких областях, как машиностроение, медицина, электротехника, оптика и т. д. АПП изменяют поверхностные свойства подложки (инструмента, рабочих поверхностей штампов и т. д.), за счет чего возможно получить низкий коэффициент трения, повышенную износостойкость и высокую твердость рабочих поверхностей.

Углеродные покрытия, в структуре которых преобладает  $sp^2$ -гибридизация, обычно обозначают «a-C» (amorphous carbon), а покрытия с преобладанием  $sp^3$ -гибридизации имеют обозначение «ta-C» (tetrahedral amorphous carbon). Согласно [2] установлено, что различия в методах и даже небольшие отличия в технологических параметрах осаждения покрытий обуславливают значительные различия в их структуре и свойствах [3]. При осаждении покрытий с использованием вакуумной дуги постоянного тока в потоке наблюдается большое количество макрочастиц (МЧ) графита, загрязняющих поверхность подложки растущего покрытия и приводящих к образованию разнообразных дефектов на поверхности АПП. Такие покрытия не могут быть использованы в оптике, микроэлектронике, точной механике, медицине и в других отраслях высоких технологий. Для уменьшения концентрации макрочастиц используют сепараторы плазмы.

Покрытия на основе углерода были получены с использованием вакуумной установки УВНИПА-1-001, укомплектованной ионным источником, сепаратором плазменного потока (рисунок 1, а), импульсным источником углеродной плазмы (рисунок 1, б).

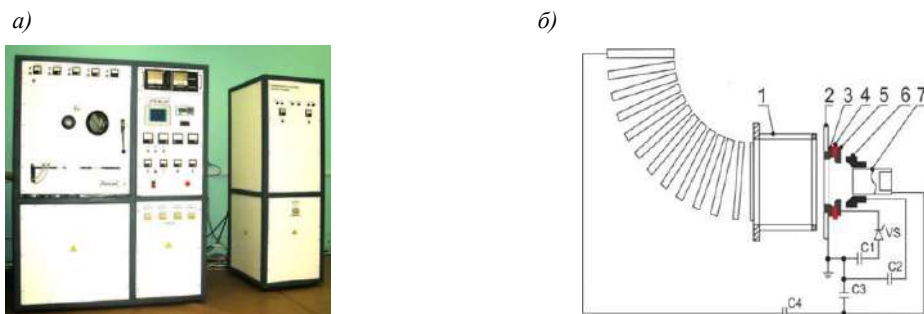


Рисунок 1 – Вакуумная установка УВНИПА-1-001 (а); импульсный генератор углеродной плазмы с сепаратором плазменного потока (б):

1 – анод; 2 – поджигающий электрод; 3 – анод; 4 – соленоид; 5 – графитовый катод

В качестве сепаратора использован криволинейный соленоид с углом поворота плазменного потока на 90 градусов. Отличительной особенностью данного соленоида является его включение в электрическую схему блока питания импульсного генератора углеродной плазмы, при этом возникающее в соленоиде транспортирующее поле является импульсным и возникает в момент импульсного разряда. Геометрически фильтр выполнен в виде части тора с внутренним диаметром 95 мм и длиной 380 мм. Поскольку транспортировка углеродной плазмы с поверхности катода до подложки осуществлялась в криволинейном магнитном поле тороидального соленоида, обладающего индуктивностью, то происходило изменение параметров разрядного контура, формирование L-C-контура, что приводило к увеличению длительности импульса и, как следствие этого, уменьшению плотности электронного потока на поверхности графитового катода.

Покрытия осаждали на полированные кремниевые подложки при температуре 23 °С. Осаждение покрытий проходило при различных напряжениях импульсного дугового разряда (200–450 В, с ша-

гом 50 В) и постоянной частоте следования импульсов разряда 5 Гц. Количество импульсов, определяющее толщину покрытия, составляло 3000.

Микроструктуру покрытий исследовали методом спектроскопии комбинационного рассеивания с помощью КР микроскопа Senterra (Bruker). Возбуждение спектров осуществлялось излучением с длиной волны 532 нм и мощностью 20 мВт.

Спектры комбинационного рассеивания углеродных покрытий представляют собой суперпозицию, так называемых D- и G-пиков, с центрами, находящимися при  $1350\text{ см}^{-1}$  и  $1560\text{ см}^{-1}$  соответственно. На рисунке 2 представлены параметры спектров осажденных покрытий.

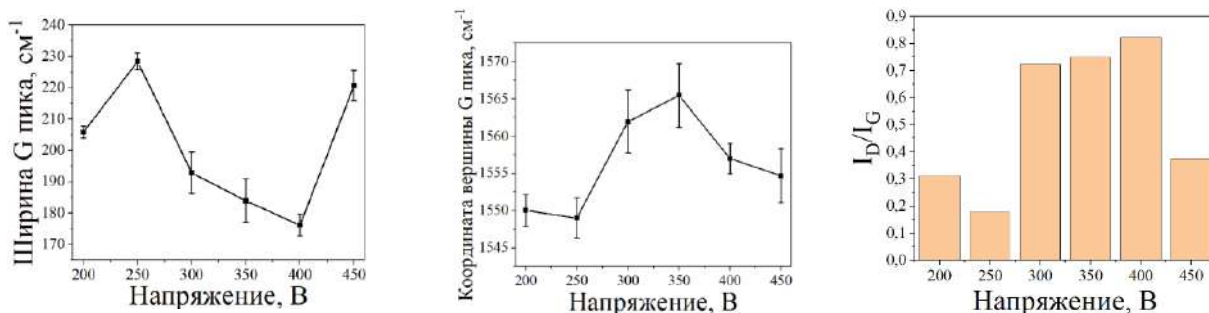


Рисунок 2 – Параметры спектров КР-покрытий, осажденных из сепарированных потоков углеродной плазмы при различном напряжении разряда

В результате анализа спектров можно установить, что увеличение степени разупорядоченности структуры а-С-покрытия, осажденного из сепарированного потока, связано с ростом содержания атомов с  $sp^3$ -гибридизацией связей. Соответственно, из анализа параметров спектров полученных покрытий можно сделать вывод, что при напряжениях 300, 350 и 400 В структура имеет преобладающую  $sp^2$ -фазу, при напряжениях 200, 250 и 450 В преобладает  $sp^3$ -фаза.

Измерение твердости и модуля упругости покрытий выполняли методом динамического механического анализа (DMA), являющегося одним из методов индентирования, в процессе которого на поступательное внедрение индентора накладываются гармонические колебания, что позволяет определить твердость и модуль упругости почти в каждой точке углубления индентора, т. е. получить практически непрерывные зависимости механических характеристик от глубины. Частота, на которой возбуждались колебания в динамическом режиме, равнялась 20 Гц. При этом типичная амплитуда колебаний составила порядка нескольких нанометров при максимальной нагрузке 40 мН.

Среднее значение твердости и модуля упругости покрытий, рассчитанное при глубине внедрения индентора 20 нм, приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Значения твердости и модуля упругости осажденных покрытий

Показатель	Значение					
	200	250	300	350	400	450
Напряжение, В	200	250	300	350	400	450
Твердость, Н, ГПа	12,62	12,2	14,1	20,5	17,2	13,7
Модуль упругости, Е, ГПа	159,7	151,05	148,8	166,6	159,3	158

Установлено, что изменения твердости и модуля упругости соответствуют изменению микроструктуры и, в нашем случае, достигают максимальных значений при напряжении разряда 350 В. Известно [4], что твердость АПП зависит от отношения  $sp^2/sp^3$  атомов углерода и размера углеродного кластера, что согласуется с результатами исследования структуры методом спектроскопии КР.

*Работа выполнена при финансовой поддержке министерства образования Республики Беларусь (проект 20212075).*

#### Список литературы

- 1 Чайковский, Э. Ф. Алмазоподобные пленки углерода / Обзор. инф. Сер. «Монокристаллы и особо чистые вещества» / Э. Ф. Чайковский, В. М. Пузиков А. В. Семенов. – М. : НИИТЭХИМ, 1985. – 365 с.
- 2 Lifshitz, Y. Pitfalls in amorphous carbon studies / Y. Lifshitz // Diamond and Related Materials – 2003. – Vol. 12. – P. 130–140.
- 3 Федосеев, Д. В. Алмаз : справ. / Д. В. Федосеев, Н. В. Новиков, А.С. Вишнеvский. – Киев : Наук. думка, 1981. – 78 с.
- 4 Композиционные углеродные покрытия, осажденные из импульсной катодной плазмы / Д. Г. Пилипцов [и др.] ; под ред. А. В. Рогачева. – М. : Радиотехника, 2020. – 283 с.

## СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ВАКУУМНОЙ И ГРАВИТАЦИОННОЙ СИСТЕМ КАНАЛИЗАЦИИ

*А. В. УРИЦКАЯ*

*ОДО «ЭНЭКА», г. Гомель, Республика Беларусь*

*О. К. НОВИКОВА*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Канализование селитебной территории является важным направлением развития инфраструктуры малых населенных пунктов, которое требует тщательного учета различных факторов, включая экономические затраты.

В настоящее время наиболее распространенной системой отведения сточных вод малых населенных пунктов является гравитационная система канализации, предусматривающая отведение сточных вод по безнапорным трубопроводам с подключением каждого здания отдельным трубопроводом к сборному уличному трубопроводу и дальнейшее объединение уличных трубопроводов в коллектор для транспортирования сточных вод к очистным сооружениям. Самотечная система канализации характеризуется минимальными затратами на подключение и простотой эксплуатации.

Для малых населенных пунктов характерна большая удаленность канализуемых объектов друг от друга и от сборных трубопроводов или коллекторов, что вызывает необходимость прокладывать отводящие трубопроводы от зданий из труб малых диаметров с большим уклоном, что требует значительной глубины прокладки сети. При отведении небольших объемов сточных вод из-за относительно низкой плотности населения на канализуемой территории для предотвращения засорения труб сети канализации необходимо прокладывать с уклонами, превышающими минимальные. Для снижения величины уклона, но сохранения требуемого условия незасоряемости трубопроводов, в ряде случаев прибегают к увеличению диаметра трубопроводов. Такое решение позволяет уменьшить уклон и глубину прокладки, однако значительно увеличивает стоимость сетей.

Также для снижения глубины заложения трубопроводов может использоваться комбинированная самотечная система канализации с подкачивающими канализационными насосными станциями, предусматривающая устройство ряда насосных станций, предназначенных для подъема сточных вод на определенную высоту, с последующим их самотечным отведением по безнапорным трубопроводам. Данное решение усложняет инженерную инфраструктуру и увеличивает энергопотребление.

При строительстве и реконструкции систем канализации, когда применение безнапорных или напорных сетей для отведения сточных вод экономически нецелесообразно, технически затруднительно или невозможно, могут быть предусмотрены вакуумные канализационные сети.

Принцип работы вакуумной канализации основан на транспортировке сточных вод по трубопроводам, в которых поддерживается вакуум (от минус 0,04 до минус 0,06 МПа), на центральную вакуумную станцию – единственный элемент системы канализации, который должен снабжаться электроэнергией. Вакуумные клапаны устанавливаются внутри смотровых колодцев у зданий, работают, используя энергию вакуума. Сточные воды отводятся из здания в колодец, после его наполнения до определенного уровня клапан в колодце открывается, и сточная вода под действием вакуума направляется в трубопровод. Импульс для открытия клапана, как правило, передается на управляемый блок контроллера за счет давления воздуха, создаваемого при повышении уровня сточных вод в колодце. Таким образом, чтобы открыть или закрыть клапан, не нужно использовать электропривод.

Вакуумные канализационные сети целесообразно применять при равнинном рельефе с малыми естественными уклонами, низкой несущей способности грунтов, высоком уровне подземных вод, низкой плотности населения, а также в стесненных условиях устройства канализационных сетей из-за высокой плотности застройки территории или существующих инженерных сетей.

Преимущества и недостатки самотечной (гравитационной) и вакуумной систем канализации приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Преимущества и недостатки самотечной (гравитационной) и вакуумной систем канализации

Преимущества	Недостатки
<b>Самотечная (гравитационная)</b>	
Простота устройства и подключения канализуемых объектов; Меньше потребление электроэнергии по сравнению с альтернативными способами отведения сточных вод	Необходимость использования канализационных трубопроводов большого диаметра. Значительная глубина заложения трубопроводов. Опасность возникновения газовой коррозии труб. Значительное количество смотровых колодцев. Большая стоимость строительства
<b>Вакуумная</b>	
Герметичность, что исключает инфильтрацию и экофилтрацию. Отсутствие необходимости прокладки труб с уклоном. Пилотообразный профиль трубопроводов позволяет избежать большого заглубления и, следовательно, снизить объемы земляных работ. Поддержание низкого давления, обеспечивающего движение сточных вод с высокими скоростями на выпележащие участки	Ограничение длины канализационных линий из-за потери напора (не более 3–4 км при плоском рельефе). Эксплуатация центральной вакуумной станции может сопровождаться выделением газов (сероводорода). Канализационные трубопроводы должны быть герметичными. Требуется постоянное профилактическое обслуживание и своевременная замена изношенных деталей и уплотнений механического контроллера вакуумного клапана

Технико-экономическое сравнение данных систем имеет важное значение для определения наиболее экономически эффективного варианта.

При сравнении гравитационной и вакуумной систем канализации выделены основные факторы, оказывающие влияние на величину приведенных затрат: расходы на установку, техническое обслуживание, потребление энергии и срок службы системы канализации. Кроме того, для определения оптимального варианта необходимо учитывать рельеф местности, потребности населенного пункта и бюджетные ограничения.

Для н. п. Роги Гомельского района разработаны и рассчитаны два варианта устройства неполной раздельной системы канализации: с применением гравитационной и вакуумной систем. На основании произведенных расчетов, установлено следующее:

1 Объемы земляных работ при прокладке вакуумной канализации на 55–60 % меньше, чем при прокладке самотечной, что обеспечит сокращение сроков строительства.

2 Капитальные затраты на строительство вакуумной канализации на 32 % больше, чем на строительство гравитационной системы за счет дополнительной статьи расходов на строительство вакуумной станции.

3 В экологическом и санитарно-гигиеническом отношении вакуумная система канализации является наиболее приемлемой, так как территория н. п. Роги характеризуется пологим рельефом местности, неблагоприятными почвенными условиями, низкой плотностью застройки.

4 Для обеспечения рентабельности вакуумной системы канализации необходимо минимум 100–120 подключений на каждую вакуумную станцию.

Проведенный экономический анализ показал, что для строительства вакуумной системы канализации потребуются значительные капитальные вложения, которые превышают затраты на строительство самотечной системы на 32 %, но применение вакуумной канализации обеспечит в перспективе более низкие эксплуатационные расходы.

#### Список цитированных источников

1 Ануфриев, В. Н. Перспективы применения вакуумной наружной канализации в Республике Беларусь / В. Н. Ануфриев, Е. В. Коршикова, К. А. Прищеп // Передовые технологии в системах водоотведения населенных мест : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 12–13 февраля 2020 г. – Минск : БГТУ, 2020. – С. 7–10.

2 СП 4.01.02–2022 Сети наружной канализации и сооружения на них. – Минск : Стройтехнорм, 2023. – 60 с.

## 5 ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА И ЛОГИСТИКА В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВИЗАЦИИ

УДК 355.41

### МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ЗАТРАТ ПО ДОСТАВКЕ ГОРЮЧЕГО РАЗЛИЧНЫМИ ВИДАМИ ТРАНСПОРТА

*И. С. АВЕРИН*

*Военная академия Республики Беларусь, г. Минск*

Рост потребности войск в нефтепродуктах поставил горючее в разряд важнейшего вида материальных средств, непосредственно влияющих на ход и исход боевых действий. Одновременно с этим все больше стал проявляться дефицит транспортных возможностей по подаче топлива войскам, что потребовало начать поиск эффективных путей решения данной проблемы [1].

В целях определения наиболее эффективного вида транспорта для доставки горючего проведен сравнительный анализ затрат на транспортировку горючего железнодорожным, автомобильным и трубопроводным транспортом по экономическому и оперативному показателям. Для получения результатов сравнительного анализа определенных видов транспорта разработана методика, позволяющая наиболее полно и достоверно провести оценку их затрат на транспортировку горючего для обеспечения войск. Критерием экономической оценки эффективности перевозок грузов является минимум затрат на доставку продукции из одного пункта в другой, а экономическим показателем затрат являются текущие (эксплуатационные) расходы, а также стоимость материальных средств, находящихся в процессе перевозки [2, 3].

**Экономическим показателем** затрат общественного труда являются текущие (эксплуатационные) расходы, а также приравняемые к ним материальные средства, находящиеся в процессе перевозки

$$З = S_T + E_n \Phi, \quad (1)$$

где  $S_T$  – текущие эксплуатационные затраты, руб.;  $E_n$  – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений, действующий в Республике Беларусь,  $E_n = 0,15$ ;  $\Phi$  – стоимость материальных средств в обороте, руб.

Текущие эксплуатационные затраты рассчитаны для магистрального транспорта по формуле:

$$S_T = S_m L_m Q, \quad (2)$$

где  $Q$  – объем перевозок, т;  $S_m$  – себестоимость перевозки груза магистральным транспортом, руб./ткм;  $L_m$  – расстояние перевозки груза магистральным транспортом, км.

Стоимость материальных средств в обороте определялась по формуле:

$$\Phi = \frac{Q C_r T_d}{365}, \quad (3)$$

где  $C_r$  – средняя цена одной тонны перевозимых грузов, руб.;  $T_d$  – среднее время доставки груза, сут.

Среднее время доставки груза является **оперативным показателем** затрат на доставку груза.

*Для автомобильного и железнодорожного транспорта*

$$T_d = \sum_{i=1}^n t_i, \quad (4)$$

где  $t_1$  – время погрузки;  $t_2$  – время на формирование автомобильной колонны или железнодорожного состава;  $t_3$  – время перевозки автомобильным или железнодорожным транспортом;  $t_4$  – время разгрузки в пункте назначения.

Для трубопроводного транспорта

$$T_d = \frac{L_n}{v_{тр}}, \quad (5)$$

где  $L_n$  – расстояние перевозки, км;  $v_{тр}$  – скорость перекачки трубопроводным транспортом, км/ч.  
Скорость движения горючего по трубопроводу [4]:

$$v_{тр} = \frac{4Q}{\pi d^2}, \quad (6)$$

где  $Q$  – производительность, м<sup>3</sup>/сут;  $d$  – внутренний диаметр трубопровода, м.

Исходные данные для определения временных показателей представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Исходные данные для определения временных показателей по доставке груза

Обозначение	Время доставки груза различными видами транспорта, сут		
	автомобильным	железнодорожным	трубопроводным
$t_1$	Средние нормы времени простоя автомобилей, автопоездов и автомобильных подразделений под загрузкой (разгрузкой) на центральных базах (складах), соединений и воинских частей в полевых условиях	Договор с железнодорожной станцией о сроках подачи и загрузки транспорта	–
$t_2$	То же, что и $t_1$	Средние нормативы для ж.-д. транспорта	–
$t_3$	$t = \frac{L_n}{v_{ат}}$	$t = \frac{L_n}{v_{жд}}$	$T_d = \frac{L_n}{v_{тр}}$
$t_4$	То же, что и $t_1$	Договор с ж.-д. станцией	–

Порядок проведения расчетов по каждому виду транспорта представлен в научно-исследовательской работе [5], выполненной сотрудниками научно-исследовательского института Вооруженных Сил Республики Беларусь совместно с управлением горючего и смазочных материалов Министерства обороны.

Согласно результатам расчетов, по экономическому показателю трубопроводный транспорт эффективнее железнодорожного в 2,7 раза, автомобильного в 27 раз. В сложившихся экономических условиях необходимость учета данного показателя является очевидной. По оперативному показателю трубопроводный транспорт превосходит железнодорожный в 8 раз, автомобильный в 3,6 раза, что в военное время имеет наибольшее значение по сравнению с экономическими затратами, и также должен учитываться руководством тыла Вооруженных Сил в ходе строительства и развития тыла и службы горючего и смазочных материалов в частности.

Таким образом, применение трубопроводного транспорта как альтернативного основным видам способно повысить эффективность функционирования всей системы тылового обеспечения войск в ходе подготовки и ведения ими военных действий.

#### Список литературы

- 1 Исследование проблемных вопросов организации планирования подвоза материальных средств в интересах Региональной группировки войск (сил). Разд. 4.2: отчет по результатам исследований, проведенных в ходе совместной штабной тренировки Объединенного командования Региональной группировки войск (сил) / ГУ «НИИ ВС РБ»; исполн. Д. В. Мацнев. – Минск, 2009. – С. 65–67.
- 2 Савин, В. И. Перевозки грузов автомобильным транспортом: справ. пособие / В. И. Савин. – М. : Дело и сервис, 2004. – 544 с.
- 3 Савин, В. И. Перевозки грузов железнодорожным транспортом : справ. пособие. – М. : Дело и сервис, 2003. – 528 с.
- 4 Руководство по эксплуатации полевых магистральных трубопроводов. – М. : Воениздат, 1968. – 355 с.
- 5 Исследование альтернативных способов доставки горючего и смазочных материалов для обеспечения группировок войск в ходе подготовки и ведения военных действий. Ч. 1. Отчет о НИР / ГУ «НИИ ВС РБ»; исполн. И. С. Аверин. – Минск, 2010. – 131 с.



## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТАМОЖЕННОГО ДЕКЛАРИРОВАНИЯ В ЕВРАЗИЙСКОМ ЭКОНОМИЧЕСКОМ СОЮЗЕ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ

*А. С. АНТОНЕНКО*

*Гомельская таможня, Республика Беларусь*

*А. П. ПЕТРОВ-РУДАКОВСКИЙ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В современных условиях развития внешнеторговой деятельности и углубления региональной интеграции перед таможенными органами стоит вопрос упрощения и унификации таможенного декларирования товаров. Основным направлением такого развития является имплементация информационных технологий в процесс таможенного декларирования товаров и транспортных средств. Для определения приоритетных направлений совершенствования таможенного декларирования государственный таможенный комитет Республики Беларусь принял стратегию развития таможенных органов на 2021–2025 годы и прогнозный период до 2030 года с учётом необходимости цифровой трансформации работы таможенных органов. Среди целевых индикаторов, относящихся к таможенному декларированию, были выделены:

- развитие эффективной и прозрачной системы таможенного администрирования;
- обеспечение быстрых, удобных и безопасных коммуникаций между таможенным органом, бизнесом и гражданами;
- развитие электронного таможенного декларирования и автоматизации совершения таможенных операций, в том числе при осуществлении выпуска товаров; создание и развитие центров электронного декларирования;
- развитие современной информационно-коммуникационной инфраструктуры, систем информационной безопасности для обеспечения эффективного функционирования;
- применение информационно-коммуникационных систем и комплексов, соответствующих инновационному подходу и современному технологическому укладу в области контроля таможенных платежей;
- внедрение новых технологий в правоохранительную деятельность таможенных органов, поэтапный переход к безбумажному ведению административного процесса и рассмотрению заявлений и сообщений о преступлениях;
- интеграция всех источников информации для выявления и оценки угроз;
- повышение эффективности образовательной и экспертной деятельности института повышения квалификации и переподготовки кадров, расширение возможности дистанционного обучения посредством внедрения информационных технологий, модернизации инфраструктуры и ресурсной базы.

Несмотря на провозглашенный курс на унификацию и гармонизацию в рамках ЕАЭС, все еще присутствует ряд проблем, связанных с различиями в механизмах функционирования таможенного декларирования в рамках каждого государства.

Наиболее очевидным решением видится приведение систем электронного декларирования к единому стандарту, то есть к единой системе. Данная система будет являться единым инструментом для всех государств – членов ЕАЭС, направленным на создание единого механизма электронного декларирования с упрощенным обменом информацией среди стран – участниц ЕАЭС, а также способствует интеграции стран в рамках ЕАЭС путём гармонизации таможенного законодательства в сфере таможенного декларирования.

Однако в данный момент усилия каждого из государств ЕАЭС уже сконцентрированы на развитии собственной системы электронного декларирования. Государства уже вложили значительные средства в их развитие, вследствие чего будет сложно отказаться от результатов проделанной работы, кроме того, потребуется и переобучение должностных лиц таможенных органов для работы с новым программным продуктом, затрата больших денежных средств для разработки новой систе-

мы, а также построения новых правовых норм для её функционирования. Вследствие этого предлагается создавать не новую систему информационного обмена, которая будет единой для всех стран ЕАЭС, а интегрированную информационную систему, которая бы стала платформой или же «надстройкой» для единого функционирования всех ныне существующих национальных систем таможенного декларирования и применялась бы для межгосударственного обмена таможенными органами необходимой информацией и единого таможенного декларирования на территории ЕАЭС. Данное решение даст возможность избежать радикальных изменений в системах электронного декларирования. Внедрение именно такой системы позволит сохранить гибкость каждой отдельной системы электронного таможенного декларирования, но при этом повысит эффективность взаимодействия между таможенными органами государств – членов ЕАЭС или же вовсе сведет его к необходимому минимуму путем дальнейшей автоматизации процессов.

Решение указанной проблемы позволит:

- гармонизировать процесс документооборота между таможенными органами стран ЕАЭС;
- начать движение в направлении ведения полностью электронного документооборота;
- упростить отмену «принципа резидентства» в вопросе таможенного декларирования в ЕАЭС;
- увеличить цифровизацию процесса транзитных перевозок товаров по таможенной территории ЕАЭС и решить иные существующие проблемы.

Кроме того, в отечественной практике таможенного декларирования присутствует проблема использования излишне упрощенного инструментария для электронного декларирования товаров для личного пользования. В данный момент используется Портал предварительного электронного представления сведений физическими лицами в таможенные органы. Его функция заключается в решении им единственной задачи – передачи сведений о перевозимых товарах и транспортных средствах для личного пользования, с возможностью получения разъяснений в сфере работы портала и заполнения электронного вида пассажирской таможенной декларации. Так, в сравнении с аналогичными сервисами зарубежных стран, отсутствует ряд функций:

- возможность исчисления необходимых к уплате платежей;
- возможность оплаты исчисленных таможенных платежей.

Решением данной проблемы могла бы стать модернизация данного портала. Так, необходимость в создании отдельного приложения для решения данной проблемы отсутствует, так как сайт Государственного таможенного комитета имеет в наличии всю необходимую для физического лица информацию и разъяснения, касающиеся перемещения товаров для личного пользования, и перенесение всего функционала в отдельное приложение может вызвать путаницу среди физических лиц, перемещающих товары для личного пользования через границу, так как зайти в определенный раздел сайта проще и менее затратно в условиях использования интернет-трафика, чем использовать приложение, которое необходимо загрузить на устройство и только потом начать им пользоваться. Основными новациями для данного портала могло бы стать следующее.

1 Отказ от заполнения формы электронной пассажирской таможенной декларации напрямую. Для этого целесообразно использовать «опросник», предполагающий дачу ответа на поставленный вопрос с возможностью выбора ответа из выпадающего меню. Такие поля электронного вида пассажирской таможенной декларации присутствуют, но не все поля оформлены подобным образом. Так, например, в данный момент необходимо самостоятельно вводить наименование товара, без возможности автозаполнения.

2 Добавление функции расчёта необходимых к уплате платежей. На основании информации, указанной ранее, в том числе в наименовании перевозимого товара, его количестве и стоимости, можно указывать декларанту стоимость подлежащих к уплате платежей.

3 Создание возможности уплаты начисленных ранее платежей прямо на счёт таможенных органов, с предоставлением электронного чека непосредственно в приложении.

4 Предоставление декларанту вместо УИИП QR-кода для предоставления при перемещении через границу, для ускорения времени совершения операций по декларированию и контролю.

Таким образом, отметим, что перспективные совершенствования связаны с цифровизацией декларирования. Крупнейшим таким проектом можно считать предлагаемую единую систему электронного декларирования и документооборота стран – участниц ЕАЭС, которая не только усовершенствует таможенное декларирование на территории ЕАЭС, но и откроет новые возможности международного взаимодействия таможенных служб.

## ПРОГРАММНЫЕ РЕШЕНИЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ТРАНСПОРТНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ

*П. С. АРТЕМЧИК*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Транспортные организации играют ключевую роль в современной торговле и перемещении пассажиров и грузов. Оптимизация этого сложного и многогранного процесса является приоритетом для многих компаний, занимающихся перевозками. Автоматизация управления логистикой становится все более популярной и эффективной стратегией для повышения операционной эффективности и снижения затрат.

Одной из главных проблем в работе организаций транспортной отрасли является сложность координации и управления множеством процессов, включая планирование перевозок, управление ресурсами, отслеживание грузов, обработку документации и т. д. Ранее, когда эти процессы выполнялись без специализированных программных продуктов, это приводило к частым ошибкам, задержкам и неполадкам, а также неэффективному использованию ресурсов.

Положительным признаком автоматизации управления транспортной логистикой является более точное планирование и управление ресурсами. Системы автоматизации позволяют организациям эффективно использовать транспортные ресурсы, координируя их в режиме реального времени на основе потребностей и графика перевозок.

Технологии автоматизации предоставляют возможность автоматического отслеживания и мониторинга грузов. Системы автоматизации позволяют операторам отслеживать перемещение груза в режиме реального времени, обеспечивая точное представление о расположении и статусе груза. Это помогает снизить риски потери, повреждения или задержки груза, а также повышает уровень сервиса для клиентов.

Также преимуществом автоматизации транспортных организаций является возможность автоматической обработки и учета документов. Системы автоматизации позволяют компаниям средствами электронного документооборота перевести процесс обработки документов в электронный формат, что упрощает процесс и сокращает время обработки данных и возможность допущения ошибок.

Кроме того, автоматизация предоставляет средства для анализа и оптимизации данных и бизнес-процессов. С помощью программных систем компании могут анализировать и сравнивать различные параметры перевозок, такие как расстояние, вес, объем груза и тарифные ставки. Это позволяет оптимизировать выбор маршрута и режима транспортировки, а также повысить эффективность и экономичность перевозок [1].

На рынке программного обеспечения можно найти множество продуктов автоматизации деятельности транспортных организаций как зарубежных, так и отечественных. Но на фоне санкционного давления многие зарубежные компании перестали сотрудничать с организациями нашей страны, в связи с чем образовалась необходимость поиска новых качественных продуктов автоматизации для организаций, потерявших поддержку из-за рубежа.

На сегодняшний день наиболее распространенными являются программные решения, разработанные фирмой 1С и ее партнерами. На рынке представлены как комплексные, так и отдельные технологии, предназначенные для решения всех задач транспортной организации.

Можно выделить следующие прикладные решения, которые в большей степени подходят для транспортных организаций:

- 1С:ERP Управление предприятием 2 для Беларуси;
- 1С:Предприятие 8. WMS Логистика. Управление складом;
- 1С:Предприятие 8. TMS Логистика. Управление перевозками;
- 1С:Предприятие 8. Транспортная логистика, экспедирование и управление автотранспортом КОРП;
- 1С:Предприятие 8. Центр спутникового мониторинга ГЛОНАСС/GPS;
- 1С:Предприятие 8. Управление Автотранспортом ПРОФ;
- 1С:Управление автотранспортом. Модуль для 1С:ERP [2].

Конфигурация «1С:ERP Управление предприятием 2 для Беларуси» предназначена для построения комплексных информационных систем управления деятельностью многопрофильных предприятий, в том числе с технически сложным многоуровневым производством. В основе разработки лежат практические знания, приобретенные при автоматизации мировых и отечественных организаций среднего и крупного бизнеса.

Данное программное решение обеспечивает прозрачность бизнес-процессов и оценку эффективности деятельности предприятия, его отдельных подразделений и персонала. Управленческий, бухгалтерский и налоговый учет нескольких организаций можно вести в единой информационной базе. Реализовано четкое статусное разграничение доступа сотрудников к информации.

В данном программном продукте реализованы механизмы для работы с мониторингом и анализом показателей деятельности предприятия, многоуровневая система производства, обеспечение учета объектов, находящихся в эксплуатации, механизмы бюджетирования и казначейства, учета продаж и взаимоотношений с клиентами, мониторинг склада от закупок до списания в производство, расчета заработной платы и управления персоналом.

Данная конфигурация универсальна и подходит для любой организации. В то же время она позволяет настроить обмен данными со специализированными программными решениями транспортных предприятий.

Системы «1С:Предприятие 8. WMS Логистика. Управление складом», «1С:Предприятие 8. TMS Логистика. Управление перевозками» и «1С:Предприятие 8. Транспортная логистика, экспедирование и управление автотранспортом КОРП» вместе создают единое информационное пространство для транспортных организаций.

Система «Управление складом» предназначена для управления и оптимизации процессов и решения основных проблем складских комплексов. Данный программный комплекс включает учет товаров на складе от поступления до полного списания, позволяет настроить систему оповещений сотрудников посредством СМС-оповещения или в мессенджерах при режиме работы без оператора. Мониторинг осуществляется не только по товарам, но и по работе персонала и складского помещения в целом.

Система «Управление перевозками» предназначена для управления и оптимизации технических, технологических и экономических задач транспортной логистики. Основное назначение конфигурации – планирование грузоперевозок с использованием привлеченного транспорта.

Система «Транспортная логистика, экспедирование и управление автотранспортом КОРП» предназначена для автоматизации экспедиционных услуг и управления перевозками, осуществляемыми железнодорожным, морским, авто- и авиатранспортом. Особенностью данной системы является мобильное приложение для водителей, позволяющее постоянно быть на связи с диспетчерскими службами.

Программное решение «1С:Предприятие 8. Центр спутникового мониторинга ГЛОНАСС/GPS» предназначено для онлайн-контроля ГЛОНАСС/GPS работы транспортных средств, специализированной техники, выездных специалистов, для соблюдения маршрутов и графиков выполнения маршрутных заданий. Продукт разработан для предприятий различных отраслей: транспорта, строительства, промышленности, сельского и лесного хозяйства и мн. др. [2].

Система «1С:Предприятие 8. Управление Автотранспортом ПРОФ» разработана для транспортных организаций и предназначена для учета парка транспортных средств и водителей.

Система «1С:Управление автотранспортом. Модуль для 1С:ERP» похожа на предыдущее программное решение, но отличается упрощением интеграции с системой 1С:ERP.

Во всех системах реализованы механизмы, обеспечивающие повышенную работоспособность на различных платформах, в том числе и на мобильных устройствах без потерь качества данных и безопасности информационных баз.

Выше описаны наиболее распространенные программные продукты, но кроме них существует еще множество программных решений, разработанных и разрабатываемых отечественными IT-компаниями.

Благодаря грамотной политике государства в сфере IT в Республике Беларусь хорошо развит сектор компаний, занимающихся автоматизацией и цифровизацией бизнеса. Многие из них являются франчайзи фирмы 1С, что дает им возможность локализации, реализации, доработки и поддержки программных продуктов на территории нашей страны, что в условиях сегодняшних реалий помогает поддержке и дальнейшему развитию отраслей хозяйствования, в том числе и транспортных, которые остались без поддержки зарубежных компаний.

Тесное сотрудничество таких компаний с хозяйствующими субъектами способствует совершенствованию программных продуктов и развитию собственной базы программных решений, в том числе и для транспортной отрасли.

#### Список литературы

1 Яковлева, Е. А. Цифровизация транспортно-логистической отрасли в условиях глобализации мировой экономики / Е. А. Яковлева // Вестник ВГУИТ [Электронный ресурс]. – 2019. № 4 (82). – Режим доступа : <https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovizatsiya-transportno-logisticheskoy-otrasli-v-usloviyah-globalizatsii-mirovoy-ekonomiki>. – Дата доступа : 14.09.2023.

2 Отраслевые и специализированные решения 1С:Предприятие [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://solutions.1c.ru/digital/iioot-frid/>. – Дата доступа : 14.09.2023.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НОВЫХ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ МЕТОДОЛОГИИ КАНБАН НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ТРАНСПОРТА

*В. А. БОЯРКИНА, А. М. ДОРОШЕВ*

*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Российская Федерация*

Процесс внедрения различных операционных систем в канбан помогает развивать производственную отрасль. Таким образом, создание, внедрение и объединение нескольких операционных новых систем в одну упрощают и улучшают производственный процесс, что, в свою очередь, дает финансовый рост компаниям.

Канбан – это система управления товарно-материальными запасами, которая запускает сигнал для производства продукта на основе фактических требований заказчика.

В современных реалиях, в век цифровизации и компьютеризации, адаптировать и повысить качество системы канбан помогают новые программные обеспечения, такие как Monday.com, Wrike, Smartsheet, ClickUp, Zoho Projects [1]. Их можно использовать для логистических приложений на предприятиях промышленности и транспорта.

Рассмотрим более подробно каждое из них.

**1 Monday.com.** На данный момент огромное количество компаний используют Monday.com [2], в частности Loginno. Это одна из первых организаций, которые перешли на цифровизацию внутренних процессов в судоходстве. Поэтому использование современного программного обеспечения (ПО) организацией не заставило себя долго ждать [3]. Изначально логин разработчика программного обеспечения используется для управления задачами с помощью Google электронных таблиц и Google Keep. Это создает необходимость в проведении регулярной отчетности. Компания стала использовать более эффективную систему, когда начала применять Monday.com. Loginno пользуется шаблоном разработки ПО, который может быть обновлен по мере необходимости.

Действительно, цифровизация в области управления проектами значительно ускорила процессы разработки программных средств.

Главные преимущества данной платформы, которые отмечают организации, – это наличие готовых и удобных шаблонов, которые помогают использовать систему канбан по максимуму, быстрая система напоминаний и удобный интерфейс [4]. Однако Monday.com не показывает общий результат деятельности в отдельной колонке, что может являться причиной отказа от использования данной платформы для организаций промышленности и транспорта.

**2 Wrike.** Программное обеспечение для управления проектами Wrike применяют многие компании, включая такие ведущие бренды, как PayPal, AT&T, Amazon.com, MTV, Carpgemini, Ecco, Hootsuite, НТС, Hawaiian Airlines и Purestorage. По сути, это тот же самый канбан со своими особенностями.

Другими словами, Wrike – это центральный инструмент, который используется для управления всем процессом, просмотра того, что делают сотрудники, и проверки того, соответствует ли это целям компании. Плюсы данной платформы: 1) почти в два раза быстрее можно составить бизнес-отчет, используя данную технологию; 2) практически на 70 % быстрее обновляется статус данной платформы по сравнению с другими компаниями; 3) как отмечают многие пользователи, данная система является одной из самых безопасных платформ среди прочих систем канбан [5].

**3 Smartsheet.** Это платформа, которая позволяет на базе одного проекта создать масштабную систему комплексного управления, предлагая облачную среду бескодовой разработки, где каждый может создавать решения, обеспечивая при этом должный уровень безопасности и полный контроль над процессами.

Smartsheet помогает создавать таблицы, инструменты для ведения проектов, управления задачами, работы с документами и файлами. Сервис доступен как в виде браузерной версии, так и в виде мобильного приложения. Команды могут создавать отчеты по данным из нескольких таблиц, делиться ими при помощи ссылок. Также их можно совместно редактировать, дополнять и общаться при помощи комментариев в них [6].

Таким образом, к преимуществам данной платформы можно отнести: облачность системы; API для интеграции с любыми сервисами (в том числе Zapier); совместную работу над документами; удобство и порядок.

**4 ClickUp.** Основанная в 2017 году ClickUp занимается разработкой программного обеспечения для командной работы. Это «единая платформа для повышения производительности»: она объединяет чаты, документы, менеджер задач и целей, составление отчётов и другие функции.

К преимуществам данного ПО можно отнести: доступ к инструменту на настольных и мобильных устройствах, интеграцию сторонних приложений, отслеживание статуса проекта в режиме реального времени с помощью информационных панелей, поддержку клиентов в режиме реального времени с бесплатным обучением и вебинарами. Однако высокая стоимость является главным недостатком данной платформы [7].

**5 Zoho Projects.** Это современное и гибкое ПО для управления проектами, с которым работают тысячи пользователей по всему миру. Оно масштабируется в зависимости от количества проектов с возможностью добавления дополнительных функций.

Все участники подключены к почасовому табелю, в котором можно рассчитывать заработную плату и автоматически генерировать счета-фактуры. Затраченное время отслеживается благодаря расписаниям, а данные могут быть экспортированы в форматы XLS, PDF и CSV для дальнейшей отправки.

Zoho Projects интегрируется с аккаунтами Google Workspace и Office 365. Также доступны мобильные приложения для iOS и Android [8].

Каждая платформа имеет свои преимущества и недостатки, поэтому данные аспекты могут как развивать бизнес компании, так и замедлять их. Многие организации говорят о желании использовать несколько платформ сразу, так как каждая из них имеет свои плюсы относительно других. Например, многие фирмы используют Monday.com, так как главным преимуществом именно этой платформы является наличие удобных шаблонов и простого интерфейса, однако есть и недостатки, которые могут значительно мешать развитию компании. Таким образом, можно сделать вывод, что внедрение новых технологий и создание разных платформ для реализации методологии канбан помогут улучшить производственную и промышленную деятельность. Так, создание новых софтов, например, гибрида Monday.com и Click up будет являться смесью удобного интерфейса и мобильности, поможет оперативнее и слаженнее работать организациям промышленности и транспорта, сокращая при этом издержки. Такой гибрид нескольких операционных софтов и систем поможет компаниям легко завоевывать рынок и улучшать качество своей продукции в несколько раз.

#### Список литературы

- 1 10 Best Kanban Software Of 2023 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://thedigitalprojectmanager.com/tools/best-kanban-software/>. – Дата доступа : 05.09.2023.
- 2 Which companies use Monday.com [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [https://translated.turbopages.org/proxy\\_u/en-ru.ru.fff172b0-64831f16-d6edaef2-74722d776562/https://optimistminds.com/which-companies-use-monday-com/](https://translated.turbopages.org/proxy_u/en-ru.ru.fff172b0-64831f16-d6edaef2-74722d776562/https://optimistminds.com/which-companies-use-monday-com/). – Дата доступа : 05.09.2023.
- 3 Loggino will be the first digital shipping company [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://en.sudohodstvo.org/loggino-will-first-digital-shipping-company/>. – Дата доступа : 05.09.2023.
- 4 Monday.com [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.trustradius.com/products/monday/reviews?qs=pros-and-cons>. – Дата доступа : 05.09.2023.
- 5 The Business Benefits of Wrike [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [https://cdn.wrike.com/marketing/The\\_Business\\_Benefits\\_of\\_Wrike.pdf](https://cdn.wrike.com/marketing/The_Business_Benefits_of_Wrike.pdf). – Дата доступа : 05.09.2023.
- 6 O Smartsheet [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://ru.smartsheet.com/about>. – Дата доступа : 05.09.2023.
- 7 Всестороннее изучение того, что такое ClickUp и его преимущества [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.mindonmap.com/ru/blog/clickup-review/>. – Дата доступа : 05.09.2023.
- 8 Zoho Project Management Review, Managing the #1 Projects Online Easily Through Cloud [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.cnwintech.com/blog/zoho-project-management-software-performance-review-managing-projects-online-cloud/>. – Дата доступа : 05.09.2023.

УДК 338.24

## ИНФРАСТРУКТУРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ: СУЩНОСТЬ И ПРОБЛЕМАТИКА

*О. Г. БЫЧЕНКО, О. В. БЫЧЕНКО*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Экономическая безопасность страны обеспечивается за счёт согласованного действия всех отраслей её национальной экономики. Каждая из отраслей, в силу специфики своей деятельности, выбирает наиболее эффективные механизмы воздействия, направленные на достижение своих эко-

номических целей. В составе отраслей выделяют сферы материального и нематериального производства (инфраструктуру). К инфраструктуре относятся отрасли, создающие условия жизнедеятельности общества. Обеспечение экономической безопасности страны во многом зависит от устойчивой и надёжной работы инфраструктуры. Это позволяет выделить особый вид безопасности – инфраструктурную.

Инфраструктурная безопасность означает обеспечение защиты критически важных объектов и систем, таких как энергетические сети, транспортные магистрали, водоснабжение и другие элементы инфраструктуры, от различных видов угроз и атак. Она имеет критическое значение для обеспечения нормальной жизнедеятельности общества и экономики.

Угрозы – это потенциальные события или действия, которые могут нанести вред инфраструктуре или обществу. Это могут быть естественные бедствия, террористические акты, кибератаки и мн. др.

В составе инфраструктуры можно выделить производственную и социальную сферы. Производственная сфера занимается обслуживанием производственных процессов (все виды транспорта, связи, водо-, электро-, газоснабжения и др.). Социальная сфера обеспечивает удовлетворение потребностей населения (здравоохранение, образование, торговля, жилищно-коммунальное хозяйство, бытовое обслуживание и др.)

Производственная инфраструктурная безопасность создаёт условия для осуществления бесперебойных поставок, гарантирует доступность средств коммуникации. Транспортный комплекс, в состав которого входит и железнодорожный транспорт, относится к инфраструктуре, т. е. оказывает услуги по организации и осуществлению перевозок. С этой точки зрения можно выделить транспортно-коммуникационную безопасность, которая обеспечивает гарантированное оказание транспортных услуг и сохранность товаров при обеспечении воспроизводственных процессов, способствующих устойчивому развитию национальной экономики.

Основные аспекты инфраструктурной безопасности:

1 Физическая безопасность включает в себя меры по охране физических объектов и инфраструктурных систем. Это могут быть видеонаблюдение, ограждения, въездные контрольные пункты и т. д.

2 Кибербезопасность охватывает защиту компьютерных и информационных систем от киберугроз, таких как вирусы, взломы, кибератаки и пр.

3 Энергетическая безопасность включает в себя обеспечение стабильности энергоснабжения и защиту энергетических объектов от различных угроз, в том числе террористических актов и природных катастроф.

4 Транспортная безопасность охватывает меры по обеспечению безопасности транспортной инфраструктуры, включая дороги, мосты, аэропорты и железные дороги.

5 Водоснабжение и водоотведение включает в себя меры по защите водоснабжающих и водоотводящих систем от различных угроз, таких как загрязнение и террористические акты.

6 Защита от природных катастроф включает в себя меры по предотвращению и минимизации ущерба от природных катастроф, таких как землетрясения, наводнения и ураганы.

7 Гражданская оборона охватывает организацию системы защиты и поддержки населения в условиях чрезвычайных ситуаций.

Эти определения служат основой для понимания важных аспектов инфраструктурной безопасности и её роли в современном обществе.

В целом инфраструктурная безопасность является активно развивающейся и многогранной проблемой, требующей комплексного подхода в решении за счёт регулярного наблюдения за возникающими аспектами её проявления для обеспечения стабильности в экономике и безопасности развития общества.

Развитие инфраструктуры требует значительных инвестиций, длительного периода их реализации и возмещения затрат, правильного формирования стратегических целей.

Главная задача инфраструктурной безопасности – обеспечение устойчивого развития экономики и благоприятных условий жизнедеятельности населения.

Инфраструктурная безопасность предусматривает обеспечение защиты объектов. Защита – это совокупность мероприятий, направленных на предотвращение угроз и минимизацию рисков для инфраструктуры и общества. Это имеет наиболее важное значение для объектов повышенной опас-

ности (таких как энергетические системы, транспортные сети, телекоммуникационные системы и т. д.) от различных угроз, включая обнаружение актов кибератак, природных катастроф и т. д.

Развитие инфраструктурной безопасности сталкивается с проблемами разной сложности, решение которых связано:

- с ростом числа случаев кибератак;
- недостаточной защитой информационных систем;
- низкой квалификацией обслуживающего персонала, возможностью агрессивного поведения из-за ошибок или недопустимых действий. Эта проблема может быть решена путём организации обучения поведения персонала в условиях нарушения безопасности информационных систем и возникновения угроз;

- недостаточным финансированием мероприятий, обеспечивающих инфраструктурную безопасность;

- отсутствием сбалансированности безопасности и доступности объектов инфраструктуры;
- необходимостью регулярного обновления техники, технологии, процедур, которые обеспечивают защиту объектов инфраструктуры.

Для повышения инфраструктурной безопасности необходимо улучшать состояние инфраструктуры, чтобы она стала более устойчивой и готовой к возникновению угроз.

Необходимость повышения уровня инфраструктурной безопасности является важнейшим вопросом для обеспечения стабильной экономики и безопасности общества, так как инфраструктурная безопасность рассматривается как составная часть экономической безопасности, на уровень которой оказывают большое влияние различные угрозы, влияние которых можно сократить, изучая механизм их воздействия на инфраструктурную безопасность.

#### Список литературы

1 Об утверждении Концепции национальной безопасности Республики Беларусь [Электронный ресурс] : Указ Президента Респ. Беларусь, 9 нояб. 2010 г., № 575 (ред. от 24.01.2014). – Режим доступа : <http://prokuratura.gov.by/ru/acts/kontsepsiya-natsionalnoybezopasnosti-respubliki-belarus/>. – Дата доступа : 12.05.2021.

2 **Быченко, О. Г.** Экономическая безопасность: теоретические аспекты и показатели её оценки / О. Г. Быченко, О. В. Быченко // Рынок транспортных услуг (проблемы повышения эффективности) : междунар. сб. науч. тр. – Гомель : БелГУТ, 2022. – Вып. 15. – С. 143–149.

3 **Кротов, М. И.** Экономическая безопасность России : Системный подход / М. И. Кротов, В. И. Мунтиян. – СПб. : Изд-во НПК «Рост». 2016. – 336 с.

4 **Можейко, А. В.** Экономическая безопасность Республики Беларусь / А. В. Можейко // Банкаўскі веснік. – 2021. – № 6. – С. 44–53.

5 Экономическая безопасность: теория, методология, практика / под науч. ред. П. Г. Никитенко, В. Г. Булавко ; Институт экономики НАН Беларуси. – Минск : Право и экономика, 2009. – 394 с.

УДК 658.7(476)

## ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

*И. В. ГАЛКИНА*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Республика Беларусь – важный транспортный и коммуникационный центр, расположенный на пересечении транспортных коридоров между Западной Европой и Азией, что является предпосылкой для возможного становления в качестве полноценного участника процесса международного перемещения товаров и услуг.

В 2022 году международная торговля развивалась под влиянием санкционных ограничений в отношении Беларуси и России, прекращения перевозок в направлении Украины по причине конфликта и, как следствие, необходимости переориентации торговых потоков. Такая ситуация кардинально отразилась на показателях внешней торговли Республики Беларусь. По итогам 2022 года сальдо внешней торговли товарами в Беларуси достигло рекордно низкого значения, хотя и осталось отрицательным. Экспорт составил почти 38,3 млрд дол., а импорт – 38,6 млрд дол., что, соответственно, на 6 и 4,2 % меньше, чем годом ранее. Существенно изменилась структура внешней торговли [3].



В силу своего геоэкономического положения Республика Беларусь имеет большой потенциал развития логистической сферы. Белорусские транспортные коридоры имеют загрузку не более 25–40 % от их реальной способности. В настоящее время в Беларуси функционирует около 60 логистических центров, из которых на Минск приходится более 70 %. Около 25 % действующих логистических центров являются государственными, остальные созданы за счет инвестиций отечественных и иностранных инвесторов (из России, Азербайджана, Ирана и Китая).

Интеграция страны в общемировые товарные потоки определяет приоритеты развития логистической системы Республики Беларусь, направленные на повышение уровня развития логистической инфраструктуры, обеспечивающей беспрепятственное проследование товарно-транспортного потока через территорию страны и сопряжение с логистическими системами других стран.

Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 28 декабря 2017 года № 1024 была утверждена Концепция развития логистической системы Республики Беларусь на период до 2030 года. Концепция разработана в соответствии с основными положениями Национальной стратегии устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2030 года, одобренной на заседании Президиума Совета Министров Республики Беларусь [2].

Целью Концепции является определение перспективных направлений в развитии логистической системы Республики Беларусь, обеспечивающих ее привлекательность для субъектов экономической деятельности, а также способствующих устойчивому экономическому развитию страны и удовлетворению потребностей в эффективном продвижении товаров на международном и национальном рынках.

В основу Концепции заложены следующие приоритеты:

- обеспечение беспрепятственного товародвижения в логистической системе Республики Беларусь;
- формирование условий для привлечения инвестиций в развитие логистической системы Республики Беларусь;
- повышение конкурентоспособности экономики республики и расширение рынков национальных товаропроизводителей;
- оптимизация совокупных затрат всех участников логистической системы;
- обеспечение равноправных условий функционирования для всех участников логистической системы;
- обеспечение целевых подходов государственного регулирования к развитию логистической системы на основе перспективных запросов товарного рынка Республики Беларусь и международной интеграции.

Положения Концепции учитывают существующий опыт развития экономики государства на основе использования логистических подходов, а также современные тенденции развития международных экономических связей Республики Беларусь и роль всех основных участников на рынке товародвижения.

Целевыми ориентирами развития логистической системы Республики Беларусь к 2030 году следует считать:

- рост позиции Республики Беларусь в мировом рейтинге по индексу эффективности логистики LPI до уровня не ниже 50;
- рост объема логистических и транспортно-экспедиционных услуг;
- увеличение доходов от транзита [2].

Развитие логистической системы Республики Беларусь должно носить постоянный характер, иметь многовекторность сфер развития и идти по следующим направлениям:

- повышения конкурентоспособности и общего снижения издержек потребителей транспортно-логистических услуг за счет внедрения новых видов и форм обслуживания потребителей на основе создаваемых ТЛЦ, позволяющих расширить ассортимент логистических услуг и улучшить их качество;
- увеличения объемов перевозок с учетом удобного географического положения Беларуси и пролегания кратчайших путей доставки грузов по территории страны, что приведет к росту экспорта транспортных услуг, увеличит масштабы и спектр логистического обслуживания;
- вложения значительных инвестиций в цифровую трансформацию логистики и технологий, что позволит повысить скорость обработки грузов, оптимизировать существующие грузопотоки

и, как результат, снизить издержки всех участников транспортно-логистической системы товародвижения.

На фоне глобальной перестройки экспортно-импортных потоков проявились все преимущества альтернативных маршрутов, ставших фундаментом для выстраивания новой логистики ЕАЭС. На белорусско-российском пространстве происходит переориентация экспортных поставок с Запада на Восток. Белорусские предприятия нацелены на интенсивное освоение перспективных рынков государств Каспийского бассейна. В построении логистических схем актуализируется роль важной международной транспортной артерии – коридора «Север – Юг». Этот широкомасштабный инфраструктурный проект мультимодальных перевозок позволит через Иран обеспечить выход в Персидский залив с дальнейшей транспортировкой продукции в ОАЭ и Индию.

Прогнозируется, что реализация проектов в рамках МКТ «Север – Юг» выведет этот коридор в число ведущих транспортных артерий континента. По расчетам аналитиков ЕАБР, к 2030 году коридор сможет увеличить объем грузоперевозок до 14,6 млн тонн. Значительную долю в структуре грузопотока по-прежнему будут составлять контейнерные перевозки, в основном за счет продовольствия и металлов [1].

Подводя итог, следует отметить, что основными проектами, формирующими перспективную логистическую систему Республики Беларусь, являются:

- развитие рынка логистических услуг, способствующего максимальной реализации принципа мультимодальности;
- повышение транзитного потенциала путем вовлечения логистических операторов и инфраструктуры логистической системы республики в международные проекты рынка товародвижения.

Реализация предложенных проектов будет способствовать прогрессу в развитии транспортно-логистического потенциала Беларуси, укреплению положения белорусских транспортно-логистических компаний на международном рынке.

#### Список литературы

- 1 Веренич, В. Транспортный коридор «Север – Юг»: важен, нужен, перспективен / В. Веренич // Логистика. – 2023. – № 2. – С. 8–11.
- 2 Об утверждении Концепции развития логистической системы Республики Беларусь до 2030 года : постановление Совмина Республики Беларусь от 28 декабря 2017 г. № 1024 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://pravo.by/document>. – Дата доступа : 10.09.2023.
- 3 Рекорд Беларуси во внешней торговле [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://officelife.media/news/>. – Дата доступа : 10.09.2023.

УДК 657 47:656.2.003

## АКТУАЛЬНОСТЬ КАЛЬКУЛЯЦИОННЫХ РАСЧЕТОВ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ РАЗВИТИЯ ЭКОНОМИКИ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

*В. Г. ГИЗАТУЛЛИНА*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В Республике Беларусь железнодорожный транспорт является важной отраслью хозяйства, которая обеспечивает экономическую безопасность государства, и представлен Белорусской железной дорогой. В современных экономических условиях для каждого хозяйствующего субъекта объективной необходимостью является ведение управленческого учета, позволяющего осуществлять управление затратами, как средства достижения высокого экономического результата.

Рассматривая исторические аспекты развития управленческого учета, можно отметить первостепенное значение калькуляционного учета, а также сделать следующие выводы:

- возникновение управленческого учета связано с развитием калькуляционного и производственного учета;
- первоначально выделился калькуляционный учет, который на первых порах своего развития был примитивным, простым;
- применение новых методов учета затрат на производство и калькулирование превратили калькуляционный учет в систему производственного учета;

– расширение функций системы производственного учета и включение в них таких функций, как планирование, контроль, анализ, принятие решений, превратило ее в систему управленческого учета.

Учет затрат на производство и калькуляция себестоимости продукции (работ и услуг) – два взаимосвязанных этапа учетного процесса. Тесная взаимосвязь и взаимозависимость проявляется, с одной стороны, в том, что основанием для исчисления себестоимости продукции являются данные бухгалтерского учета затрат на производство, с другой стороны, учет затрат организуется с такой детализацией, какая необходима для калькулирования, контроля и управления себестоимостью.

При всех различиях в методике и технике учета затрат и калькулирования себестоимости продукции в целом они базируются с экономической точки зрения на последовательной реализации принципа «затраты – выпуск – результат».

В связи с широким использованием экономических методов в управлении и стоимостных экономических категорий особо актуальное значение приобретает проблема научно обоснованного исчисления показателей себестоимости. Правильное исчисление себестоимости продукции (работ, услуг) способствует более эффективному управлению процессами ее формирования, изысканию и мобилизации внутрихозяйственных резервов дальнейшего снижения уровня издержек производства, улучшению качественных показателей работы, устранению причин высокой себестоимости продукции и низкой рентабельности ее производства, что в конечном итоге способствует росту прибыли и рентабельности хозяйствующих субъектов.

Белорусская железная дорога занимает в экономике Республики Беларусь особое место, являясь интегрирующим и организующим элементом во взаимодействии производственных субъектов хозяйствования, обеспечения населения в перевозках. Интеграция управления обеспечивает объединение разнообразных функций (планирование, учет, контроль, анализ, регулирование) на одном уровне управления, а вертикальная интеграция позволяет совместить однородные функции на разных уровнях управления (структурные подразделения, отделения дороги и Управление железной дороги).

В результате интеграции по горизонтали происходит формирование сводной информационной базы о величине эксплуатационных расходов на уровне отделений дороги. Эксплуатационные расходы (текущие расходы железной дороги и ее подразделений, связанные с осуществлением перевозочного процесса) отделений железной дороги отражают затраты, произведенные отделениями и их структурными подразделениями при осуществлении технологических операций по перевозкам. Следует отметить, что указанные расходы отражают неполную величину эксплуатационных расходов. Часть общедорожных расходов, связанных с перевозками и осуществляемых на уровне Управления железной дороги, не находит отражение в отчетах о расходах отделений. И только на уровне Управления железной дороги формируются интегрированные данные о расходах, содержащихся в соответствующих отчетах, представленных отделениями, к которым затем присоединяются общедорожные расходы: расходы Управления железной дороги и организаций дорожного подчинения.

Результатом осуществления единого технологического процесса является создание железной дорогой в целом конечной продукции, под которой понимается оформленная соответствующими документами и осуществленная перевозка грузов и пассажиров (в том числе багажа и почты). Количественными измерителями конечной продукции железной дороги являются тонно-километры (грузовые перевозки), пассажиро-километры (пассажирские перевозки). Поэтому основными объектами калькуляции себестоимости перевозок являются грузовые и пассажирские перевозки. Себестоимость грузовых перевозок рассчитывается на 1 тонно-километр, а пассажирских – на 1 пассажиро-километр. Данные показатели себестоимости позволяют установить величину эксплуатационных расходов на единицу соответствующего вида перевозок в усредненных условиях их осуществления, в соответствии с которыми происходит ценообразование и формирование тарифов.

Развитие калькуляционной работы и необходимость иметь для управления затратами более детальную информацию о единичных затратах, в зависимости от условий осуществления перевозок, определили последующие расчётные действия по определению себестоимости грузовых и пассажирских перевозок с учетом условий их осуществления: вида сообщения и вида тяги.

При этом следует отметить, что в организациях Белорусской железной дороги калькуляционная работа, в зависимости от поставленной цели управления затратами, включает в себя целый комплекс последовательно и постоянно осуществляемых организационных и практических работ по созданию

необходимой и своевременной информационной базы, которая не исключает новых подходов к классификации затрат и появлению новых классификационных признаков.

Взятое направление в управлении на формирование бизнес-процессов, возможных в подразделениях железной дороги, позволяет утверждать о необходимости иметь информационную базу о стоимостной оценке технологических операций, составляющих основу бизнес-процессов.

Исторический обзор калькуляционной работы в подразделениях железной дороги показывает, что в определенные периоды функционирования железной дороги структурные подразделения рассчитывали показатели себестоимости выполняемых технологических операций, так называемые показатели индивидуальной себестоимости.

Развитие железнодорожного комплекса, его функционирование в соответствии с требованиями мирового уровня требует постоянной разработки системы мер, направленных на повышение эффективности хозяйственной деятельности как железной дороги в целом, так и ее подразделений. Оценка разрабатываемых мероприятий базируется на использовании таких стоимостных показателей, как расходы и себестоимость отдельных технологических операций, предлагаемых технических и технологических решений, организационных изменений и др.

Информация о расходах Белорусской железной дороги (БЖД), представленная в ведомственной отчетности, формируется в тесной взаимосвязи с технологическими процессами производства. Поэтому любые изменения в технологии процесса перевозок, выполнении работ и оказании услуг, а также принятии управленческих решений требуют внесения соответствующих изменений в ведомственную отчетность, последующее изменение методики учета расходов и калькулирования показателей себестоимости, т. е. актуализации системы калькуляционных расчетов.

#### Список литературы

1 Гизатуллина, В. Г. Себестоимость железнодорожных перевозок и тарифы : учеб. пособие / В. Г. Гизатуллина, Е. В. Бойкачава. – Гомель : БелГУТ, 2016. – 301 с.

2 Номенклатура расходов : учеб.-метод. пособие / В. Г. Гизатуллина [и др.]. – Гомель : УО БелГУТ, 2016. – 189 с.

УДК 656.212.073

## ФОРМИРОВАНИЕ И РАЗВИТИЕ ТЕРМИНАЛОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА ОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ РЫНКА ТРАНСПОРТНЫХ УСЛУГ

*И. А. ЕЛОВОЙ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

*А. Н. СЛАДКЕВИЧ*

*Белорусская железная дорога, г. Минск*

На начальном этапе использования железнодорожного транспорта осуществлялась перевозка пассажиров, а затем – доставка грузов как в процессе перемещения сырья и готовой продукции на промышленных предприятиях, так и на магистральном железнодорожном транспорте.

С развитием экономики крупные партии материальных ресурсов и готовой продукции стали доставляться непосредственно на промышленные предприятия с использованием железнодорожных подъездных путей, примыкающих к железнодорожным станциям общего пользования. Одновременно развивались и грузовые дворы транспорта общего пользования, которые использовались не только для выполнения грузовых операций, но и для приема грузов от отправителей и выдачи их получателям. Причем с развитием, например, машиностроительной отрасли промышленные предприятия имели подъездные пути (пути необщего пользования), куда прибывали массовые грузы в виде исходного сырья. В то же время такие предприятия пользовались услугами грузовых дворов, куда в адрес таких машиностроительных предприятий поступали небольшие партии грузов мелкими отправлениями или в контейнерах различной грузоподъемности (например, комплектующие изделия). В зависимости от объемов работы мест общего и необщего пользования для выполнения начально-конечных операций строились соответствующие грузовые объекты с необходимыми складами для хранения грузов в зависимости от физико-химических свойств и обеспечения их сохранности.

В условиях плановой экономики «логистика» доставки грузов базировалась на вышеизложенных положениях, учитывались особенности развития каждого вида транспорта, наличие автомобильных дорог с твердым покрытием, функционирование плановой экономики, требования экологии и др. В частности, перевозка грузов железнодорожным транспортом жестко регламентировалась. В зависимости от местных условий перевозки грузов в пределах от 50 до 100 километров разрешалось производить автомобильным транспортом, а свыше – железнодорожным с использованием путей общего и необщего пользования. В зависимости от объемов работы, района тяготения к станции примыкания железнодорожных путей необщего пользования, наличия крупных промышленных предприятий в городах строились грузовые дворы с конкретной специализацией крытых и открытых складов, включая места общего пользования для конкретных грузов или транспортных средств (для переработки только контейнеров, массовых грузов, тяжеловесные площадки и др.). В то же время на путях необщего пользования с целью концентрации маневровых и грузовых операций создавались предприятия промышленного железнодорожного транспорта (ППЖТ), объединенные железнодорожные хозяйства (ОЖДХ) и другие формы объединений. Для выполнения маневровых операций строились отдельные парки для таких объединений, что позволяло при наличии достаточно большого количества путей необщего пользования, примыкающих к станции магистрального железнодорожного транспорта, вынести маневровую работу за пределы этих станций, увеличив тем самым их перерабатывающую способность. Вышеуказанные ППЖТ, ОЖДХ и др. были самостоятельными хозяйствующими субъектами [1].

После распада Советского Союза прекратила существовать плановая экономика в пределах огромной территории и больших расстояний перевозки, были соответственно отменены указанные выше положения по «логистике» доставки грузов. В результате небольшие партии грузов, следующие через грузовые дворы, были переключены с железнодорожного на автомобильный транспорт, что привело к дополнительному расходу топлива, отрицательному воздействию на окружающую среду и другим последствиям. Это потребовало разработки новых подходов к транспортной логистике в части разработки эффективных схем доставки грузов не только с участием одного, но и нескольких видов транспорта.

Основные положения развития способов доставки грузов с использованием терминалов железнодорожного транспорта общего пользования обусловлены следующими условиями [2]:

1 Потребность в доставке грузов в труднодоступные районы с целью обеспечения транспортного обслуживания сельского хозяйства, других социально значимых объектов. На предыдущих этапах развития терминального хозяйства для достижения данных целей осуществлялась концентрация грузовой работы на опорных станциях железнодорожных участков, которая сопровождалась созданием объединений грузополучателей по примеру районных сельхозхимии, сельхозтехники и других образований.

2 Результативность подобных хозяйствующих образований с учетом современных условий и требований, в том числе на основе использования государственно-частного партнерства, выделения государственных субсидий или дотаций, предоставления льготных тарифов и т. п., которые будут находить свое отражение в соответствующих государственных программах развития (например, развития логистических систем). С учетом реализации данного положения будет обеспечиваться потребность в эффективном транспортном обслуживании логистических цепей движения ресурсов между элементами сложных логистических производственно-транспортных (СЛПТС) и транспортно-сбытовых систем (СЛТСС).

3 Необходимость учета интересов в пределах СЛПТС и СЛТСС хозяйствующих субъектов, государств, а также межгосударственных и отраслевых образований. Например, интересы в лице собственников вагонов или операторских компаний, которые являются хозяйствующими субъектами, могут быть учтены с помощью предоставления свободных путей терминалов железнодорожного транспорта общего пользования для временного размещения частных вагонов. Однако для решения задач, обусловленных пунктом три, необходимо привести в соответствие нормативно-правовую документацию с учетом современных условий функционирования производственно-транспортно-сбытовых систем.

Таким образом, развитие существующих и строительство новых терминалов железнодорожного транспорта следует осуществлять на основании потребности в перевозках регионов тяготения к данным объектам. При этом прогнозирование объемов перевозок грузов с использованием рассмат-

риваемых терминалов осуществляется на основании применения эффективных схем доставки А1–Ж–А2, А1–Ж–ПП2, ПП1–Ж–А2, критерий оценки которых базируется на основе следующих параметров: провозные платежи; продолжительность доставки; уровень сохранности перевозимого груза; уровень транспортно-экспедиционного обслуживания. При этом необходимо учитывать современные тенденции рынка железнодорожных грузовых перевозок, которые сопровождаются разделением тарифа на вагонную (контейнерную), локомотивную и инфраструктурную составляющие. Первая из них, в том числе для вагонов железной дороги, практически выведена из монопольного регулирования, а две остальные регулируются государством. Данное положение может быть распространено и на терминалы железнодорожного транспорта общего пользования в части вагонов и контейнеров, складского хозяйства, средств механизации, так как они связаны с транспортно-экспедиционными услугами, которые реализуются в условиях конкуренции на транспортном рынке. В то же время для сельскохозяйственных грузов, домашних вещей и других социально значимых грузов целесообразно установить регулируемые государством тарифные ставки за оказываемые транспортно-экспедиционные услуги. В результате такого подхода к развитию терминалов железнодорожного транспорта общего пользования появляется возможность решить ряд не только экономических, но и социальных задач с обеспечением эффективного функционирования предприятий и организаций Республики Беларусь [2].

#### Список литературы

- 1 **Комаров, А. В.** Теория комплексной эксплуатации видов транспорта. Ч. I / А. В. Комаров // ВИНТИ: Транспорт, наука, техника. – 2002. – № 10. – С. 70.
- 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.

УДК 330

## ВЛИЯНИЕ ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКИ НА РАЗВИТИЕ ТРАНСПОРТА

*Е. Н. ЕФРЕМОВА, А. О. ГУРЩЕНКО*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Для написания статьи были использованы научные труды про цифровизацию как экономическое явление таких исследователей, как Т. В. Авдиенко, А. Н. Дмитриевский, Т. Н. Юдина, Н. П. Терешина, В. П. Бычкова, В. И. Белова, а также Н. А. Атрохов, О. П. Тураева и Н. В. Емельянов.

Современный мир живёт в эпоху информационного общества, которое невозможно представить без компьютерных и инновационных технологий. Поэтому в эпоху цифровизации всё больше растёт потребность в своевременной и качественной информации. Развитие эпохи компьютерных технологий привело к появлению новой сферы знания – «цифровой экономики», которая стала оказывать большое влияние на многие отрасли.

Само по себе понятие цифровизации очень широко, и, не вдаваясь в дискуссию о всех проявлениях этого процесса, мы приняли за основу тот факт, что касательно транспортной сферы цифровизация – это масштабное проникновение цифровых технологий, – как на управленческом, так и на технологическом уровне [2, с. 90].

Транспортная отрасль была одной из первых, кто ощутил на себе внедрение цифровых технологий. Так как использование современных цифровых технологий считается наиболее успешным способом для повышения экономической эффективности данной сферы. Отличительной чертой цифровизации на транспорте является то, что она происходит неравномерно, при том что потенциальная потребность в цифровизации велика.

Выделяют несколько направлений применения цифровых технологий в сфере транспорта. Одним из важнейших элементов цифровизации на транспорте является электронный документооборот. Гораздо эффективнее вести все документы в электронном варианте. Это значительно сокращает время на поиски необходимой информации. Действенным инструментом здесь может быть международная электронная накладная e-CMR для автомобильных грузоперевозок. Актуальность

внедрения e-CMR связана с возможностью повышения экспортной, транзитной и грузовой привлекательности Беларуси, а также со снижением затрат на перевозку за счет ускорения оборачиваемости документов и сокращения количества персонала, занятого оформлением и сопровождением важных документов [1].

Использование цифровых коммуникационных технологий создало возможность для живого дистанционного общения.

Значительно большему количеству населения гораздо удобнее производить оплату онлайн. Мобильная оплата, единые проездные документы, использование мобильных приложений для получения транспортных услуг в значительной степени увеличили количество пользователей.

Автоматизация и роботизация контроля транспортных потоков, прогнозирование транспортной обстановки, поддержка систем автопилота – это позволит снизить роль человеческого фактора, минимизировать ошибки, улучшить систему управления поездами, а также их техническое обслуживание.

Реорганизация систем управления транспортом, их автоматизация; вовлечение клиента в процесс управления и контроля за грузом. Создание цифровых платформ, ориентированных на предоставление логистических услуг, в т. ч. бронирование и заказ билетов, поиск перевозчика для грузов, выявление оптимального маршрута. Всё это также внесло огромный вклад в цифровизацию транспорта.

Также ещё одним важным направлением в этой сфере является внедрение системы «умного» транспорта. Умный транспорт предоставляет возможность мониторинга, управления и оптимизации работы железнодорожных систем на основе современных технологий

Внедрение цифровых технологий в транспортную сферу открыло множество возможностей для управления логистическими процессами. Сейчас стало гораздо проще и быстрее обмениваться информацией, отслеживать перевозки, дистанционно управлять и контролировать операции сотрудниками. Также использование таких технологий позволило оптимизировать управленческие процессы.

#### Список литературы

1 **Атрохов, Н. А.** Цифровизация грузовых автомобильных перевозок / Н. А. Атрохов, О. П. Тураева // Евразийское научное объединение. – 2019. – № 7-1 (53). – 29–30 с.

2 **Емельянов, Н. В.** Цифровизация экономики как фактор обеспечения национальной безопасности страны [Электронный ресурс] / Н. В. Емельянов // Экономический рост: проблемы, закономерности, перспективы. – 2019 – № 5. – С. 89–93. – Режим доступа : <https://elibrary.ru/>. – Дата доступа : 13.09.2023.

3 Перспективы цифрового развития железнодорожного транспорта в 2023 году [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://biletworldskills.ru/>. – Дата доступа : 13.09.2023.

УДК 656.23

## ПОДХОДЫ К ФОРМИРОВАНИЮ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ТАРИФФОВ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ СТРУКТУРЫ ГРУЗОПОТОКОВ

*В. Л. ЖИГАЛОВ,*

*Белорусская железная дорога, г. Минск*

*Л. В. ОСИПЕНКО,*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Железнодорожные тарифы на перевозку грузов с выделением в них трех тарифных составляющих (инфраструктурной, локомотивной и вагонной) были разработаны более пяти лет назад. За прошедший период существенно изменились как структура вагоно-, грузо- и пассажиропотоков, так и экономические параметры, характеризующие рентабельность перевозок.

Причинами, повлиявшими на изменение объемов и направлений перевозок как грузов, так и пассажиров, с одной стороны, стала пандемия COVID-19, негативно сказавшаяся на объемах производства и потребления товаров и функционировании торгово-экономических связей. Другой фактор носит геополитический характер и характеризуется различными санкциями, обращенными в том числе на одного из основных торговых партнеров Республики Беларусь – Российскую Федерацию.

В результате воздействия указанных причин за пять лет более чем на четверть сократились объемы перевозок грузов и почти на столько же снизились объемы пассажирских перевозок. Если в

случае грузовых перевозок сокращение объемов наблюдается в первую очередь за счет перевозок в международном сообщении, в равной степени затрагивая экспорт, импорт и транзит, то в случае пассажирских – одновременно со снижением объемов перевозки пассажиров произошло и их перераспределение: существенно (практически в два раза) выросла доля перевозок в межрегиональном сообщении бизнес-класса при незначительном сокращении доли перевозок в международном сообщении, а также в межрегиональном и региональном сообщениях экономкласса (рисунок 1).

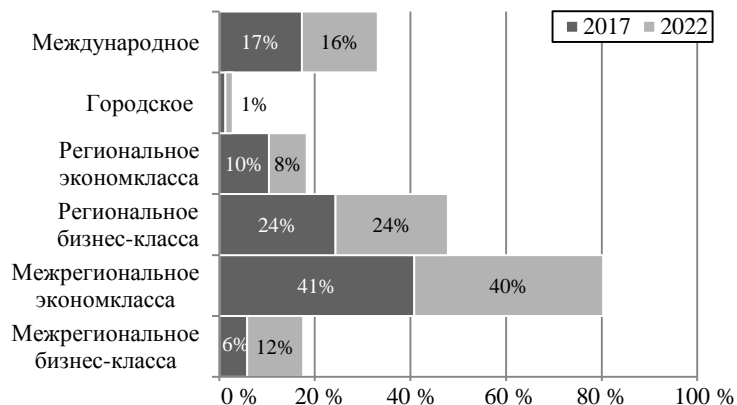


Рисунок 1 – Структура пассажиропотока по видам сообщения

В разрезе номенклатурных групп грузов изменение структуры грузо- и вагонопотоков носит неоднородный характер с прослеживаемыми основными тенденциями к снижению объемов в целом за счет снижения объемов вывоза и транзита. Рассмотрим такие изменения для отдельных групп грузов более подробно на основании рисунка 2.

Так, объемы перевозок угля каменного в целом сократились на 62 %, в основном за счет транзита, размеры которого снизились на три четверти, при одновременном значительном росте объемов во внутриреспубликанском сообщении, ввозе и вывозе (в несколько раз). Объемы перевозки нефти и нефтепродуктов в целом сократились практически наполовину, но здесь более существенную роль сыграли экспорт и импорт, объем которых снизился на 60 % и более, а объем транзита сократился менее существенно – на 37 %.

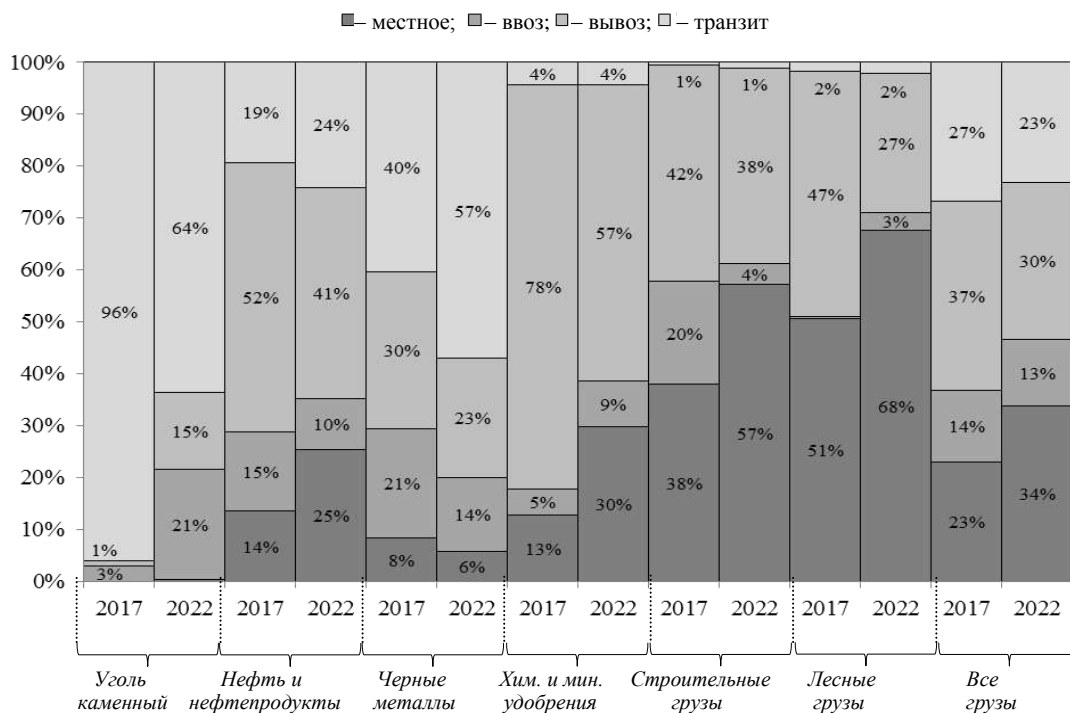


Рисунок 2 – Изменение структуры грузопотоков по видам сообщения



На фоне общего сокращения объемов перевозок грузов в целом отмечается увеличение объемов перевозки черных металлов (20 %) за счет транзита, рост объемов которого отмечается и для строительных грузов. Общей тенденции к сокращению экспортных перевозок по итогам 2022 года на рисунке 2 не соответствуют зерно (увеличение на 65 %) и упомянутый выше каменный уголь.

Все рассмотренные изменения структуры грузо- и вагонопотоков закономерно нашли свое отражение в соответствующих финансовых и экономических показателях работы дороги. Ввиду того, что доля возмещения расходов на перевозку пассажиров в межрегиональном и региональном сообщениях бизнес-класса и экономкласса, а также в городском сообщении составляет от 13 до 45 %, и с течением времени особых изменений не претерпела, снижение объемов и, соответственно, доходов в международном сообщении негативно повлияло на общий процент возмещения расходов от пассажирских перевозок доходами. Снижение объемов грузовых перевозок в международном сообщении закономерно вызвало сокращение их рентабельности почти вдвое, что в свою очередь, сказалось на общем снижении рентабельности дороги в 2022 году до минимальных положительных значений.

Во избежание снижения рентабельности железной дороги до потенциально опасного уровня целесообразно учитывать все параметры, влияющие на объемы перевозок и доходы от них, при формировании тарифов на перевозку грузов и пассажиров. В соответствии с этим тарифы на грузовые железнодорожные перевозки должны обеспечивать полное возмещение расходов на оказание услуг по перевозке грузов в текущем периоде, а закладываемый в них уровень рентабельности должен предусматривать своевременное обновление и проведение в полном объеме всех видов ремонтов инфраструктуры и подвижного состава, возврат заемных средств и выполнение социальных обязательств, а с учетом отсутствия как полного, так и частичного финансирования убыточных внутриреспубликанских пассажирских перевозок – в том числе обеспечить их перекрестное финансирование. Помимо этого, уровень рентабельности, учитываемый при расчете грузовых железнодорожных тарифов, должен включать так называемую рисковую надбавку, назначение которой заключается в нивелировании последствий изменения объемов и структуры грузо-, пассажиро- и вагонопотоков, вызванных обстоятельствами геополитического и иного характера.

УДК 338.486

## **ДИЗАЙН МЕХАТРОНИКИ ИМПЛЕМЕНТИРУЕТ РАЗВИТИЕ АВТОТРАНСПОРТНОГО SMART-БИЗНЕСА**

*М. К. ЖУДРО*

*Белорусский национальный технический университет, г. Минск*

*В. М. ЖУДРО*

*Институт мясо-молочной промышленности, г. Минск, Республика Беларусь*

В ходе выполненных аналитических, эмпирических, экспериментальных исследований установлено, что научную ценность представляет новое фундаментальное понимание самоадаптивных и самоорганизующихся smart-социально-экономических систем и то, как они могут быть спроектированы и использованы, в том числе: новые теоретические или экспериментальные результаты, новые шаблоны проектирования, механизмы, системные архитектуры, каркасы, инструменты и практический опыт в создании или развертывании информационно-коммуникационных систем и приложений. В равной степени важны различные противопоставляющие методологические подходы к разработке определенного семейства электронных бизнес-систем или демонстрирующие применимость определенного подхода к различным системам такого рода.

В то же время в современной научной и деловой литературе по актуальным проблемам практики конкурентного развития автотранспортного бизнеса в сферах исследования, проектирования, конструирования, организации индустрии, продаж, эксплуатации автотранспорта и его сервиса с целью оптимизации цен и расходов не только продуцентов, но и покупателей в последние годы имеет место увеличение научных публикаций, базирующихся на традиционной экономической теории равновесного рынка и маркетинговой практике ее реализации и недостаточно действенных,

конкурентных научно-технических разработок в соответствии с требованиями агрегированного сценария взаимодействия стейкхолдеров smart-бизнеса и smart-клиентов.

Сформулированный выше тренд коллаборации когнитивного процесса создания smart-компетенций специалистов компаний, производных физического, «искусственного» интеллекта и адекватного гибкого подхода к построению конфигурации команд на основе оптимизации агрегированного сетевого биполярного взаимодействия постоянной и переменной их частей предполагает развитие индустрии высокотехнологичных, высокопроизводительных с высокопривлекательным дизайном мехатроники автомобилей, который создает предпосылки для двух сценариев развития автотранспортного бизнеса. Первый тренд развития автотранспортного бизнеса заключается в стремлении компаний проектировать и реализовывать стратегию производства, продажи, сервиса эксплуатации автомобилей с доминированием роста уровня локализации постоянно увеличивающихся и усложняющихся компонентов и деталей несколькими крупными и сотнями мелких поставщиков (более 60 % компонентов типичного автомобильного транспортного средства), а автопроизводители делают менее 40 % их в рамках собственного производства. Комплектующие детали, агрегаты под «капотом» автомобиля обычно затрудняют производителя транспортного средства отличить его от конкурента, а конечный его потребитель – то есть владелец/оператор – обычно не заботится, даже не замечает, был ли, например, радарный датчик для адаптивной системы круиз-контроля изготовлен Bosch, Denso или другой фирмой до момента надежного его функционирования. Второй противоположный тренд развития автотранспортного бизнеса заключается в стремлении компаниями-лидерами на автомобильном рынке или в определенном его сегменте осуществлять собственное производство большинства постоянно увеличивающихся и усложняющихся компонентов и деталей автомобилей.

В таких условиях очень действенным драйвером конкурентного развития автотранспортного бизнеса становится мехатроника (концепция японского происхождения 1980-х годов), которую можно определить как композитное конструирование технических, технологических, институционально-инвестиционных бизнес-систем на основе синтетического применения электроники и компьютерных технологий для создания конкурентной высокотехнологичной функционально-эмоциональной инженерно-технической ценности для клиента посредством комплексного использования электрической, механической, управляющей и компьютерной инженерии разработки и производства продуктов, процессов и систем с большей производительностью, легкостью в перепроектировании и возможностью перепрограммирования с целью создания большего разнообразия и более высокого уровня гибкости в продуктах.

Мехатроника включает в себя: а) устройства ввода/вывода, такие как датчики и исполнительные механизмы, которые объединяют электрические сигналы с механическими действиями на основных уровнях управления; б) интегрирование микроэлектроники в устройства с электрическим управлением; в) функции обратной связи (микроэлектронику, микропроцессор и другие «прикладные интегральные схемы»; г) интеллектуальное управление и д) интеллектуальное обучение.

Например, беспилотный стек автомобилей состоит из пяти основных групп: аппаратное обеспечение, внешнее программное обеспечение и данные, встроенное программное обеспечение, различные методологии, которые в совокупности приводят к разработке продукта.

Мехатроника предполагает более тесную связь программного обеспечения с электроникой и механикой посредством синергетической интеграции механических, электронных и программных систем. Она генерирует потребности будущих работодателей и их спрос на высококвалифицированных специалистов, способных проводить как фундаментальные, так и прикладные исследования и разработки, преобразовывая знания в проектирование и производство транспортных машин и оборудования, производственных машин и оборудования, роботов, манипуляторов, приборостроения и другого оборудования посредством реализации концепции синергии междисциплинарных связей между конкретными сегментами современной автотранспортной индустрии. Конечная ее цель состоит в том, чтобы улучшить функционально-эмоциональные характеристики машин и оборудования различных типов за счет использования новых их концепций, нетрадиционных особенностей конструкции, нетрадиционных материалов и мехатронных решений, включая массивные комбинации новых датчиков и исполнительных механизмов, конструкций механических и оптических частей машин и устройств, контрольно-измерительных приборов, а также рационального внедрения автоматизированного управления и искусственного интеллекта. Поэтому мехатроника,

ориентированная на потребителя, также требует новой модели выхода на рынок, которая предусматривает агрегированное сетевое взаимодействие между производителем и конечным потребителем. Оно позволяет автопроизводителю осуществлять полный мониторинг степени удовлетворения запросов владельца/оператора автомобиля, в то время как традиционная чрезмерная зависимость от франчайзинговых дилеров может приводить к непоследовательной работе с клиентами. Помимо участия в первичной продаже автомобиля, производителям необходимо культивировать опыт действенного жизненного цикла покупательских предпочтений клиента с множеством автомобильных и неавтомобильных точек соприкосновения с ним в процессе покупки, владения, распоряжения, использования, возможной последующей продажи, утилизации автомобилей. Если раньше автопроизводителям приходилось иметь дело с разрозненными данными управления взаимоотношениями с клиентами (англ. CRM – Customer Relationship Management – управление отношениями с клиентами) и ограниченной аналитикой по лидам продаж [4], то мехатроника обеспечивает полный доступ и полное использование данных о поведении клиентов и эксплуатационных характеристиках автомобиля в полевых условиях с помощью передовой аналитики деятельности автомобильных производителей комплектующих, сервиса, используя испытательные парки для тестирования аппаратного обеспечения в цикле или программного обеспечения в цикле.

Таким образом, эффективное взаимодействие производителя и потребителя нуждается в разработке и практикоприменении адекватной smart-коммуникации как инструмента маркетинговой информационно-коммуникационной сервисной инфраструктуры smart-бизнеса, ориентировано в первую очередь не на прибыль компании, а на обеспечение максимальной жизненной функционально-эмоциональной ценности для клиента (LTV – англ. Lifetime Value) посредством активизации реализации дизайна мехатроники в автотранспортном бизнесе, сочетая методы системного инжиниринга с процессами и инструментами agile-разработки для всех его стейкхолдеров посредством фокусирования модели не на традиционный подход к управлению разработкой технической конструкции автомобиля как товара, ориентированного на прямую оптимизацию материальных затрат каждого из них, а на их агрегированное взаимодействие, нацеленное на всеобъемлющую, сквозную (по принципу agile-разработки продукта: структура, процесс и люди) оптимизацию затрат и доходов как производителя/продавца, так и покупателя/потребителя на протяжении монетизации всего жизненного клиентского бизнес-цикла его эксплуатации.

УДК 339.543

## **ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ УДАЛЕННОГО ВЫПУСКА И КОНТРОЛЯ ТАМОЖЕННОЙ СТОИМОСТИ ТОВАРОВ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ**

*А. М. ЗАХОЖАЯ*

*Гомельская таможня, Республика Беларусь*

*А. П. ПЕТРОВ-РУДАКОВСКИЙ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Анализ действующей практики применения технологий удаленного выпуска и контроля таможенной стоимости показывает, что, несмотря на положительные тенденции в практике их функционирования, имеется ряд проблемных вопросов. Переход на декларирование товаров в электронной форме требует от таможенных органов внедрения в таможенные процессы технологий, максимально автоматизирующих совершение таможенных операций и проведения таможенного контроля. При декларировании товаров в электронной форме происходит трансформация механизма таможенного контроля путем смещения акцента с истребования документов от участников внешнеэкономической деятельности на максимальное использование различных баз данных и сведений, накопленных как самими таможенными органами, так и полученных от других государственных органов.

В этой связи одним из приоритетных вопросов является организация взаимодействия заинтересованных лиц с таможенными органами при представлении в электронном виде документов, сведения о которых указаны в декларации на товары. В первую очередь это касается документов, подтверждающих соблюдение запретов и ограничений в отношении ввозимых товаров (отметки

ветеринарного, фитосанитарного контроля на транспортных (перевозочных) документах, фитосанитарные сертификаты), сертификатов происхождения товаров, коммерческих документов и пр. В соответствии с пунктом 5 статьи 340 ТК ЕАЭС запрошенные таможенными органами документы представляются в виде оригиналов или их копий, в том числе бумажных копий электронных документов.

Существенным недостатком совершения таможенных операций в Центре электронного декларирования (ЦЭД) является также отсутствие сведений о документах подтверждения соответствия (сертификатов и деклараций) в электронном виде, выданных в иных государствах – членах ЕАЭС, а также указание их в большинстве случаев с признаком подачи «2» (документ представлен в таможенные органы ранее). Согласно технологии функционирования ЦЭД, должностное лицо, осуществляющее выпуск товаров, проверяет наличие таких документов на облачном сервере таможенных органов. В случае отсутствия заявленных документов на сервере таможенных органов возникает необходимость их запроса в ПТО, куда первоначально был представлен документ об оценке соответствия. Такой порядок взаимодействия значительно затрудняет процессы контроля таможенными органами соблюдения запретов и ограничений, а также существенно увеличивает сроки выпуска товаров. В целях совершенствования процедур автоматического выпуска товаров необходима доработка программных средств Единой автоматизированной информационной системы (далее – ЕАИС) таможенных органов в части автоматической сверки сведений, заявленных в декларации на товары, со сведениями, содержащимися в документах об оценке соответствия и заявленными в графе 44 декларации на товары. Ввиду того, что в информационных системах таможенных органов в настоящее время содержатся сведения о документах об оценке соответствия, выданных уполномоченными органами Республики Беларусь, автоматический выпуск возможен только в отношении деклараций на товары, в графе 44 которых указаны белорусские сертификаты (декларации) соответствия.

Решение проблемы представления таможенному органу запрошенных документов и (или) сведений, в том числе в отношении деклараций на товары, содержащих сведения о документах соответствия, выданных иными государствами – членами ЕАЭС, возможно путем создания так называемого электронного архива документов декларанта (далее – ЭАДД). Подобная возможность внедрена в практику электронного таможенного декларирования Российской Федерации и активно используется декларантами и таможенными органами с ноября 2014 г. ЭАДД представляет собой виртуальное пространство, специально выделенное в ЕАИС таможенных органов и предназначенное для представления и хранения электронных документов, на основании которых заполняется декларация на товары. Электронный архив позволяет обеспечить электронное взаимодействие декларантов и таможенных органов не только на этапе таможенного декларирования и выпуска товаров, но и после выпуска товаров, а также при осуществлении в отношении них таможенного контроля. На каждом из этапов таможенного контроля таможенные органы имеют возможность обращаться к электронному архиву, а не к самому декларанту [1]. Таким образом, функциональность ЭАДД построена на принципах «единого окна», т. е. однократной подачи в государственный орган необходимых документов и (или) сведений, и во многом схожа с программными продуктами, активно функционирующими в зарубежных странах (*ASYCUDA*, *WeBOC*). В свою очередь, в Республике Беларусь ЭАДД может быть создан на базе общегосударственной автоматизированной информационной системы (далее – ОАИС) в рамках создания соответствующей электронной услуги либо в качестве отдельного модуля нового программного продукта таможенных органов «АПС 2020». Организация информационного обмена посредством данного сервиса позволит сократить количество запросов между ПТО о сканировании и размещении документов на облачном ресурсе таможенных органов, обеспечивая при этом представление необходимых документов декларантом с их заверением в установленном порядке (посредством электронной цифровой подписи). Тем самым электронный архив позволит ускорить процесс совершения таможенных операций, связанных с выпуском товаров. Также снизится нагрузка на декларантов (таможенных представителей) за счет электронного обмена информацией не только на этапе таможенного декларирования и выпуска товаров, но и после выпуска товаров, а также при осуществлении таможенного контроля, на всех этапах которого таможенные органы могут обращаться к ЭАДД, а не к субъекту ВЭД.

Ещё одним важным направлением является совершенствование действующей технологии контроля таможенной стоимости. Для этого необходима проработка вопроса по выдаче таможенными

органами предварительных решений, касающихся применения методов определения таможенной стоимости ввозимых товаров. Такая возможность предусмотрена пунктом 19 статьи 38 ТК ЕАЭС в отношении товаров, ввозимых на таможенную территорию ЕАЭС, при условии порядка выдачи таких решений на уровне национального законодательства государств – членов ЕАЭС. Однако с момента вступления в силу ТК ЕАЭС и до настоящего времени порядок выдачи предварительных решений по применению методов определения таможенной стоимости в Республике Беларусь отсутствует. Вместе с тем национальным законодательством Российской Федерации, Республики Казахстан и Кыргызской Республики данный порядок закреплен. Ключевая цель принятия предварительных решений по вопросам таможенной стоимости состоит в предоставлении субъектам ВЭД возможности определить структуру элементов цены внешнеэкономической сделки до фактического пересечения товарами таможенной границы и тем самым упростить контрольные процедуры при совершении таможенных операций [2, с. 49]. Действие предварительного решения на всей территории государства-члена, таможенным органом которого выдано предварительное решение, при указании его в декларации на товары и предъявлении таможенному органу позволит декларанту применять один и тот же метод определения таможенной стоимости в отношении декларируемых товаров при их выпуске в различных ПТО, что особенно актуально в рамках функционирования ЦЭД. В процессе создания института принятия и выдачи предварительных решений в области таможенной стоимости необходимо учитывать также и опыт формирования данного механизма в зарубежных странах. Так, к примеру, в Японии предварительные решения представляют собой толкования относительно того, какие нормативные акты и регламентирующие документы трактуют или принимаются во внимание при расчете таможенной стоимости. В Китае реализуется пилотный проект по принятию предварительных решений только в отношении субъектов так называемого «зеленого сектора» [3, с. 11]. Применительно к Республике Беларусь, выдача предварительных решений по таможенной стоимости также может осуществляться только в отношении определенных категорий субъектов ВЭД, в частности – уполномоченных экономических операторов.

Таким образом, устранение выявленных недостатков и реализация предложенных мероприятий будет способствовать упрощению и ускорению процедур таможенного оформления, оптимизации нагрузки на таможенные органы и использованию рассматриваемых технологий на постоянной основе.

#### Список литературы

- 1 Декларантам – электронный архив [Электронный архив] // Альта-Софт. – Режим доступа : [https://www.altar.ru/external\\_news/33356/](https://www.altar.ru/external_news/33356/). – Дата доступа : 01.12.2022.
- 2 Руднева, З. С. Применение предварительного решения о методе определения таможенной стоимости как государственной услуги в сфере таможенного дела / З. С. Руднева // На страже экономики. – 2021. – № 3 (18). – С. 48–57.
- 3 Алиева, Н. М. Выдача предварительных решений по вопросам применения методов определения таможенной стоимости ввозимых товаров / Н. М. Алиева, А. С. Евстафьева, А. А. Замятина // Научные вести. – 2018. – № 5. – С. 6–12.

УДК 656.2.03.61

## ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ ТАРИФООБРАЗОВАНИЯ ПРИ ПЕРЕВОЗКАХ ГРУЗОВ В СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ КОНТЕЙНЕРАХ

*Н. А. КЕКИШ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Перспективное развитие железнодорожного транспорта на сегодняшний день не представляется возможным без усиления роли контейнерных перевозок. Контейнерная технология, обеспечивающая реализацию бесшовной мультимодальности в логистической цепи, дает возможность существенно нивелировать имеющиеся объективные недостатки железнодорожной перевозки, что объясняет ее растущую популярность как у перевозчиков, так и у грузовладельцев. Развитие контейнерного парка идет в направлении расширения использования специализированных контейнеров. Аналогично развитию вагонного парка, специализация контейнеров позволяет в максимальной степени адаптировать грузовые отсеки под широкую номенклатуру грузов, перевозимых железнодорожным транспортом. Благодаря вариативным конструкциям контейнеров, использованию вспомогательного оборудования,

специальных систем крепления появляется возможность увеличить полезный объем, грузоподъемность, снизить затраты на транспортировку в порожнем состоянии или способствовать попутной загрузке в обратном рейсе, оптимизировать продолжительность, трудоемкость, стоимость грузовых операций как с самой интермодальной единицей, так и с перевозимым грузом. Высокий уровень сохранности груза и удобства выполнения технологических операций со специализированными контейнерами делает их достойными конкурентами грузовых вагонов с рядом весомых преимуществ. Однако решающий выбор грузовладельца в пользу того или иного средства перевозки базируется в первую очередь на ценовом факторе, т. е. на тарифе на перевозку контейнера в груженом и порожнем состоянии.

Следует понимать, что тарификация железнодорожных перевозок, помимо своего основного назначения – покрытия затрат на транспортировку груза или порожнего транспортного средства, должна выполнять функцию стимулирования определенных видов перевозок, отражая общее направление тарифной политики перевозчика. В отношении контейнерных перевозок компенсационная функция тарифа должна учитывать не только прямые затраты, связанные с транспортировкой груженых и порожних контейнеров, но и синергетический эффект, вызываемый увеличением доли контейнерных отправок в общем грузопотоке. Влияние контейнеризации на перевозочный процесс и связанные с ним затраты является многогранным, затрагивая такие разные аспекты, как структура вагонного парка, технология терминальной обработки грузов, технология переработки вагонопотока на технических станциях, выполнение местной работы, взаимодействие с другими видами транспорта, автоматизация выполнения технологических операций, обеспечение сохранности грузов и безопасности движения, качество и содержание транспортно-экспедиционных услуг, маркетинг. Многообразие косвенных эффектов контейнеризации не только усложняет правильное определение себестоимости контейнерных перевозок, но и существенно повышает значение стимулирующей функции тарифа.

Можно констатировать, что в системе тарифообразования контейнерных перевозок в настоящее время сложилась ситуация, когда тариф на перевозку грузов в специализированных контейнерах адекватно не выполняет ни одной из заявленных функций, т. е. не отражает в полной мере структуру затрат на транспортировку груженой и порожней интермодальной единицы и не стимулирует в достаточной степени использование специализированных контейнеров взамен вагонов для более широкого внедрения их в практику перевозочного процесса. Причина данной ситуации лежит прежде всего в существенном опережении технического и технологического развития контейнерных перевозок по отношению к нормативной базе.

Основным принципиальным моментом дифференциации тарифов на перевозку груженых и порожних контейнеров является разделение их на две группы: совпадающие по параметрам с универсальными и не совпадающие. Для первой группы используется универсальная для всех видов транспорта схема тарификации контейнерной перевозки по принципу оплаты за интермодальную единицу вне зависимости от массы и рода груза, а также от массы самого контейнера (в общем случае). Контейнерные перевозки второй группы тарифицируются по принципу повагонной отправки. Проблема использования этого подхода в современных условиях заключается в том, что определение признаков, по которым контейнерная перевозка должна быть отнесена к одной из этих групп, изложенное в нормативных документах, не является однозначно толкуемым и исчерпывающим. Существующая нормативная база ориентирована в основном на перевозку универсальных контейнеров стандартных типоразмеров или специализированных классических типов (танк-контейнер, рефрижераторный, контейнер-термос). Она не учитывает современных возможностей трансформации одного типа контейнера в функционально другой. В качестве примера можно привести контейнер со съемной металлической крышей. Путем простой трансформации данный контейнер может быть представлен в трех видах: универсальный контейнер закрытого типа, контейнер с открытым верхом типа Open Top, контейнер типа Open Top с тентованным верхом. При этом контейнер сохраняет один и тот же постоянный номер, зарегистрированный в соответствующих базах данных. Трансформация существенно расширяет номенклатуру грузов, которые могут быть помещены в такой контейнер, вплоть до грузов боковой и верхней степени негабаритности. Формально же, согласно идентификационному номеру и принятой классификации, такой контейнер по-прежнему должен быть отнесен к группе универсальных или, как минимум, совпадающих по параметрам с универсальными. Это дает основания тарифицировать его по схеме контейнерной отправки, что может не соответствовать реальным условиям его транспортировки. Таким образом, тариф в силу

нечеткости формулировок и устаревания нормативных документов не выполняет функции компенсации фактических затрат перевозчика на транспортировку данной интермодальной единицы. Потенциально данная ситуация также является конфликтной с точки зрения взаимоотношений грузоотправителя и перевозчика, что нивелирует стимулирующую функцию тарифа.

Другим примером неадекватного выполнения функций тарифа является тарификация перевозки изотермических контейнеров. Применение одного и того же повышающего коэффициента к тарифу на перевозку совершенно разных по принципу работы термоизолированного, автономного рефрижераторного и дизель-генераторного рефрижераторного контейнера очевидно не отражает фактическую разницу в затратах перевозчика на их транспортировку и терминальную обработку. Завышение тарифа путем применения данного коэффициента отрицательно сказывается на стимулировании перевозок железнодорожным транспортом скоропортящихся грузов – одного из наиболее динамично растущих сегментов транспортного рынка. Изотермические контейнеры с учетом глобальных изменений в направлении грузопотоков, размере партий и в целом в логистике скоропортящихся грузов, произошедших за последние годы, фактически остались единственным востребованным средством мультимодальной перевозки в этом сегменте транспортного рынка. В этой связи неоправданное завышение тарифов на данный вид контейнерных перевозок представляется крайне нецелесообразным.

В то же время существует большое количество типов специализированных контейнеров, которые формально, согласно существующим нормативным документам, не совпадают по параметрам с универсальными контейнерами и тарифицируются по схеме повагонной отправки при перевозках как в грузе, так и в порожнем состоянии. При этом технология их перевозки и терминальной обработки может абсолютно не отличаться от технологии перевозки универсальных контейнеров и, соответственно, другой принцип тарификации, приводящий в результате к другому уровню тарифа, также не выполняет функцию отражения реальных затрат перевозчика и функцию стимулирования контейнерных перевозок. В качестве примера можно привести перевозку габаритных тарно-упаковочных, штучных, навалочных или насыпных грузов в контейнерах типа Open Top, Flat Rack, Platform со стационарными или съемными боковыми стойками. Терминальная обработка как грузов, так и самих интермодальных единиц указанных типов может протекать даже быстрее и с меньшими затратами, чем для универсальных контейнеров и для вагонов аналогичных типов. В то же время за счет учета массы груза и контейнера при тарификации итоговая стоимость перевозки для грузовладельца может оказаться выше стоимости перевозки в вагоне при тех же сроках транспортировки и даже более высоких показателях сохранности груза, что не способствует увеличению объема контейнерных перевозок.

Данные примеры позволяют сделать вывод о наличии в современной нормативной базе существенных пробелов, которые препятствуют реализации основных функций транспортного тарифа – компенсирующей и стимулирующей. Полное и своевременное выявление таких проблемных мест с учетом важности тарифной составляющей в конкурентоспособности железнодорожных перевозок имеет решающее значение для сохранения быстрых темпов контейнеризации на железнодорожном транспорте и дальнейшего развития этой перспективной технологии перевозки.

УДК 339.9

## **САНКЦИИ В ОТНОШЕНИИ ЭКОНОМИКИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ И ПУТИ ИХ ПРЕОДОЛЕНИЯ**

*А. А. КОЛЕСНИКОВ, А. П. КОЛЕДА*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В мировой экономике на протяжении длительного периода усиливается дестабилизация и рост кризисных явлений. Они проявляются не только в усилении неравномерности социально-экономического развития стран мира и нарастании кризисных явлений, но и в учащении случаев применения экономических санкций против различных государств со стороны стран коллективного запада. Ввиду того, что экономические санкции проводились и проводятся против национальной

экономики на протяжении длительного периода, Республике Беларусь важно разработать и осуществлять адекватную этим условиям экономическую политику, делающую акцент на обеспечение экономической безопасности национальной экономики и социальной сферы; устойчивый долгосрочный экономический рост, обеспечивающий повышение благосостояния населения; защиту национальных экономических интересов как на региональном, так и на мировом уровне, чем и обусловлена актуальность исследуемой темы.

Экономические санкции (включают торговые и финансовые санкции) – экономические мероприятия запретительного характера, которые используются одним участником международной торговли (страной или группой стран) по отношению к другому участнику («объекту санкций») с целью принудить последнего к изменению политического курса [1, с. 357–361].

Среди множества экономических санкций ключевое место занимают внешнеторговые ограничения, ориентированные на оказание сильного воздействия на отдельные отрасли и подотрасли. Как отмечается, экономические санкции представляются внеконъюнктурными факторами политического характера, которые заведомо призваны дестабилизировать экономическую ситуацию в государстве, равно как и навязать собственную политическую и экономическую волю, что само по себе нарушает принципы социально-экономического устройства современного мира.

На сегодняшний день в отношении Республики Беларусь введены санкции со стороны Европейского Союза, США, Канады, Великобритании, Швейцарии, Японии, Австралии и Тайваня. Особое влияние на введение новых санкционных и ограничительных мер в отношении Республики Беларусь оказали события в Украине, начавшиеся с конца февраля 2022 года.

Регламент Совета (ЕС) 2022/355 от 2 марта 2022 года «О внесении изменений в Постановление (ЕС) № 765/2006, касающееся ограничительных мер в связи с ситуацией в Беларуси» расширил секторальные санкции, введенные в июне 2021 г. в части номенклатуры товаров:

- введен запрет на весь хлорид калия, минеральные продукты, продукцию деревообработки, металлы и сталь, цемент, резину;

- установлен запрет на поставки в Республику Беларусь высокотехнологичного оборудования, товаров двойного назначения, а также технической и финансовой помощи, иных услуг в отношении таких товаров для использования в Республике Беларусь или любым лицам из Республики Беларусь;

- расширен запрет на предоставление займов и кредитов Республике Беларусь, Правительству Республики Беларусь, государственным органам, кредитным учреждениям, включая ряд банков, а также на предоставление услуг страхования и перестрахования Республике Беларусь, Правительству, государственным органам, корпорациям и агентствам.

Регламентом Совета (ЕС) 2022/398 от 9 марта 2022 г., вносящим поправки в Регламент (ЕС) № 765/2006 «Об ограничительных мерах в связи с ситуацией в Беларуси и причастностью Беларуси к российской агрессии против Украины», введен запрет:

- на операции, связанные с управлением резервами, а также активами Национального банка Республики Беларусь. Исключения предусмотрены для случаев обеспечения финансовой стабильности ЕС в целом или его отдельных стран-членов;

- листинг и оказание услуг на торговых площадках, зарегистрированных или признанных в ЕС, в отношении переводных ценных бумаг любого юридического лица, организации или органа, созданного в Беларуси и имеющих более 50 % государственной собственности;

- предоставление государственного финансирования или финансовой помощи для торговли с Беларусью или инвестиций в Республику Беларусь;

- прием депозитов на сумму более 100 тыс. евро от граждан или резидентов Республики Беларусь;

- услуги с переводными ценными бумагами и продажу ценных бумаг, деноминированных в евро, выпущенных после 12 апреля 2022 г. в отношении белорусских лиц;

- продажу, поставку, передачу или экспорт банкнот номиналом в евро в Беларусь или любому физическому, юридическому лицу, организации или органу в Республике Беларусь, включая Правительство и Национальный банк Республики Беларусь, или для использования в Республике Беларусь;

- оказание услуг по передаче финансовых сообщений с 20 марта 2022 г., которые используются для обмена финансовыми сведениями. Услуги не могут оказываться Белагропромбанком, банком «Дабрабыт», Банком развития Республики Беларусь, а также лицам с более 50 % долей собственности вышеуказанных банков в них.

Решение Совета Европейского Союза (ОВПБ) 2022/579 от 8 апреля 2022 г. запретило белорусским предприятиям автомобильного транспорта с 16 апреля 2022 г. перевозку грузов автомобильным транспортом по территории Европейского союза, в том числе транзитом.



Если обобщить санкционные меры, введенные со стороны недружественных стран, то можно выделить следующие направления воздействия на Республику Беларусь:

- ужесточение мер экспортного контроля в отношении Республики Беларусь;
- расширение перечня экономических субъектов Республики Беларусь, включенных в список особо обозначенных лиц (список физических и юридических лиц, которые принадлежат или контролируются правительствами целевых (подсанкционных) стран, или действуют в их интересах или от их имени и с которыми гражданам США и постоянным жителям страны запрещено заниматься бизнесом);
- отмена «режима наибольшего благоприятствования» с Республикой Беларусь, что позволяет введение заградительных пошлин на товары, поставляемые с Республики Беларусь [2].

Таким образом, для преодоления последствий введенных санкций против экономики Республики Беларусь можно выделить следующие направления:

1 Применение режима контрсанкций:

- запрет на перемещение по территории Республики Беларусь грузовых автомобилей и тягачей, зарегистрированных в государствах Европейского Союза (Постановление Совмина Республики Беларусь от 22.04.2022 № 247 «О перемещении транспортных средств») [3].

Данная мера имеет ключевое значение для транзитного потенциала Республики Беларусь, на долю импорта транспортных услуг которой в 2021 году приходится 42,9 % от экспорта всех видов услуг Республики Беларусь (4 388,6 млн дол. США) [4];

- совершенствование механизмов таможенно-тарифного регулирования при ввозе определенных видов товаров или оказания определенных видов услуг, а также согласование таких механизмов с программами импортозамещения (особенно в отношении высокотехнологичной продукции).

2 Государственная поддержка внешней торговли Республики Беларусь.

3 Совершенствование коммерческой деятельности субъектов ВЭД Республики Беларусь.

- 4 Обход санкционного режима путем использования механизма ЕАЭС и зон свободной торговли ЕАЭС.

**Список литературы**

1 **Климова, Н. И.** «Экономика санкций» как область научных исследований: теоретические основы и положения // *Фундаментальные исследования*. – 2016. – № 5-2. – С. 357–361.

2 Информация о введенных санкциях в отношении Республики Беларусь (Белорусская торгово-промышленная палата) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.cci.by/probiznes/mezhdunarodnye-sanktsii-aktualnaya-informatsiya/>. – Дата доступа : 15.09.2023.

3 О перемещении транспортных средств [Электронный ресурс] : постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 22.04.2022 № 247. – Режим доступа : <https://www.alta.ru/tamdoc/22b10247/>. – Дата доступа : 15.09.2023.

4 Инфографика «Наглядно о внешней торговле услугами Республики Беларусь, 2021 год» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [https://www.belstat.gov.by/upload-belstat/upload-belstat-pdf/oficial\\_statistika/2021/infographics-foreign\\_trade\\_ser vice-2021.pdf](https://www.belstat.gov.by/upload-belstat/upload-belstat-pdf/oficial_statistika/2021/infographics-foreign_trade_ser vice-2021.pdf). – Дата доступа : 15.09.2023.

УКД 656.073:338.2:339.5

**АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ  
ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ЭКСПОРТА  
НА ЭКОНОМИЧЕСКУЮ БЕЗОПАСНОСТЬ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

*О. В. КОРИШЕВА, Е. В. КАПОШЕНКОВА, Г. И. КАЛЮФАНОВ  
Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва*

Изменение укладов международных экономических отношений, произошедшее в феврале 2022 года, серьезно отразилось на экспортоориентированной политике Республики Беларусь. В связи с началом проведения специальной военной операции европейские государства совместно с США и их союзниками наложили множество секторальных и персональных экономических санкций на Россию и Республику Беларусь. В связи с этим прежние рынки сбыта и логистические маршруты оказались закрыты. Главной задачей стало в кратчайшие сроки разработать стратегию для преодоления сложившихся трудностей в контексте поиска путей для поддержания и диверсификации экспорта.

В условиях санкционной замкнутости единственным выходом из сложившейся ситуации стала переориентация логистики на Восток. Благодаря установленным торговым связям и географическому соседству Россия стала не только стратегическим союзником и ключевым рынком сбыта, но и основным транзитным хабом для белорусских товаров.

Проведение смены направления логистических потоков отразилось на показателях экспорта Республики Беларусь: в страны, не входящие в СНГ, экспорт составил 16 087 миллионов долларов США, или 40,2 % от общего экспорта в 2021 году; в 2022 году – 12 254 миллиона долларов США, или 31,9 % от общего экспорта [1]. В 2021 году белорусские товары поставлялись на рынки 174 стран и территорий, через год это число сократилось до 161. Ориентация на увеличение доли белорусских производителей на рынках стран Азии и Африки стала характерным отличием экспортной политики 2022 года. В страны СНГ объем поставок составил 26 115 миллионов долларов США, или 68,1 % от общего экспорта, что на 8,4 % больше предыдущего года [1]. Вынужденная смена традиционных рынков сбыта продукции без больших потерь свидетельствует о быстром реагировании на изменение внешних факторов путем проведения успешной переориентации логистики.

«Принятые правительством эффективные решения по диверсификации направлений торговли и переориентации логистических схем помогли достичь рекордного внешнеторгового сальдо – плюс \$4,3 млрд за 2022 год. Профицит наблюдается как в торговле услугами (плюс \$4,1 млрд по итогам года), так и в торговле товарами (плюс \$172,4 млн). Потери на рынках стран Запада и Украины удалось компенсировать более чем на 80 % поставками в дружественные страны», – заявил Министр экономики Республики Беларусь А. В. Червяков [3].

Отрасль калийных удобрений является ключевой для экономики Республики Беларусь, внося значительный вклад в экспортную структуру страны. Крупнейшая компания-производитель «Беларуськалий», занимает лидирующие позиции на мировом рынке и обеспечивает 20 % всего мирового производства калийных удобрений.

Еще в 2021 году решением Евросоюза и США введен запрет на ввоз белорусских калийных удобрений. В 2022 году Литва, являющаяся основным транзитным центром для экспорта белорусского калия, ввела запрет на его перевалку. В условиях стремительно меняющейся геополитической обстановки удачным направлением для сбыта продукции стала Азия, и в частности Китай (рисунок 1), а Россия стала главным транзитным коридором в данной логистической цепочке. Развитые транспортные связи между странами позволяют экспортировать белорусский калий на международные рынки.



Рисунок 1 – Импорт белорусских калийных удобрений в Китай (2020–2023 гг.)

Согласно статистике Института проблем естественных монополий (ИПЕМ), «транзит белорусских удобрений через территорию России в 2022 г. увеличился в 76 раз к уровню 2021 г. до 3,54 млн тонн» [4]. Калийные удобрения доставляются по железной дороге до терминалов в портах Санкт-Петербурга, Владивостока и Мурманска.

У России появилась нехватка портовых мощностей в целях удовлетворения потребностей собственных и белорусских производителей, что вызвано их конкуренцией в экспорте калия и ограниченностью доступных портовых инфраструктур. В связи с чем остро встает вопрос о целесообразности дополнительных инвестиций в портовую инфраструктуру. Однако компания «Беларуськалий» получила земельный участок в порту Бронка от властей Санкт-Петербурга, что позволит ей в будущем использовать этот терминал для направления новых логистических потоков.

Первый вице-премьер Республики Беларусь Николай Снопков подчеркнул, что объемы производства калийных удобрений белорусской компании на сегодняшний день делают ее второй в мире

по этому показателю, что свидетельствует об эффективности системы продаж, даже несмотря на заметное увеличение затрат на логистику.

Иран – немаловажное направление для белорусского экспорта, поскольку территория этой страны богата полезными ископаемыми, которые составляют приблизительно 7 % от общего мирового объема. Горнодобывающая промышленность страны составляет значительную часть экспортных доходов и формирует почти половину государственного бюджета, поэтому высококачественная горнодобывающая техника является ключевым фактором для успешного развития отрасли и торгового сотрудничества между Республикой Беларусь и Ираном. Министр промышленности, шахт и торговли Ирана Сейеда Реза Фатеми Амин заявил: «Последние десять лет техника БЕЛАЗ очень востребована на рынке Ирана. Она надежна и показала себя только с хорошей стороны. Поскольку в наших планах наращивать объем производства именно в горнодобывающей промышленности, мы бы хотели еще получить около 800 карьерных самосвалов. Для этой цели мы выбрали БЕЛАЗ» [5].

ОАО «БЕЛАЗ» – один из крупнейших мировых экспортеров самосвалов, которые используются в различных отраслях промышленности, таких как горнодобывающая, строительная и энергетическая. Для поставок промышленной техники в Иран, в том числе различных видов товаров, выгодным решением является международный транспортный коридор (далее – МТК) «Север – Юг», поскольку доставка груза занимает около двух недель. Развитие внешней торговли между Россией, Республикой Беларусь, Ираном, Индией – основная задача МТК. Взаимовыгодное экономическое сотрудничество стран укрепит их политические отношения и обеспечит развитие регионов.

В целом переориентация логистики Беларуси на восток, с акцентом на Россию, имеет положительную тенденцию для поддержания и расширения экспортного потенциала страны. Использование российских портов и железных дорог позволяет улучшить логистическую систему и развивать транспортную инфраструктуру в регионах, что способствует увеличению рабочих мест, повышению доходности региональной экономики и укреплению экономического сотрудничества между Республикой Беларусь и Россией, а также способствует укреплению конкурентных позиций Республики Беларусь на международном рынке. Таким образом, Республика Беларусь укрепила свою экономическую безопасность путем оперативного реагирования на изменяющиеся экономические условия и проведения эффективной переориентации логистических потоков при реализации экспорта.

#### Список литературы

- 1 Внешняя торговля Республики Беларусь 2022 [Электронный ресурс] // Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – Режим доступа : <https://www.belstat.gov.by/upload/iblock/b6a/0n5gwme8qbdgbmsug6xks90hueq3ybjb.pdf>. – Дата доступа : 12.09.2023.
- 2 Обзор итогов внешней политики Республики Беларусь и деятельности Министерства иностранных дел в 2021 году [Электронный ресурс] // Министерство иностранных дел Республики Беларусь. – Режим доступа : <https://mfa.gov.by/publication/reports/c0b615e3c82db7a8.html>. – Дата доступа : 12.09.2023.
- 3 Рынки России и Китая наиболее перспективны для переориентации белорусского экспорта [Электронный ресурс] // Посольство Республики Беларусь в Российской Федерации. – Режим доступа : <https://russia.mfa.gov.by/ru/embassy/news/e7a6d4e22bf4d847.html>. – Дата доступа : 12.09.2023.
- 4 Институт проблем естественных монополий [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://ipem.ru/>. – Дата доступа : 12.09.2023.
- 5 Иран заинтересован в крупных поставках карьерной техники БЕЛАЗ [Электронный ресурс] // Официальный сайт Республики Беларусь. – Режим доступа : [https://www.belarus.by/ru/business/business-news/iran-zainteresovan-v-krupnyx-postavkax-karjernoj-texniki-belaz\\_i\\_146416.html](https://www.belarus.by/ru/business/business-news/iran-zainteresovan-v-krupnyx-postavkax-karjernoj-texniki-belaz_i_146416.html). – Дата доступа : 12.09.2023.

УДК 656.25

## СПРАВЕДЛИВАЯ СТОИМОСТЬ АКТИВОВ И ОБЯЗАТЕЛЬСТВ В БУХГАЛТЕРСКОМ УЧЕТЕ ОРГАНИЗАЦИЙ ТРАНСПОРТА

*А. В. КРАВЧЕНКО*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Полемика о справедливой стоимости активов и обязательств в условиях рынка приводит к неоднозначным подходам как ее трактовки, так и порядка определения и необходимости. Авторы многочисленных источников выражают различные точки зрения относительно оценки элементов финансовой отчетности по справедливой стоимости. Сторонники концепции справедливой стоимости настаивают

на ее необходимости для оценки достоверности отчетности, оценки состояния организации. Противники и ее оппоненты отталкиваются от роста стоимости имущества в результате приведения к справедливой стоимости и, как следствие, повышению стоимости продукта. Бытует и третья точка зрения, основанная на равенстве понятий «рыночная стоимость» и «справедливая стоимость».

С нашей точки зрения, нет равенства между понятиями «рыночная стоимость» и «справедливая стоимость». Рыночная стоимость – это цена, за которую объект может быть продан в условиях свободного рынка и с учетом конкуренции [2]. Справедливая стоимость предполагает будущую стоимость, которая была бы получена при продаже актива или уплачена при передаче обязательства при проведении обычной операции между участниками рынка на дату оценки (цена выхода). Такой подход к определению справедливой стоимости подчеркивает, что справедливая стоимость – это оценка, основанная на рынке имущества (активов), но никак не оценка, определенная самим предприятием [1]. Соответственно, рассматриваемые понятия неидентичны и несут разную смысловую и экономическую нагрузку.

Основным аргументом противников справедливой стоимости является утверждение о том, что рыночная цена не может являться объективной, так как практически не существует идеальных равновесных рынков для нефинансовых активов. Данная позиция поддерживается также профессиональным обществом оценщиков, где в настоящее время происходит пересмотр ключевых понятий. На первый план в деятельности оценщиков выходит оценка малоликвидных, для которых не существует реального рынка, а следовательно, и объективной рыночной стоимости. В связи с этим представления о независимых рыночных силах сменяются представлениями о профессиональном суждении как основе оценки в условиях гипотетической сделки. Применение такого суждения не повышает субъективность оценки, а избавляет от необходимости использовать рыночные механизмы в тех случаях, когда они неприменимы. На наш взгляд, прогрессивным является подход профессиональных оценщиков, которые не выстраивают иерархии оценок и не отдают приоритет оценке на основе рыночной стоимости над оценкой, основанной на профессиональном суждении. Бухгалтерское сообщество, как следует из анализа МСФО 13 «Оценка справедливой стоимости», до сих пор не отказалось от идеи неоклассической теории об эффективных рынках и в большей степени доверяют рыночной стоимости.

Необходимо отметить, что при формировании цен на фондовом рынке играет роль как сама рыночная ценовая система, так и другие экономические институты, внешние по отношению к рынку, но оказывающие влияние на функционирование фондового рынка. С одной стороны, согласно теории эффективных рынков, цены акций и финансовая логика предоставляют оценки (потенциальной) прибыльности фирмы, основываясь на дисконтировании будущего согласно «временной стоимости денег». Такой расчет нацеливается на получение оценок текущей стоимости бизнеса. С другой стороны, бухгалтерская система (следуя своей собственной логике) обеспечивает надежное подтверждение (фактической) результативности деятельности во времени, по мере того как сделки были завершены и потенциальное стало фактическим. С этой точки зрения бухгалтерская информация дополняет, но не следует за рыночной информацией.

В качестве оценки справедливая стоимость имеет ряд недостатков, в частности: сложность определения справедливой стоимости вследствие динамичной конкуренции, изменения цен, подвижной номенклатуры; рост затрат по обслуживанию активов; субъективизм, приводящий к возможности искажения информации как учетной оценки, так и отчетности; несоответствие данных бухгалтерского учета и показателей отчетности, подтвержденных дополнительной оценкой.

Основной аргумент сторонников справедливой стоимости таков: именно она дает наиболее достоверную оценку реальной ценности актива. Сторонники следования принципу исторических цен (отражение объектов учета по себестоимости) приводят в качестве контраргумента невозможность обоснованного расчета справедливой стоимости. Поэтому принципиальное различие между себестоимостью и справедливой стоимостью заключается в степени объективности и верифицируемости: первая исчисляется на основе документально подтвержденных расходов, вторая – на основе оценки ожидаемой полезности объекта. В известном смысле первая оценка объективна, вторая субъективна.

Бухгалтеры-теоретики никогда не отрицали значимости фактора субъективности. Так, исходным пунктом построения концептуальных основ бухгалтерского учета, разработанных американскими учеными, являются интересы пользователей финансовой отчетности, которые могут быть удовлетворены, если отчетные данные отвечают таким характеристикам, как понятность, полезность для принятия решений, релевантность, надежность, достоверность, нейтральность. Очевидно, что всем перечисленным характеристикам свойствен элемент субъективизма.

Приверженцы справедливой стоимости аргументируют положительную сторону применения данного метода оценки с точки зрения того, что информация представляет огромную ценность для большинства инвесторов и других пользователей финансовой отчетности. Учет по справедливой стоимости в большей степени, чем учет по первоначальной стоимости, описывает реальное финансовое состояние компании. Так как учет по справедливой стоимости отражает экономическую реальность и текущее состояние рынка, то можно говорить о том, что данный подход полезен для принятия управленческих решений [1].

Не менее актуален подход и при формировании капитала. Так, если активы при их выбытии будут использованы по исторической, а не по справедливой стоимости, то собственник не будет иметь возврата ранее вложенных средств, что приведет к необходимости дополнительного привлечения средств для возобновления. В случае недостатка собственных средств и привлечения заемного капитала потери собственного увеличиваются.

Обосновывая вышесказанное, отметим, что справедливая стоимость является видом оценки. Применение уровней определения справедливой стоимости позволит обеспечить возрастание капитала транспортных организаций, что приведет к обеспечению экономической безопасности, соблюдению интересов собственника, формированию достоверной информации, привлечению иностранных инвесторов. Однако для активации применения справедливой стоимости следует четко определить те объекты учета и условия, при которых данное понятие будет экономически обосновано, разработать методические указания (положения), позволяющие обеспечить единство понимания как самого термина, так и условий его применения.

Возможность применения справедливой стоимости приведет к повышению информационной функции бухгалтерского финансового учета, однако отмечает снижение контрольной функции, что является немаловажным в управлении активами. В свою очередь, предприятиям транспорта не стоит отказываться от понятий учетной и фактической себестоимости как учетной оценки актива, что обусловлено особенностью заготовительного процесса [3].

Резюмируя вышесказанное, отметим, что в современных условиях возникла необходимость применения справедливой стоимости предприятиями транспорта как основы информационного обеспечения, однако должна быть проведена большая работа, обеспечивающая единство трактовки, методологии учета, формирования показателей отчетности.

#### Список литературы

- 1 **Бугаев, А.** Как применять единые указания по оценке справедливой стоимости – МСФО (IFRS) 13 / А. Бугаев // [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://promsfo.by/articles/element/kak-primenyat-edinye-ukazaniya-po-otsenke-spravedlivoj-stoimosti-msfo-ifrs-13/>. – Дата доступа : 05.09.2023.
- 2 **Трушин, Г.** Не продешевить: как определить рыночную стоимость / Г. Трушин // [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://realty.rbc.ru/news>. – Дата доступа : 06.09.2023.
- 3 **Федива, Н. С.** Справедливая стоимость: международные подходы к оценке активов транспортных организаций / Н. С. Федива, С. Л. Шатров, А. В. Кравченко // Актуальные вопросы и перспективы развития транспортного и строительного комплексов : материалы IV Междунар. науч.-практ. конф.: в 2 ч.; под общ. ред. Ю. И. Кулаженко. – Гомель : БелГУТ, 2018. – С. 262–263.
- 4 **Шатров, С. Л.** Оценочные резервы в системе управления активами железнодорожного транспорта : [монография] / С. Л. Шатров, О. В. Липатова, А. В. Кравченко. – Гомель : БелГУТ, 2019. – 175 с.

УДК 656.25

## ЛОГИСТИКА КУЛЬТУРЫ БЕЗОПАСНОСТИ В ХОЗЯЙСТВЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

*П. В. КУРЕНКОВ*

*Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва*

*И. А. СОЛОП, Е. А. ЧЕБОТАРЕВА*

*Ростовский государственный университет путей сообщения, г. Ростов-на-Дону,  
Российская Федерация*

В связи со сложившейся политической ситуацией и переориентацией экономических связей стран, наблюдается рост объемов железнодорожных перевозок экспортно-импортных грузов в направлении стран Юго-Восточной Азии и обратном направлении. В условиях увеличения объемов

грузоперевозок на железнодорожном транспорте и повышения его конкурентоспособности целесообразно выстраивать эффективную и грамотную железнодорожную логистику. Одновременно наблюдается рост пассажирских перевозок, что усиливает нагрузку на транспортно-логистическую инфраструктуру и требует со стороны ОАО «РЖД» обеспечивать пассажирам и грузовладельцам безопасность перевозки и сохранность груза в условиях возрастающей конкуренции.

Необходимо выработать комплекс мероприятий, направленных на достижение качества предоставляемых транспортно-логистических услуг и снижение рисков производственных ошибок персонала, в том числе на стыке хозяйств. Актуальность и важность данного вопроса подтверждается Положением о культуре безопасности в холдинге «РЖД», утвержденным распоряжением ОАО «РЖД» от 1 июня 2020 г. № 1181р., а также другими исследованиями в этой области [1–8].

Социально-кадровое развитие ОАО «РЖД» предусматривает формирование у работников культуры безопасности, а для обеспечения безопасности транспортных процессов требует все большей ответственности от каждого работника, принимающего участие в выполнении работ. Устойчивый транспортный процесс всегда имеет три точки опоры и основывается на соблюдении: правил безопасности движения, требований охраны труда и заданных эксплуатационных показателей. Понимание данного подхода является первостепенной задачей для подразделений Центральной дирекции управления движением (ЦД), так как технические средства на балансе филиала отсутствуют, а все нарушения безопасности движения по ответственности работников станций и диспетчерских центров управления являются причиной неисполнения технологических процессов.

Многие нарушения безопасности движения начинаются со спонтанного небезопасного действия персонала. Поэтому именно развитие культуры безопасности направлено на искоренение подобного поведения работников. Целью Центральной дирекции управления движением в данном вопросе является формирование среды ответственного отношения к своим обязанностям всех работников филиала независимо от занимаемой должности. Другими словами, добросовестное выполнение должностных обязанностей должно быть внутренней потребностью работника, независимо от того, будет ли их выполнение проконтролировано или нет, будут ли применены меры дисциплинарного воздействия, а также приведет ли это к нарушению безопасности движения. Руководители подразделений должны формировать у работников понимание приоритета обеспечения безопасности движения, а также сами следовать этому принципу. Несомненно, если обеспечение безопасности движения поездов не будет ключевой задачей, неизбежно возникающие транспортные происшествия сделают опасным и неэффективным функционирование всей железнодорожной отрасли.

Культура безопасности включает в себя деятельность по ее формированию и развитию. Основой формирования и поддержания культуры безопасности являются следующие принципы, представленные на рисунке 1.



Рисунок 1 – Основные принципы культуры безопасности

В соответствии с принципами культуры безопасности каждый работник должен: обладать необходимым уровнем знаний для выполнения своих должностных задач; иметь внутреннее желание добросовестно выполнять свою работу; иметь физиологические, технические и технологические возможности для выполнения своих должностных обязанностей; эффективно использовать в работе

технические средства и автоматизированные системы в соответствии с установленными нормами и правилами; своевременно информировать коллег и руководителей об изменениях в процессе своей деятельности или смежных процессах, которые могут стать причиной нарушений безопасности движения.

В 2022 году ключевые инициативы развития культуры безопасности были нацелены на закрепление ее принципов на уровне структурных подразделений, формирование мотивационной среды для персонала, создание принципиально нового подхода к системе общественного контроля за обеспечением безопасности движения поездов и эксплуатации железнодорожного транспорта ОАО «РЖД», а также поддержание его цифровых сервисов.

В конце 2022 года среди 5,5 тыс. работников Центральной дирекции управления движением (7 % от общего количества работников, занятых в перевозочном виде деятельности) было проведено анкетирование для оценки текущего уровня состояния культуры безопасности (из 5 возможных). Анализ показал, что уровень зрелости культуры безопасности в подразделениях хозяйства перевозок имеет тенденцию развития по всем составляющим элементам – с 3,4 балла в 2018 году до 4,0 баллов в 2022 году, что соответствует управляемому уровню, т. е. «руководство контролирует и измеряет процесс и принимает меры, если процесс неэффективен». Проводимая в ОАО «РЖД» системная работа в области развития и поддержания культуры безопасности позволила в 2022 году перейти на новый уровень зрелости культуры безопасности «Управляемый и измеримый» с показателем оценки, равной 4,0 балла.

Наиболее высоко оценили уровень зрелости культуры безопасности респонденты Юго-Восточной дирекции управления движением, самый низкий балл был присвоен работниками Дальневосточной и Забайкальской дирекций. В сравнении с итогами анкетирования за 2021 год уровень зрелости вырос на 0,1 балла (в 2021 г. уровень зрелости был оценен в 3,9 балла). Результаты оценки происходили по шести элементам:

- менеджмент ресурсов – 3,9 балла (минимальный – Забайкальская, Калининградская дирекции, максимальный – Юго-Восточная дирекция);
- стратегия и политика – 4 балла (минимальный – Забайкальская дирекция, максимальный – Юго-Восточный);
- менеджмент процессов – 4 балла (аналогично предыдущему элементу);
- мониторинг, измерение, анализ и изучение – 4 балла (аналогично предыдущему элементу);
- достижение устойчивого успеха в области культуры безопасности – 4,1 балла (минимальный – для Дальневосточной и Забайкальской дирекций, максимальный – Юго-Восточной);
- улучшения, инновации и обучение – 4,1 балла (минимальный – Забайкальская дирекция, максимальный – Юго-Восточная).

Стратегией развития ОАО «РЖД» предусмотрено удержание лидирующих позиций железнодорожного транспорта, в том числе в вопросах надежности и безопасности перевозок при оказании транспортно-логистических услуг. К 2030 году аварийность в компании предполагается снизить в 2,6 раза к базовому уровню 2012 года.

Для проведения промежуточных итогов и определения дальнейших направлений деятельности Центральной дирекции управления движением по достижению озвученных целей были определены следующие ключевые направления в данной сфере (рисунок 2).



Рисунок 2 – Ключевые направления ЦД в области безопасности движения

Ежегодно Центральная дирекция управления движением совместно с Центральной дирекцией инфраструктуры (ЦДИ), Дирекцией тяги (ЦТ), а также с Департаментом безопасности движения проводит совместные совещания с выработкой технических и технологических мер, направленных на снижение рисков производственных ошибок персонала на стыке хозяйств.

Ключевая роль в реализации данных мер отводится узловым рабочим группам, возглавляемым начальниками крупных станций, и региональным оперативным комиссиям (рассмотрение итогов комплексной оценки рисков, разработка программ управления, заслушивание руководителей предприятий).

Развитие комплексного подхода к управлению рисками позволило, по итогам 2022 года, снизить количество нарушений безопасности движения на станциях по ответственности работников подразделений филиалов ОАО «РЖД» (ЦД, ЦТ, ЦДИ) на 24 % к уровню 2021 г. и на 17,5 % к 2020 г.

В настоящее время в Центральной дирекции пересмотрен подход к организации профилактической работы с персоналом станций и диспетчерских центров в вопросах обеспечения безопасности движения. Сделан значительный упор на оценку профессиональных компетенций сотрудников, в том числе практических навыков действий, с последующей работой по их развитию в индивидуальном формате. С целью вовлечения персонала в развитие своего уровня знаний и навыков в 2022 году совместно с научно-исследовательским институтом АО «НИИАС» разработан индивидуальный электронный Паспорт безопасности работника. Цель создания данного паспорта безопасности – информирование работника о проверках, проведенных в его отношении и выявленных по результатам этих проверок «западающих» профессиональных компетенциях, и последующая автоматическая выдача рекомендаций для самостоятельного развития – тематические электронные курсы дистанционного обучения, самотестирование, обучающие фильмы, лекции в формате «Час знаний», презентационный материал в соответствии с матрицей развивающих действий. Для реализации полного объема предусмотренных функций и назначения электронного паспорта безопасности требуется значительная доработка программного обеспечения и интеграция с сервисным порталом работника ОАО «РЖД», в т. ч. в виде мобильного приложения на смартфоне.

Внедрение технических средств и программного обеспечения, направленных на исключение возможной ошибки дежурно-диспетчерского персонала, основано на реализации в компании концепции «Цифровая железнодорожная станция» (рисунок 3).



Рисунок 3 – Концепция развития «Цифровая железнодорожная станция»

Данный проект подразумевает переход на малолюдные технологии:

- за счет комплексной автоматизации систем низовой автоматики;
- максимального исключения ручного ввода информации;
- цифровизации документооборота;
- автоматизации технологических процессов.

В рамках данного проекта на станции Челябинск-Главный (ЮУР) уже сегодня на 2023–2025 годы запланированы работы по разработке еще 8 программных модулей, представленных на рисунке 4.

Модульный принцип построения позволяет реализовывать максимально возможную автоматизацию каждой конкретной станции в зависимости от ее типа и существующего технического оснащения. В рамках реализации задачи развития транспортной системы г. Москвы и Московской области на Московском центральном кольце внедрено диспетчерское управление движением поездов с автоматической установкой маршрутов. Внедренные решения позволили осуществить переход на



пяти- и четырехминутный интервалы попутного следования без увеличения штатной численности оперативного персонала и потерь в надежности перевозочного процесса.

<b>Модуль 4</b>	Модуль автоматизированной диагностики технического состояния подвижного состава и коммерческих неисправностей;
<b>Модуль 5</b>	Модуль автоматизированной диагностики технического состояния подвижного состава и коммерческих неисправностей по приему груза к перевозке и допуску на инфраструктуру РЖД с путей необщего пользования;
<b>Модуль 15</b>	Модуль автоматического закрепления подвижного состава;
<b>Модуль 16</b>	Модуль автоматического управления поездными и маневровыми передвижениями;
<b>Модуль 17</b>	Модуль автоматического управления сортировочным процессом;
<b>Модуль 18</b>	Модуль автоматической расцепки вагонов на сортировочной горке;
<b>Модуль 20</b>	Модуль контроля предотвращения выхода подвижного состава со стороны, противоположной сортировочной горке;
<b>Модуль 21</b>	Модуль автоматического опробования автотормозов.

Рисунок 4 – Внедрение перспективных модулей в рамках программы «Цифровая железнодорожная станция»

Ключевым направлением развития станет актуализация признаков культуры безопасности и критериев их оценки. Данные изменения, продиктованные временем, позволят объективно оценивать состояние культуры безопасности в подразделениях ОАО «РЖД» и принимать верные управленческие решения, направленные на повышение уровня безопасности и оказания транспортно-логистических услуг. Из опыта лучших практик развития культуры безопасности в компаниях смежных отраслей возникает необходимость создания корпоративной площадки для проведения мероприятий по обмену опытом и выработке решений, направленных на развитие и поддержание культуры безопасности. Таким образом, целесообразным будет проведение указанных мероприятий на базе транспортных вузов, в которых ежегодно проводятся всероссийские научно-практические конференции, посвященные безопасности движения поездов.

#### Список литературы

- 1 Положение о культуре безопасности в холдинге «РЖД» : распоряжение ОАО РЖД от 1 июня 2020 г. № 1181р.
- 2 Руководство по системе менеджмента безопасности движения в холдинге «РЖД» : утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 30 сентября 2016 г. № 2045р.
- 3 Методические указания по организации и проведению комплексных аудитов внутреннего контура подразделений производственного блока ОАО «РЖД» : утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 28 марта 2022 г. № 759р.
- 4 **Солоп, И. А.** К вопросу реализации системы менеджмента безопасности движения / И. А. Солоп, Е.А. Чеботарева, П. В. Куренков // Проблемы безопасности на транспорте : материалы XII Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 160-летию Белорусской железной дороги, Гомель, 24–25 ноября 2022 г. В 2 ч. Ч. 1. – Гомель : БелГУТ, 2022. – С. 56–58.
- 5 **Солоп, И. А.** Обеспечение безопасности движения – одна из приоритетных задач компании ОАО «РЖД» / И. А. Солоп // Транспорт: наука, образование, производство : сб. науч. тр. междунар. науч.-практ. конф. Транспорт-2022. – Ростов н/Д. : РГУПС, 2022. – С. 370–373.
- 6 **Солоп, И. А.** К вопросу обеспечения безопасности движения и охраны труда на транспорте / И. А. Солоп, С. А. Солоп, Е. А. Чеботарева // Актуальные проблемы и перспективы развития транспорта, промышленности и экономики России : сб. науч. тр. междунар. науч.-практ. конф. ТрансПромЭк-2019, 90-летию РГУПС посвящается. – Ростов н/Д. : РГУПС, 2019. – Т. 2: Технические, экономические, естественные и гуманитарные науки. – С. 87–91.
- 7 **Веревкина, О. И.** Развитие культуры безопасности движения как инструмента управления безопасностью на железнодорожном транспорте / О. И. Веревкина, Н. А. Акиншина // Транспорт и логистика: актуальные проблемы стратегического развития и оперативного управления : сб. науч. тр. VI Междунар. науч.-практ. конф. – Ростов н/Д. : РГУПС, 2022. – С. 33–37.
- 8 **Веревкина, О. И.** Обзор нормативно-технической литературы в области безопасности движения / О. И. Веревкина, Н. А. Акиншина // Транспорт: наука, образование, производство : сб. науч. тр. междунар. науч.-практ. конф. Транспорт-2020. – Ростов н/Д. : РГУПС, 2020. – Т. 2: Технические науки. – С. 26–30.

## ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ КОНТРОЛЛИНГА В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ЗАТРАТАМИ

*Е. В. КУРЬЯН*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Повышение неопределенности внешней среды в современных условиях хозяйствования требует усовершенствования системы управления организацией. Для этого в организациях должны использоваться прогрессивные методы управления субъектами хозяйствования, приспособленные к современным условиям хозяйствования. К таким управленческим технологиям относится контроллинг. Термин «контроллинг» – информационно емкий. Он выступает инструментом менеджмента, синтезируя управленческий учет, планирование, контроль и аналитическую работу.

Основной задачей контроллинга является ориентация всех процессов управления на достижение оперативных и стратегических целей организации. Поскольку главная стратегическая цель любой коммерческой организации – это максимизация прибыли и минимизация затрат, то основной функциональной задачей контроллинга является управление затратами и финансовыми результатами деятельности организации. Основными функциями контроллинга являются: планирование; управленческий учет и составление отчетности; организация информационных потоков в организации; отслеживание процессов, проходящих в организации; контроль и оценка достигнутого и сравнение с плановыми показателями; разработка корректирующих рекомендаций по устранению выявленных отклонений и оценка последствий их реализации.

Одним из самых эффективных способов внедрения в организации контроллинга является постепенное изменение информационных и управляющих потоков организации. Можно выделить такие этапы:

- постановка цели внедрения контроллинга в организации;
- внедрение управленческого учета;
- внедрение процедур планирования;
- внедрение механизма контроля.

То есть при организации системы контроллинга необходимо исходить из построения как таковой системы и создания соответствующей службы контроллинга.

Внедрение управленческого учета в организации позволит обеспечить информационную поддержку в принятии эффективных управленческих решений в области управления затратами и направленных в конечном итоге на максимизацию прибыли организации.

Планирование затрат в системе контроллинга осуществляется путем подготовки бюджетов в денежном выражении для каждого подразделения предприятия, выделенного в центр ответственности. Основой построения бюджетов могут являться обоснованные нормативы, стандарты расходов. Общеизвестно, что внедрение системы бюджетирования в организации дает возможность объективно оценивать все аспекты ее финансового положения, укрепить финансовую дисциплину, увязать интересы отдельных структурных подразделений с интересами всей организации в целом. Теория и практика управления субъектом хозяйствования использует различные подходы к процессу бюджетирования. В целях практического внедрения конкретного подхода необходимо детально проанализировать его содержание и выявить недостатки его использования.

Основной задачей контроллинга закупок является обеспечение производства материальными ресурсами с наименьшими затратами. Для этого необходимо провести анализ цен на закупаемые ресурсы в разрезе поставщиков, определить верхний предел цен, провести логистику обеспечения материальными ресурсами.

Целью контроллинга производства является оптимизация производственных затрат. Контролер должен анализировать производственные затраты, общий выпуск, прибыль, устанавливать факторы, влияющие на величину затрат и прирост прибыли.

С этой целью в системе контроллинга необходимо разрабатывать и составлять внутреннюю отчетность в разрезе центров ответственности, которая должна отвечать следующим требованиям:

- быть своевременной, чтобы иметь возможность быстро реагировать и влиять на динамику результатов деятельности центров ответственности;

– быть информационно емкой в отношении отклонений фактических показателей от нормативных (сметы), что позволит реализовать на практике принцип управления по отклонениям.

Управление по отклонениям будет способствовать, во-первых, оперативному выявлению резервов роста прибыли или причин возникновения убытков по каждому подразделению, во-вторых, установлению ответственности за возникшие неблагоприятные отклонения. Отклонения являются основными сигналами для принятия необходимых решений, поиска виновных, пересмотра и корректировки данных нормирования, планирования и бюджетирования.

К аналитическим процедурам контроллинга относят расчет и анализ отклонений от бюджетов. На основании отчетов о выполнении бюджетов осуществляется контроль за затратами и прибылью организации с целью выявления и изучения отклонений и принятия корректирующих мер по их устранению.

Основными факторами, оказывающими влияние на возникновение отклонений, являются:

– внешние факторы (отклонение в затратах за счет цен);

– внутренние факторы (отклонение в затратах за счет количества потребленных ресурсов).

При этом последнее из них является основой для осуществления мероприятий по оптимизации затрат на производство продукции.

Применительно к производству можно выделить следующие виды отклонений:

– отклонения по количеству, возникающие за счет изменения количества потребляемых ресурсов по сравнению с нормами;

– структурные отклонения, возникающие при замене одного материального ресурса другим;

– отклонения по объему выпуска, возникающие в случае изменения объемов производства.

Анализ отклонений позволяет своевременно выявить неблагоприятные отклонения, оценить правильность установления нормативов, изыскать неиспользованные возможности.

Таким образом, основной задачей контроллера при анализе отклонений является не только установление их значений и причин, но и выработка рекомендаций по устранению неблагоприятных отклонений.

Для выявления отклонений на практике широко используют такой способ, как сигнальное документирование. Данный способ применяют при отпуске сырья, материалов сверх установленных лимитов после выявления и обоснования причин дополнительной потребности. Лимитирование позволяет еще до начала процесса производства определить потребность в материальных ресурсах, предотвратить формирование излишних запасов сырья, материалов на рабочих местах. В случае отпуска сверх лимита выписывают требование на отпуск материалов, в котором указывают причину и виновника отклонений.

Получаемая информация о выявленных отклонениях будет иметь следующее значение:

– информация о виде, размере, причинах образования и виновниках отклонений позволит быстро и своевременно принимать экономически обоснованные управленческие решения по регулированию производственного процесса. Уменьшение величины отклонений или их устранение свидетельствует о результатах экономического регулирования и его воздействии на конечные результаты;

– быстрое обнаружение отклонений упрощает сбор и обработку информации о затратах. Отклонения характеризуют наиболее важную информацию с точки зрения контроля затрат, являются результатом фильтрации большого количества данных о затратах и отбора только тех, которые основаны на управленческих решениях.

В условиях цифровизации экономики Республики Беларусь возникает необходимость использования современных интернет-технологий во внедрении системы контроллинга в организации. При выборе программного продукта с целью автоматизации контроллинга, с одной стороны, необходимо учитывать ее особенности по отношению к конкретной организации, с другой стороны, критерии, предъявляемые к программному продукту с точки зрения масштабов и адаптивности системы, трудоемкости ее внедрения и стоимости программного продукта. При выборе конкретного варианта автоматизации системы контроллинга целесообразно сопоставить выгоды, затраты и риски.

Таким образом, контроллинг – это система управления, которая позволяет предвидеть результаты деятельности, определить проблемные места в работе организации и предоставляет инструментарий для их устранения.

## **ОБЪЕКТИВНЫЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ВНЕДРЕНИЯ ПРОЦЕССНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ**

*О. В. ЛИПАТОВА,*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Процессно-ориентированное управление позволяет качественно изменить деятельность организации на операционном, межфункциональном и межорганизационном уровнях ее интеграции.

Функциональная интеграция перестает быть при этом источником сложно разрешаемых межфункциональных конфликтов. Операционный уровень интеграции получает новое видение благодаря сети бизнес-процессов организации и имеет определенные преимущества: эффективное разграничение полномочий и ответственности персонала; развитие эффективной системы делегирования полномочий; обеспечение стандартизации требований к исполнителям; минимизирование риска зависимости от отдельного исполнителя; снижение нагрузки руководителей; сокращение издержек; повышение эффективности управления персоналом; выявление источников сокращения издержек и времени на исполнение бизнес-процессов; снижение времени принятия управленческих решений.

Как следствие, повышается управляемость организации, снижаются влияние человеческого фактора и себестоимость продукции и услуг. Все это приводит к изменению качества самой организации и формированию процессно-ориентированной организации, в которой весь коллектив является осознанным участником непрерывного процесса деятельности, связанного с конечным результатом производства продукции или оказания услуг.

Процессный подход следует определить как подход к организации и анализу деятельности предприятия, основанный на выделении и рассмотрении его бизнес-процессов, каждый из которых протекает во взаимосвязи с другими бизнес-процессами предприятия или внешней средой.

Исходя из понимания того, какие бизнес-процессы выполняются в организации, можно построить эффективную организационную структуру управления ими. Именно процессный подход позволяет понять, что конечный продукт деятельности компании является результатом совместной работы всех ее сотрудников, кроме того, он позволяет устранить разрывы на стыке процессов, восстанавливая связь между ними. Процессный подход не отвергает существующей в компании системы управления, а определяет пути ее улучшения и качественной модификации.

Недостатки процессного подхода компенсируются преимуществами, гарантирующими высокую результативность деятельности организации, управление которой имеет выраженный процессно-ориентированный характер.

В отличие от функционального подхода, управление процессами позволяет концентрироваться не на работе каждого из подразделений, а на результатах работы организации в целом. Процессный подход меняет понятие структуры организации. Основным элементом становится процесс.

Железнодорожный транспортный комплекс, реализуя непрерывный перевозочный процесс, подвержен целому перечню рисков: финансовым, рыночным, политическим, законодательным. Перед хозяйствами остро встает вопрос управления рисками. В целях хеджирования рисков управление железной дороги включает в свою хозяйственную деятельности виды бизнеса, находящиеся вне транспортно-логистического блока. Являясь сложной многофункциональной системой, включение в процесс производства данных видов деятельности позволяет обеспечить повышение финансовой устойчивости, поскольку ведение данной деятельности требует менее сложных и дорогостоящих производственных и технологических цепочек. Имеющиеся непрофильные виды деятельности существуют во всех отделениях и структурных организациях железной дороги.

Безусловно, переход к процессному управлению непростой и затратный в плане использования ресурсов процесс, но именно он позволит получить для БЖД следующие важные изменения: повышение управляемости предприятия; стандартизация бизнес-процессов; снижение количества ошибок со стороны сотрудников; масштабирование бизнеса; внедрение новых подходов для управления и мотивации персонала.

В настоящее время в основу механизма реализации функционального управления входит ориентация функциональных подразделений на выполнение локальных целей, что приводит к слабой заин-

тересованности сотрудников в конечном результате. Основными недостатками функционального подхода являются:

- замена целевых ориентиров организации функциональными и, как следствие, оптимизация функциональных решений вместо оптимизации деятельности предприятия;
- монополизация решений, обусловленная обособленностью подразделений друг от друга;
- низкая ориентации на внешнего потребителя;
- незначительная эффективность информационной поддержки процессов жизненного цикла и др.

В условиях рыночной экономики проблема повышения эффективности управления становится с каждым днем все более актуальной. В связи с этим происходит смена функционального подхода на процессно-ориентированное управление, к основным преимуществам которого можно отнести следующие:

- четкая система управления – один руководитель отвечает за всю совокупность операций и действий, направленных на достижение поставленной цели;
- критерии качества работы и эффективности подразделений и организации в целом согласованы и направлены в сторону достижения одной цели;
- увеличение роли сотрудника в работе компании приводит к значительному повышению их отдачи;
- быстрая реакция исполнительных подразделений на изменение внешних условий.

Процессно-ориентированное управление позволит проводить преобразования быстрее и с меньшим числом ошибок, так как при таком подходе легче (в сравнении с функциональным подходом) определить, что именно и в каких подразделениях нужно изменить.

Органом, который позволит реализовать модель управления комплексом на основании процессного подхода, должен быть центр управления. Создание такого центра позволит унифицировать задачи управления, координировать силы и средства подразделений, а также гарантировать оказание заявленного сервиса. Учитывая актуальность процессного управления в условиях рыночной экономики, а также внедрение его в практику хозяйствования множества зарубежных и отечественных организаций, разработано значительное количество программных продуктов, которые позволят повысить его эффективность и результативность на основе «безлюдных технологий».

Совершенствование системы управления компании представляет собой масштабное и глубокое преобразование его деятельности как единого комплекса. Эффективная перестройка системы управления приводит к значительному повышению адаптивности компании к изменениям внешней среды и эффективному использованию открывающихся возможностей, предупреждению угроз, а также улучшению координации и повышению эффективности всей деятельности компании как в краткосрочной, так и в долгосрочной перспективе.

#### Список литературы

- 1 **Варзунов, А. В.** Анализ и управление бизнес-процессами : учеб. пособие / А. В. Варзунов, Е. К. Торосян, Л. П. Сажнева. – СПб. : Университет ИТМО, 2016. – 112 с.
- 2 **Липатова, О. В.** Процессный подход как элемент совершенствования системы управления локомотивным хозяйством / О. В. Липатова, Е. И. Горленко // Рынок транспортных услуг (проблемы повышения эффективности) : междунар. сб. науч. тр. – Гомель : БелГУТ, 2022. – Вып.15. – С. 186–194.
- 3 **Липатова, О. В.** Совершенствование системы управления в локомотивном хозяйстве на основе применения процессного подхода / О. В. Липатова, Е. И. Горленко // Корпоративное управление экономической финансовой деятельностью на железнодорожном транспорте : материалы VII междунар. науч.-практ. конф. – М. : РУТ (МИИТ), 2022. – С. 146–149.

УДК 658.7:005.4

## ПРОЦЕССНЫЙ ПОДХОД В УПРАВЛЕНИИ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКИМ СНАБЖЕНИЕМ НА ЭТАПЕ ПЛАНИРОВАНИЯ

*О. В. ЛИПАТОВА, Т. А. ЧУЯСОВА*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Материально-техническое обеспечение многочисленных предприятий железной дороги является сложным и трудоёмким процессом, предусматривающим бесперебойное обеспечение материалами, запасными частями, оборудованием и другой продукцией потребностей эксплуатационной деятель-

ности железной дороги, капитального строительства, промышленного производства, ремонта подвижного состава, а также ремонта зданий и сооружений и других работ.

Следствием сложившейся организационной структуры, разнообразия выполняемых функций и территориальной распределенности подразделений – филиалов ГО «БЖД» является сложность организации эффективного управления в целом на железной дороге и управления материально-техническим обеспечением в частности. Совершенствование системы управления материально-техническим обеспечением должно сопровождаться не простым повторением существующих в ГО «БЖД» организационных методов управления, а реальной оптимизацией бизнес-процессов на всех уровнях организационной структуры.

В качестве основы построения новой системы управления, в соответствии с требованиями «ЕК ИСУФР», необходимо использовать современную интегрированную систему, обладающую способностью к моделированию и реализации бизнес-функций и процессов, чтобы обеспечить эффективность функционирования всей организации и каждого из ее элементов.

Рассматривая в качестве бизнес-процесса материально-техническое снабжение, следует выделить следующие его функции, которые можно рассматривать как взаимосвязанные и взаимодействующие процессы, преобразующиеся в финансовые показатели и отражающие экономические результаты реализации стратегии снабжения:

- планирование ТМЦ: реализация заявочной компании ремонтных программ и освоения инвестиций, готовое, квартальное и текущее планирование потребности ТМЦ;
- закупка ТМЦ: проведение процедур закупок, маркетинговые исследования, поиск надежных поставщиков, договорная работа, включая полное сопровождение заключенных договоров до полного освоения обязательств;
- бюджетирование и финансирование: организация сбалансированного движения денежных средств и проведение расчетов с контрагентами;
- учет ТМЦ: складская (поступление, хранение, входной контроль и складирование ТМЦ) и бухгалтерская работа;
- отпуск ТМЦ: обеспечение в материальных ресурсах предприятий согласно заявкам (заказ на поставку, исходящая поставка, транспортировка, отгрузка).

Планирование потребности в товарно-материальных ценностях является основной функцией и ключевым процессом функционирования алгоритма системы материально-технического обеспечения. Составление заявок, заказов, планирование закупок для качественного и эффективного выполнения ремонтных программ, освоения инвестиций и выполнение других срочных заявок, поиск возможностей сокращения затраты на закупку товарно-материальных ценностей – все эти задачи материально-технического снабжения реализуются на этапе планирования.

Рассматривая этап «Планирование товарно-материальных ценностей» в структуре управления материально-техническим снабжением в системе SAP на основании руководства «Ведение норм расхода материалов, плана ремонтов, заявок на закупку ТМЦ, остатков ТМЦ, расчет потребности» можно выделить следующие его основные подпроцессы:

- сбор и согласование потребности в товарах, работах и услугах;
- планирование закупочной деятельности – составляется план закупок на любой период с учетом бюджета, потребности, остатков на складах и данных об уже проведенных закупках и осуществленных поставках на предприятие;
- консолидирование потребности в ТМЦ – объединение заявки на закупку однородных товаров и услуг, с тем чтобы закупить у производителя (поставщика, продавца или подрядчика) полный объем за один раз и тем самым сократить время на обработку большого количества поступивших заявок и на проведение процедур закупок. Это впоследствии позволит сэкономить бюджет на проведение процедуры закупки;
- анализ опыта заявок за прошлые годы. В системе В04 ЕКиСУФР SAP сохраняются данные по каждой заявке и потребности каждого предприятия, заявленные сроки поставки поквартально, исходя из ремонтных программ, и в общем по потребности, присутствует ориентировочная стоимость партии и единицы товара. Реализация данного подпроцесса позволит оптимизировать процесс управления закупками на основе ретроспективного анализа совокупности имеющихся данных.

По разработанному алгоритму планирование материально-техническим снабжением в современных условиях должно стать адаптивным, что предполагает пересмотр стратегий и изменение структуры и технологии управления материально-техническим снабжением, совершенствование теоретических и методических основ системного анализа данных и управления бизнес-процессами материально-технического обеспечения железнодорожного транспорта.

Современный этап развития характеризуется активным внедрением процессного подхода как средства повышения эффективности деятельности системы материально-технического обеспечения. Процессы предприятий железнодорожного транспорта интегрируются с процессами клиентов, поставщиков и партнеров. Основные направления интеграции – поставка товарно-материальных ценностей и предоставление услуг на основе логистического подхода, т. е. учета логистических издержек на протяжении всей логистической цепочки и адаптации системы материально-технического обеспечения к условиям внешней окружающей среды для эффективного управления материальными потоками.

В настоящее время цель процессного подхода и совершенствования организации и управления материально-технического обеспечения железной дороги заключается в управлении бизнес-процессами через построение гибкой системы снабжения с учетом следующих принципов: системности (на макро- и микроуровне), моделирования, иерархии, эффективности, оптимального сочетания централизованного и децентрализованного управления, согласования информационных, ресурсных и других хозяйственных интересов между поставщиками ГО «БЖД».

#### Список литературы

- 1 **Варзунов, А. В.** Анализ и управление бизнес-процессами : учеб. пособие / А. В. Варзунов, Е. К. Торосян, Л. П. Сажнева. – СПб. : Университет ИТМО, 2016. – 112 с.
- 2 **Гизатуллина, В. Г.** Управление затратами на железнодорожном транспорте : [монография] / В. Г. Гизатуллина, О. В. Липатова. – Гомель : БелГУТ, 2008. – 352 с.
- 3 **Липатова, О. В.** Развитие методики анализа материальных ресурсов в организациях, осуществляющих снабженческо-заготовительную деятельность / О. В. Липатова // Рынок транспортных услуг (проблемы повышения эффективности) : междунар. сб. науч. тр. – Гомель : БелГУТ, 2011. – Вып.4. – С. 83–92.

УДК 658.8

## ВОЗМОЖНОСТИ И ПРЕИМУЩЕСТВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ AGILE-МАРКЕТИНГА НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

*Т. С. МЕЛЬНИК, А. В. МЕЛЬНИК*

*Logistics Center «Allfresh Wholesale Limited», г. Корк, Ирландия*

В настоящее время цифровизация выступает одной из главных причин изменений во всех отраслях экономики, однако на способы и методы ведения маркетинговой деятельности еще большее влияние оказывают высокая изменчивость среды и непредвиденность ситуаций. В таких условиях каждый хозяйствующий субъект заинтересован в ускорении реакции рынка на его действия и сокращении сроков получения результата. Этим и объясняется популярность новейшей методологии agile-маркетинга, которая за непродолжительный период получила значительный положительный опыт в зарубежных компаниях.

Agile имеет ряд преимуществ по сравнению с традиционными методологиями, но, не смотря на это и на свою относительную простоту, несколько медленно входит в практику деятельности, особенно в больших компаниях, подобных АО «Укрзалізниця».

Одним из определяющих движущих факторов поиска более эффективного подхода к управлению маркетинговой деятельностью является постоянная и довольно быстрая смена предпочтений потребителей, повышение их требований к товарам и услугам и стремление брать активное участие в процессах создания потребительской ценности [1]. Поэтому принятие методологии agile на железнодорожном транспорте становится все более актуальным.

Agile-маркетинг – это новый стратегический подход к управлению маркетингом и организации маркетинговых процессов.

Основными отличиями agile-маркетинга от традиционного маркетинга являются:

- командная работа по методологии agile;
- частое установление краткосрочных целей и задач, а также приоритетов по ним;
- неизменность главной цели, заключающейся в удовлетворении клиентов;
- акцент на частых итеративных релизах;
- принятие решений на основе данных;
- целенаправленные и частые эксперименты;
- получение готового продукта (прототипа), который можно демонстрировать заказчикам (внешним или внутренним) и/или использовать, в сжатые сроки и с минимальными затратами.

Указанные отличия agile-маркетинга от традиционного позволяют сформулировать его отличительные преимущества: быстрая адаптация к изменениям, высокая производительность, концентрация на достижении главной цели, высокая результативность.

В основоположном документе – манифесте agile-маркетинга [2] и в ряде работ по данной тематике встречается разное количество и приводится разное формулирование ценностей agile-маркетинга, в отдельных публикациях авторы отождествляют ценности с принципами гибкого маркетинга. Понимая связь между этими дефинициями, однако неодинаковую их сущность, считаем, что их нельзя отождествлять, поскольку ценности являются основой для установления принципов.

Относительно agile-маркетинга нами выделены и сформулированы 9 ценностей (классический 9-гранный так называемый «бриллиант ценностей»), которые представлены на рисунке 1.

Эти базовые для agile-маркетинга ценности позволяют установить соответствующие им принципы:

– клиентоориентированность (вытекает из ценности № 1) – приоритетность создания ценности для удовлетворения клиента;

– целенаправленность (из ценности № 2) – концентрация усилий и непрерывное движение для достижения цели всех членов команды (бизнес-цели);

– завершенность (ценность № 3) – создание ценности в конце каждого цикла действий (спринта);

– подтвержденность (ценность № 4) – эксперименты должны опираться на актуальные данные, а успех – подтверждаться результатами экспериментов в реальных условиях;

– результативность (ценность № 5) – результатом работы команды должен быть завершенный продукт или его часть, которые можно представить заказчикам (внешним или внутренним);

– органичность (ценность № 6) – единство действий членов команды, каждый из которых выполняет важную функцию в этой команде для достижения общей цели;

– демократичность (ценности № 7) – взаимодействие и сотрудничество между всеми членами команды, наделенными равнозначными полномочиями;

– партнерство (ценность № 8) – взаимодействие с заказчиком (внешним или внутренним) на всех этапах создания продукта;

– адаптивность (ценность № 9) – нацеленность на оперативное реагирование на изменения во внешней и внутренней среде;

Итак, главной задачей agile-маркетинга является улучшение скорости, адаптивности, прогнозируемости и прозрачности маркетинговой составляющей бизнеса, повышение гибкости и восприимчивости к изменениям во внешней и внутренней среде.

Подытоживая вышеизложенное, можем определить agile-маркетинг как способ применения философии и ценностей методологии agile в маркетинговой деятельности с целью создания запрашиваемой потребительской ценности, удовлетворения потребностей клиентов и развития позитивного клиентского опыта.



Рисунок 1 – «Бриллиант ценностей» agile-маркетинга  
Источник: сформировано авторами



Методология agile благодаря своим преимуществам позволяет эффективно управлять на любом уровне – от структурного подразделения на предприятии до предприятия в целом и даже всей отрасли. Ее внедрение видится нам особенно перспективным для динамически развивающихся отраслей, к которым относится железнодорожный транспорт. Более того, данная методология, по нашему мнению, будет успешно работать не только в маркетинге, но и в других сферах деятельности, в которых найдет применение.

#### Список литературы

1 **Ярмолюк, О. Я.** Використання SKRUM методології в маркетинговій діяльності підприємств / О. Я. Ярмолюк, І. М. Сабірова // Інфраструктура ринку [Онлайн]. – 2017. – Вып. 7. – С. 267–270. – Режим доступа : [http://www.market-infr.od.ua/journals/2017/7\\_2017\\_ukr/46.pdf](http://www.market-infr.od.ua/journals/2017/7_2017_ukr/46.pdf). – Дата доступа : 13.09.2023.

2 **Brinker, S.** Hacking Marketing: Agile Practices to Make Marketing Smarter, Faster, and More Innovative / S. Brinker. – Hoboken, New Jersey, U.S.: Wiley. – 2016. – 288 p.

УДК 658.8

### **БИЗНЕС-ДРАЙВЕРЫ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЗАПАСАМИ ТОВАРНО-МАТЕРИАЛЬНЫХ ЦЕННОСТЕЙ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ**

*Т. С. МЕЛЬНИК, О. В. ХРИСТОФОР*

*Logistics Center «Allfresh Wholesale Limited», г. Корк, Ирландия*

Успешная деятельность любого предприятия, независимо от его отраслевой принадлежности, невозможна без эффективно построенной системы обеспечения материальными ресурсами, товарами, работами и услугами, необходимыми предприятию для осуществления хозяйственной деятельности.

В свою очередь, качественная работа системы материально-технического снабжения и эффективное управление запасами товарно-материальных ценностей (ТМЦ) предполагают наличие актуальной информации относительно уровня и состояния запасов, а также адекватной методической базы их планирования и нормирования, которая отображала бы современные тенденции в подходах к управлению запасами и учитывала все принципиальные отраслевые особенности.

Главными составляющими системы управления запасами ТМЦ выступают планирование и нормирование запасов, которые необходимы для обеспечения потребностей региональных филиалов и филиалов АО «Укрзалізниця», их структурных (производственных) подразделений в материальных ресурсах по объемам, ассортименту и качеству с минимально возможными расходами на их приобретение, поставку, хранение в целях обеспечения безопасности перевозочного процесса, эффективности и качества эксплуатации, а также ремонта подвижного состава и объектов инфраструктуры.

Система управления запасами ТМЦ является совокупностью соответствующих методов и моделей, используемых для установления оптимального размера запасов.

Основными целями системы управления запасами являются:

- создание условия для своевременного и полного обеспечения региональных филиалов, филиалов, их структурных (производственных) подразделений материально-техническими ресурсами;
- формирование запасов ТМЦ надлежащего качества и ассортимента;
- минимизация расходов на создание и хранение запасов;
- обоснование норм и нормативов запасов, необходимых для бесперебойного производственного процесса;
- улучшение показателей использования запасов.

Указанные цели системы управления запасами ТМЦ определяют ее главные бизнес-драйверы, которые отражены на рисунке 1.

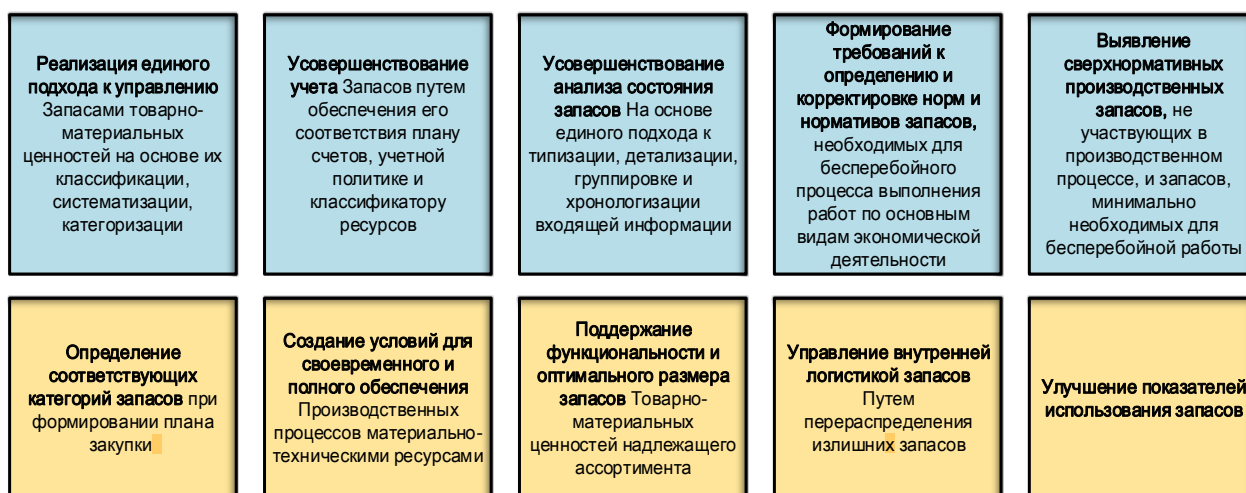


Рисунок 1 – Основные бизнес-драйверы системы управления запасами товарно-материальных ценностей на железнодорожном транспорте  
 Источник: сформировано авторами

Современная система управления запасами включает следующие методы и модели:

- 1) статистические методы, в которых используются экономико-математические модели: модель экономического размера заказа, точка восполнения заказа, определение резервов запаса;
- 2) нормативные методы, использующие экономико-математические модели: «система максимум-минимум» («двухбункерная система»), система с двумя фиксированными уровнями запаса без постоянной периодичности заказа;
- 3) стоимостные методы на базе использования метода оптимизации суммарных затрат на запасы;
- 4) методы структуризации и оперативного управления запасами, в которых применяются такие экономико-математические модели, как ABC-анализ и XYZ-анализ.

В свою очередь, для установления норм запасов используются методы: прямого счета, экономико-аналитический, отчетно-статистический, коэффициентный, оптимизации размера заказа, опытно-лабораторный (таблица 1).

Таблица 1 – Методы управления и нормирования запасов товарно-материальных ценностей  
 Источник: составлено авторами

Методы управления запасами	Методы нормирования запасов
Статистические	Прямого счета Экономико-аналитический Отчетно-статистический Коэффициентный Оптимизации размера заказа Опытно-лабораторный
Нормативные	Прямого счета Опытно-лабораторный
Стоимостные	Экономико-аналитический Отчетно-статистический Коэффициентный
Структуризации и оперативного управления	Прямого счета Экономико-аналитический Оптимизации размера заказа Опытно-лабораторный

Система управления запасами, построенная в соответствии с используемым методом, ориентирована на поддержание оптимального запаса в зависимости от производственных, сезонных и других контролируемых факторов. Главный механизм системы управления запасами заключается в реализации принципа обратной связи.

Выполняя задачу создания запасов и оперативного контроля при планировании поставок, система управления запасами определяет моменты времени и объемы закупок ТМЦ для пополнения запасов.

Усовершенствование системы управления запасами ТМЦ выступает необходимым условием улучшения использования оборотных активов на железнодорожном транспорте, а повышение эффективности этой системы возможно при выполнении таких условий:

- оптимизации норматива запасов путем использования старогодных ТМЦ;
- сравнения фактической величины поточного запаса с базисной, выявления отклонений от базисной величины;
- факторного анализа отклонений от норматива (установление факторов отклонений, расчет силы влияния каждого фактора);
- выявления и оценки состояния излишних, неходовых, морально устаревших и непригодных запасов;
- оптимизации номенклатуры и ассортимента ТМЦ на основе ABC- и XYZ-анализа путем выявления ТМЦ с низкой важностью для производственной деятельности и высокой нестабильностью потребления производством с целью сведения таких запасов к минимуму;
- использования модели экономичного размера заказа ТМЦ и минимизации на ее основе совокупных расходов на закупку и хранение запасов.

УДК 656.2:003

## ОБЩЕЕ ОПИСАНИЕ СИСТЕМЫ СНАБЖЕНИЯ КАК ЗАМКНУТОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ С ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ

*А. В. МИТРЕНКОВА*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В общем виде система снабжения предприятий как система управления их материальными ресурсами состоит из взаимосвязанных общих функций замкнутой системы управления с обратной связью, которая представлена на рисунке 1.

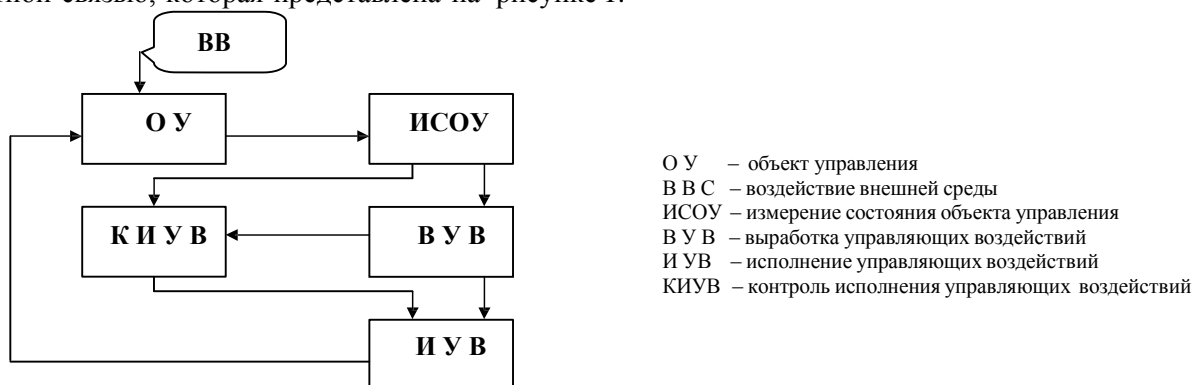


Рисунок 1 – Общая функциональная структура замкнутой системы управления с обратной связью

«В системе материального снабжения объектом управления является текущий запас материальных ресурсов потребителя, который постоянно испытывает воздействие внешней среды, то есть потребление материальных ресурсов. Система управления материальными ресурсами должна воздействовать на объект управления (текущий запас) таким образом, чтобы обеспечить штатный режим функционирования потребителя» [1].

Процесс исполнения управляющих воздействий необходимо постоянно контролировать, в противном случае возможно несоответствие между принятыми управляющими решениями и их реальным исполнением, т. е. в любой системе управления (в том числе в системе материального снабжения) должна быть предусмотрена функция контроля исполнения управляющих воздействий. В системе материального снабжения это:

- контроль производства и закупок материальных ресурсов;
- контроль поставок материальных ресурсов по срокам и объемам;
- контроль перевозок материальных ресурсов;

- контроль размещения и хранения материальных ресурсов;
- контроль отпуска и использования материальных ресурсов.

Именно реальное исполнение управляющего решения воздействует в форме обратной связи на объект управления (текущий запас) (см. рисунок 1).

Любая система управления (в том числе система материального снабжения) должна быть устойчивой, т. е. объект управления должен развиваться по заданной траектории в пределах заданных отклонений; иначе система управления саморазрушается.

Материальное снабжение должно быть организовано таким образом, чтобы обеспечить ремонт и эксплуатацию подвижного состава и объектов инфраструктур. Прежде чем формулировать критерий управления материальными ресурсами, добавим, что при этом должны быть обеспечены по возможности минимальные затраты на производство, закупку, перевозку и хранение запасов.

Функционирование предприятия возможно лишь тогда, когда постоянно удовлетворяются его потребности в материальных ресурсах. В свою очередь, потребности предприятия в материальных ресурсах определяются их реальным расходом, который является, как правило, случайной величиной, распределенной по нормальному закону.

Критерий управления запасами формулируется как удовлетворение заданной годовой потребности предприятия в материальных ресурсах с минимальными суммарными затратами на их изготовление, закупку, перевозку и хранение. Данный критерий принятия решения символизирует логистический подход к проблеме управления материальными ресурсами.

При принятии управляющих решений оценивается материальный поток и затраты в комплексе, т. е. по всей логистической цепи, а не в каждом ее звене отдельно.

Необходимо отметить, что передовые компании мира успешно применяют в своей деятельности логистические концепции, системы и технологии; среди которых можно выделить следующие:

- Just-in-time (точно в срок);
- Requirements/Resourceplanning (планирование потребностей/ресурсов);
- Effective Customer Response (эффективная реакция на запросы потребителей);
- Time-based Logistics (логистика в масштабе реального времени);
- Value-added Logistics (логистика добавленной стоимости);
- Integrated Supply Chain Management (интегрированное управление цепями поставок).

#### 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 656.025:004.942

## ЗНАЧЕНИЕ ТРАНСПОРТНОГО ЭКСПЕДИТОРА В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВИЗАЦИИ

*Т. В. ПИЛЬГУН*

*Белорусский национальный технический университет, г. Минск*

В условиях нестабильного современного рынка транспортных услуг стремление транспортных организаций сохранять свою конкурентоспособность заставляет быстро адаптироваться к новым ситуациям. Издавна бытует мнение, что только автоматизация и информационные технологии в производственных процессах позволяют конкурировать. В настоящее время используется термин «цифровизация». Следует отметить, что первые автоматизированные процессы были бы невозможны без программных продуктов, передающих информацию и соответствующие команды, приводящие в движение механизмы в автоматическом режиме. Следовательно, автоматизированные системы и современные цифровые технологии имеют одну теоретическую основу: вся информация,

которая хранится, передается или обрабатывается на компьютерах и других электронных устройствах, представляется в виде последовательности битовых цифр (бит).

Цифровизация предполагает наличие единого информационного пространства и управление большими массивами данных (например Big Data), воздействие на модель управления через работу с данными. Таким образом, можно сделать вывод, что автоматизация – это начальная стадия цифровизации, но не синоним этого термина [1]. Автоматизация – это замена работы людей машинной системой, а цифровизация – это система управления производственными процессами посредством работы с данными. Автоматизация заменяет рутинный труд, но не влияет на качество продукции. С помощью цифровизации можно влиять как на качество, так и на стоимость процесса. Причем цифровизация имеет больше возможностей влиять на стоимость, чем автоматизация процессов, и не только за счет сокращения количества работников.

Для транспортно-экспедиционных организаций суть автоматизации – в переводе текущих процессов в электронную форму, а цифровизации – в управлении производственной моделью бизнеса на основе аналитической информации.

На сегодняшний день многие транспортно-экспедиционные организации оснащены автоматизированными системами, освобождающими работников от рутинной работы. Глубина автоматизации производственных процессов бывает разного уровня для той или иной организации. При полной степени, насколько это возможно для транспортно-экспедиционной деятельности (выполняется менеджмент предприятия, аналитика и прогнозирование), автоматизация перетекает в цифровизацию. На этом уровне основные бизнес-процессы работают в цифровой среде [2, 3].

Под воздействием концепции «всемирной» цифровизации транспортно-логистические процессы постепенно приобретают цифровую сущность. По мнению специалистов, достижение высоких экономических результатов лежит в интеграции множества участников логистической доставки груза потребителю: перевозчиков различных видов транспорта, органов госуправления, других посредников, причастных к движению грузовых потоков. В современных условиях речь идет об интеграции на основе единой цифровой платформы. С учетом общесистемности подхода в транспортной логистике таким интегратором бизнес-процессов может стать одна из транспортно-экспедиционных организаций. Следует ожидать, что особо сложной окажется цифровое взаимодействие в мультимодальных транспортно-логистических системах, т. к. транспортные системы (автомобильная, железнодорожная и др.) имеют разный уровень готовности транспортных компаний к цифровизации [4].

Наиболее высокий уровень цифровизации среди видов транспорта обеспечивается на предприятиях железнодорожного транспорта. Достаточно развита цифровизация на воздушном транспорте. Консерватизм автомобильного транспорта в цифровом развитии видится в отсутствии централизованной координации в автомобильной транспортной системе, где фигурирует множество перевозчиков разных форм собственности, по большей степени – частной. Несмотря на созданные государством нормативно-правовые условия, немногие автотранспортные организации считают целесообразным вкладывать средства на изменение принятой бизнес-модели в направлении цифровизации. Все виды транспорта в цифровом направлении развиваются в рамках своих систем, согласно установленным нормативными документами правилам. Вместе с тем автомобильный транспорт является наиболее технологически связанным с другими видами транспорта, особенно железнодорожным.

Одна из целей стратегии цифровизации транспортной отрасли – реализация «бесшовных» или сквозных технологий, как в национальном, так и международном сообщении. В системе мультимодальной доставки грузов взаимодействие участников на одной цифровой платформе [5] способно обеспечить «бесшовность» продвижения логистических потоков.

В мировой практике имеются примеры глобальных интеграторов, организующих транспортно-экспедиционную деятельность на цифровых платформах: известные американские платформы SeaRates.com., Flexport и др. Flexport считается международным мировым экспедитором и таможенным брокером, организывает грузоперевозки с привлечением почти всех видов транспорта на основе веб-приложения, позволяющего организовать онлайн все операции, связанные с транспортировкой грузов: упаковку, погрузку, оформление документов, построение логистики, отслеживание перемещения и т. д. [6]. Flexport организовало работу с видами перевозок: авиа-, морскими, автомобильными. Экспедиция Flexport на цифровой платформе позволила: снизить расходы на ло-

гистические услуги на 10 %; исключить из оборота 90 % email-писем; сократить на 40 % необходимые звонки; расширить клиентуру до 10 тысяч в 200 странах мира.

В России также появились компании – интеграторы грузоперевозок (Agorafreight.com, IcanDeliver.ru и др.), которые сегодня претендуют быть цифровым мультимодальным экспедитором, а не просто интегратором.

В соответствии с Национальным планом (дорожной картой) развития конкуренции в РФ на 2021–2025 гг. РЖД активно развивает цифровые платформы для взаимодействия грузоотправителей, перевозчиков и операторов в рамках грузовых перевозок на недискриминационной основе. Также РЖД ведется проработка новой цифровой платформы обеспечения взаимодействия для реализации мультимодальных грузовых перевозок.

В Беларуси создателем интеграционной цифровой платформы могла бы стать транспортно-экспедиционная организация железнодорожного транспорта. Это целесообразно в связи с тем, что железнодорожный транспорт в силу своих функциональных особенностей, находясь в национальных границах, всегда сохранял технологическое единство на обширных территориях. Исторически национальные железнодорожные предприятия интегрируются в единой сети по многим сопутствующим вопросам, связанным с перемещением грузовых и транспортных потоков. Транспортно-экспедиционная деятельность – это то интеграционное направление, которое имеет тесные связи и наработки в рамках целых регионов (например ЕАЭС, стран СНГ).

В современный период, когда произошли кардинальная ломка устоявшихся маршрутов автомобильных перевозок и их разворот на восточное направление с доставкой на дальние направления, многие автотранспортные организации обращаются к железнодорожным, морским перевозчикам в части реализации мультимодальной доставки грузов. Таким образом, создание цифровой платформы и организация взаимодействия всех участников доставки грузов на её основе своевременно. Кроме того, на транспортном рынке будет конкурентоспособна та организация, которая генерирует изменения в сторону инновационности.

#### Список литературы

1 Цифровизация и автоматизация – не одно и то же: разбираем 5 основных отличий [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://bigdataschool.ru/blog/цифровизация-и-автоматизация.html>. – Дата доступа : 07.09.2023.

2 Автоматизация производства [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.expoctr.ru/ru/articles-of-exhibitions/2016/avtomatizaciya-proizvodstva/>. – Дата доступа : 07.09.2023.

3 Цифровизация транспорта [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.retail.ru/rbc/pressreleases/tsifrovizatsiya-transporta/>. – Дата доступа : 07.09.2023.

4 **Пильгун, Т. В.** Цифровая экосистема транспортно-логистической деятельности / Т. В. Пильгун // *Новости науки и технологий*. – Минск, 2020. – № 3. – С. 52–62.

5 Бесшовная логистика и мультимодальная цифровизация [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [https://radio.mediametrics.ru/logistika\\_budushego/60413/](https://radio.mediametrics.ru/logistika_budushego/60413/). – Дата доступа : 05.09.2023.

6 Flexport – исследование высокотехнологичного логистического сервиса [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.retail.ru/rbc/pressreleases/tsifrovizatsiya-transporta/>. – Дата доступа : 13.09.2023.

УДК 656.064

## ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ТЕРМИНАЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ КОНТЕЙНЕРОВ В ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ЛОГИСТИКЕ

*В. Г. ПИЩИК*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Для Белорусской железной дороги развитие грузовых перевозок является одним из приоритетных направлений. Белорусская магистраль стремится создать максимально комфортные, привлекательные и конкурентоспособные условия для клиента по перевозке грузов. В предоставлении услуг в сфере грузовых перевозок у железнодорожного транспорта имеется ряд преимуществ: наличие развитой инфраструктуры, большой опыт и отлаженная технология работы с клиентом.

Контейнерные перевозки являются одним из наиболее эффективных видов грузоперевозок в международном сообщении и обладают рядом преимуществ в сравнении с другими вариантами перевозки грузов:

- перевозка грузов контейнерами может иметь более низкую себестоимость в сравнении с другими технологиями перевозки грузов;
- существенно сокращена продолжительность начально-конечных операций;
- повышенный уровень сохранности груза;
- широкие возможности автоматизации выполнения терминальных операций и контроля грузов в пути следования;
- доставка груза в контейнерах реализует мультимодальную схему доставки «от двери до двери» без перегрузки груза в пути следования;
- облегчает и ускоряет производство таможенных пограничных операций;
- контейнерная перевозка является оптимальным вариантом для длинной мультимодальной логистической цепи.

Рынок контейнерных перевозок быстро развивается и набирает популярность, расширяются способы перевозки грузов в контейнерах, тем самым увеличивается номенклатура контейнеропригодных грузов, что позволяет привлечь большее количество клиентов.

Организация прямых контейнерных поездов как метод технической и отправительской маршрутизации позволяет значительно ускорить доставку грузов, стабилизировать связи поставщиков и потребителей, обеспечить более рациональное использование контейнеров, что повышает конкурентоспособность железнодорожного транспорта относительно автомобильного, позволяя в результате привлечь дополнительную прибыль.

Высокая эффективность контейнерной технологии обуславливает растущие темпы спроса и соответствующий рост объемов контейнерных перевозок. Вместе с тем нельзя сказать, что методы реализации контейнерной технологии перевозки на практике в настоящий момент достигли уровня, позволяющего в полной мере раскрыть ее потенциал. Серьезного усовершенствования требуют различные аспекты контейнерной транспортной системы, связанные с железнодорожной логистикой: управление контейнерным парком, организация формирования и продвижения контейнерных поездов и в том числе рациональная организация работы контейнерных терминалов.

На Белорусской железной дороге 8 % станций открыты для выполнения грузовых операций с контейнерами, а также существует 6 специализированных предприятий, осуществляющих терминальную обработку грузов. На 18 станциях полигона расположены контейнерные терминалы, из которых 9 имеют техническое оснащение для переработки 40-футовых контейнеров. Учитывая растущую потребность в мультимодальных контейнерных перевозках с участием железнодорожного транспорта, очевидна перспектива расширения сети контейнерных терминалов в Республике Беларусь, а также усиления их технического оснащения.

Существующие технологии терминальной обработки контейнеров зачастую являются унифицированными, недостаточно учитывают условия работы конкретных терминалов, в частности структуру контейнеропотока по типам интермодальных единиц и наличие различных механизмов для выполнения грузовых операций. Задача разработки рациональной технологии терминальной обработки должна быть решена превентивно, с учетом этапа активного строительства и развития технического оснащения терминальной системы. При этом необходимым условием реализации предлагаемой технологии должна быть ее высокая адаптивность к динамическому изменению объемов перевозок и удовлетворения потребности в перерабатывающей способности контейнерных терминалов.

Одним из основных аспектов задачи совершенствования технологии обработки контейнеров на существующих и планируемых терминалах является необходимость эффективного использования дорогостоящего терминального оборудования. На сегодняшний день существует большой выбор модификаций транспортно-перегрузочных механизмов, имеющих различный набор функций и множество технологических, технических и экономических характеристик. Терминальные транспортно-перегрузочные механизмы имеют различный принцип действия и различную эффективность применения для каждой из основных терминальных операций. Механизмы различаются по грузоподъемности, способу управления, стоимости работы (в единицах времени работы, в расчете на 1 контейнеро-операцию, в расчете на 1 полный цикл переработки контейнера на терминале), стоимости и эксплуатации самого механизма. В условиях их потенциальной параллельной работы на терминале актуальной является проблема выбора не просто наиболее подходящего механизма или типа механизма и их количества, а формирования целых слаженных терминальных транспорт-

но-перегрузочных технических комплексов, реализующих наиболее рациональную технологию терминальной обработки для заданных параметров контейнеропотока. Под рациональной технологией при этом понимается такая, которая позволяет обеспечить оптимальный баланс стоимости и продолжительности переработки при заданном объеме контейнеропотока. Такая оптимизация может быть достигнута за счет устранения излишних, непроизводительных операций и выполнения необходимых операций устройствами, которые технологически и экономически наиболее выгодны. Ключевым условием устранения излишних операций является создание вариантов оптимальной расстановки контейнеров на терминале, с учетом разных условий работы терминала, неравномерного подвоза контейнеров автотранспортом, разных условий хранения контейнеров, колебаний грузопотоков, колебаний подвода поездов.

Необходимым условием адаптации разработанных технологий терминальной обработки контейнеров к реальным условиям является учет особенностей работы с контейнерами различного типа и размера, поскольку в практике работы железнодорожных терминалов важное значение для перерабатывающей способности имеют схемы расстановки на вагонах, существенно различающиеся для контейнеров разных типоразмеров. Традиционно все показатели работы с контейнерами и все расчетные методики ориентированы на двадцатифутовый эквивалент (TEU), хотя на практике работа ведется с разными типами и размерами контейнеров, что может значимо влиять на планируемые и получаемые результаты.

Совершенствование терминальной обработки и максимальная ее автоматизация является важным аспектом в комплексной задаче создания интеллектуальных систем управления и контроля на транспорте. Автоматизированные контейнерные терминалы должны стать не только полигоном для применения интеллектуальных управляющих систем, но и базой сбора данных для обучения таких систем, анализа эффективности работы, повышения степени адаптивности к динамично меняющимся условиям функционирования.

В социальном аспекте повышение эффективности терминальной обработки позволит решить вопрос с кадровым дефицитом на низовых специальностях (крановщики, водители погрузчиков, приемосдатчики). Минимизация работников на терминале перераспределит рабочие ставки для более квалифицированных специалистов, с более высокой заработной платой. Отсутствие работников в рабочем пространстве транспортного терминала позволит улучшить условия труда, снизить процент опасной и напряженной работы, что положительно отразится на психическом и физическом состоянии сотрудников транспортной отрасли.

Результаты разработок в данном направлении перспективно представляются применимыми для любых железных дорог вне зависимости от ширины колеи и являются достаточно универсальными для любых мультимодальных терминалов с участием железнодорожного транспорта.

УДК 656.2:005.95

## **ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТЫ ПЕРСОНАЛА ТРАНСПОРТНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ СТАНЦИИ «З»**

*А. О. ПОЛУНИНА*

*Ростовский университет путей сообщения, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация*

Станция «З» в структуре иерархии ООО «РЖД» представляет собой элемент Ростовского центрального подразделения, организующего деятельность станций железной дороги, и относится к Северо-Кавказскому отрезку железной дороги Южного федерального округа Российской Федерации.

Грузовой двор данной станции был введен в эксплуатацию в 1985 г.; в 2022 г. предприятие было модернизировано, получив обновленную инфраструктуру, новую грузовую платформу, а также более комфортабельную рабочую среду как для персонала, задействованного в деятельности станции, так и для обслуживаемых станцией «З» клиентов.

По характеру осуществляемой деятельности данное транспортное предприятие относится к грузовому типу, относительно объема работ станция «З» является представителем второго класса.



На предприятии осуществляются следующие виды оперативной деятельности:

- отправление, пропуск и прием грузовых, пассажирских поездов и электропоездов;
- формирование грузовых составов;
- расформирование грузовых поездов;
- прицепка к грузовому железнодорожному транспорту новых вагонов и отцепка действующих;
- подача и расстановка вагонов;
- уборочные мероприятия;
- разгрузка и загрузка вагонов в местах коллективного использования и на территории подъездных путей;
- сервис и обслуживание подвижных составов;
- осмотр и устранение неисправностей на территории вагонов;
- обработка документов и осуществление взаиморасчетов с клиентами.

Все подвижные составы, которые адресованы на станцию «З» для переработки, направляются на два пути под номерами семь и восемь в парк, оснащенный литерой «Б». Информирование о прибытии поезда осуществляется на основании получения сообщения с предыдущей станции движения грузового транспортного средства.

Во главе структуры управления станцией «З» стоит начальник станции, в подчинении у которого находятся руководители второго уровня – заместитель начальника по грузовой работе и заместитель начальника по оперативной работе, также в прямом подчинении у начальника станции находятся инженер, техник и специалист по охране труда.

Более подробно схема оперативного управления станцией «З» представлена на рисунке 1.

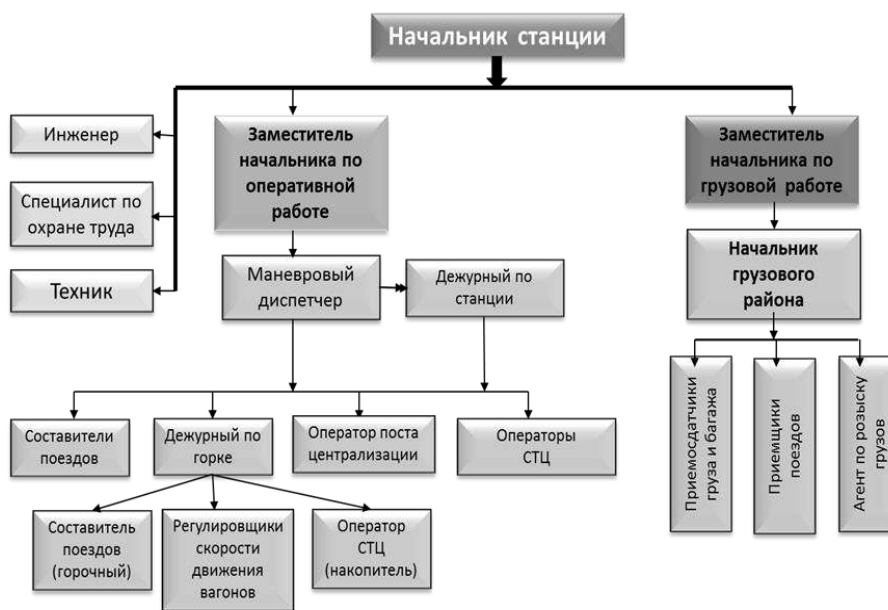


Рисунок 1 – Схема оперативного управления станцией

Деятельность транспортного предприятия станции «З» осуществляется следующим образом.

1 Дежурный по станции, принявший сообщение о том, что поезд отправился с предыдущей по маршруту следования станции, оповещает вверенный ему персонал о времени прихода, выделенном пути и номере поезда.

2 В соответствии с полученной информацией реагирует дежурный по горке, который командует регулировщику закрепить определенным образом подвижной состав.

3 Регулировщик передает информацию о закреплении маневровому диспетчеру, который в свою очередь проверяет состояние стрелок и закрепление состава и направляет его на осмотр и обслуживание, о чем делает соответствующую запись.

4 Далее состав обрабатывается: осмотрщик вагонов производит техобслуживание, приемщик поездов – коммерческий осмотр; оператор СТЦ делает контрольную проверку и осуществляет при-

ем и сверку документов на перевозимые грузы, полученных от бригады локомотива. Последний также размечает в соответствии с загрузочно-разгрузочными фронтами данной станции натурные листы.

5 Сотрудники КПТО осуществляют ремонт, сервис, обслуживание подвижного состава, проверяют состояние оборудования и систем и устраняют выявленные неисправности.

6 Перед отправлением подвижной состав подвергается таким операциям, как коммерческий и контрольный осмотры, прицепка локомотива, тестирование тормозов, вручение документов ответственным лицам, и все эти действия находятся в ведении сотрудников разных должностей, а не аккumulируются на одном представителе штата.

7 После получения от дежурного по горке сообщения о завершении формирования подвижного состава в дело вступает оператор СТЦ (накопитель), который в соответствии с размещением состава на выбранном путевом участке сортировочной части железной дороги обновляет информацию о накоплении вагонов в базе данных, также доводя их до сведения маневрового диспетчера.

8 Маневровый диспетчер действует на основании плана, который он доводит до всех членов бригады, и руководит маневрированием, подавая вагоны, формируя и расформируя поезда. Этот процесс осуществляется на основе порядка работы под общим руководством дежурного по станции.

9 Получив от маневрового диспетчера задание на подбор вагонов, составитель поездов подбирает их таким образом, чтобы минимизировать временные расходы и маневренные затраты на загрузочно-разгрузочные мероприятия. Составительская бригада производит подачу вагонов на пути и проверку их состояния, отмечая сведения в ведомости.

10 Производятся грузовые операции, по завершению которых приемосдатчик передает маневровому диспетчеру данные о том, что вагоны готовы, и тот информирует об этом составителя поездов, который перемещает их с загрузочно-разгрузочных фронтов.

На основании натуральных листов дежурный по горке вносит изменения в план роспуска подвижного состава. Для расформирования состава используется согласованная работа дежурного по горке и дежурного по станции.

В классическом менеджменте существует термин «норма управляемости», под которым подразумевается количество сотрудников, находящихся в непосредственном подчинении руководителя. Это количество может зависеть от следующих факторов:

- опыта управляющего лица;
- характерных особенностей личности и частных способностей руководителя;
- типа деятельности предприятия;
- расположения составляющих структуру организации объектов и элементов;
- вида иерархии свойственной предприятию управленческой и организационной структуры;
- квалификации сотрудников;
- типа выполняемых персоналом действий и однородности стоящих перед ним задач.

Также на определение нормы управляемости будут влиять такие факторы, как стандартизованность работ и автоматизация осуществляемой деятельности.

Ориентация на норму управляемости позволяет найти решение проблемы перегруженности руководителей прямыми подчиненными. В качестве стандартной нормы, как правило, считается  $7\pm 2$ , соответственно которой наиболее эффективным является управление персоналом в количестве от 5 до 9 человек.

«Правило  $7\pm 2$ », также известное как «кошелёк Миллера», было разработано американским психологом на основе закономерности, связанной с особенностью кратковременной памяти человека: в соответствии с ней индивид может запомнить, а также воспроизвести на более 5–9 элементов.

Опираясь на представленную выше схему оперативного управления станцией «З» и приведенную ранее характеристику организационной структуры транспортного предприятия, можно сделать следующие выводы:

1 Нагрузка на руководителей второго порядка является неоптимизированной и неравномерной.

Заместитель начальника по оперативной работе и заместитель начальника по грузовой работе, находящиеся в прямом подчинении у начальника станции, отличаются по уровню загруженности: у первого в подчинении находятся 9 групп специалистов различных уровней, тогда как у второго – всего четыре, включая начальника грузового района.

2 Нагрузка на сотрудников, находящихся в подчинении у вышеупомянутых руководителей, также не является равномерной.

На основе организационной характеристики предприятия можно сделать предположение о том, что нагрузка на сотрудников предприятия нуждается в оптимизации. Необходимо уточнить, что подразумевается под равномерностью нагрузки.

Равномерная и оптимизированная нагрузка представляет собой не только интенсивное, но и стабильное применение трудовых ресурсов, благодаря которому обеспечивается эффективная деятельность предприятия и отсутствует потребность модернизации штата.

Неравномерная нагрузка сотрудников оказывает негативное влияние на их здоровье, сокращая период трудоспособности, приводя к переутомлению и снижению коэффициента внимания. Это негативно влияет на уровень эффективности, которая при условии неравномерной загрузки также не является равномерной, что, в свою очередь, ведет к колебанию затрат на оплату труда.

Равномерность загрузки можно рассчитать различными методами, среди которых выделяются две группы:

- методы статистических аналогий;
- расчетно-аналитические методы.

Первая группа предполагает сравнение исследуемого кадрового объема со штатом другого предприятия с тем же объемом выработки, но при использовании меньшего числа сотрудников. Вторая предлагает рассчитывать качество управляемости на основе показателей хозяйственной деятельности.

Для расчета равномерности нагрузки наиболее популярной является следующая формула:

$$K_p = 1 - (T_{\text{пот}} + T_{\text{пер}}) / T_{\text{общ}}$$

где  $K_p$  – коэффициент равномерности загрузки персонала, измеряется в долях;  $T_{\text{пот}}$  – потери рабочего времени, выраженные в человеко-часах;  $T_{\text{пер}}$  – переработки, количество человеко-часов, которые затратили сотрудники на выполнение задач сверх установленной нормы;  $T_{\text{общ}}$  – общая трудоёмкость персонала, измеряется в человеко-часах. Определить этот показатель можно, перемножив количество персонала на фонд рабочего времени.

Ориентируясь на схему оперативного управления станцией «З», можно с большой долей уверенности предположить, что расчет загрузки покажет высокий уровень её неравномерности, причем в первую очередь – в отношении руководителей второго порядка.

Заместитель начальника по оперативной работе осуществляет значительно более широкий функционал, отвечая за сферу работ, которая в разы превышает объем обязанностей, находящихся в ведении заместителя начальника по грузовой работе.

Данная проблема, связанная с неравномерностью нагрузки, актуальна не только в отношении руководителей второго порядка, но и относительно других, более низких элементов управляющей иерархии.

Соответственно, иерархия транспортного предприятия станции «З» нуждается в существенной модернизации, которая должна иметь своей целью пересмотр кадрового состава, перераспределение обязанностей и полномочий руководителей на всех уровнях иерархии таким образом, чтобы привести норму управляемости как можно ближе к эталонному значению « $7 \pm 2$ » подчиненных на каждого управленца.

Для решения данной задачи потребуется произвести оценку работы персонала по количественным и качественным показателям, осуществить самостоятельный и внешний мониторинг нагрузки, что даст возможность оптимизировать кадровую численность и должностную принадлежность сотрудников. На основании полученных данных можно будет осуществить перестановку штата и перераспределение полномочий между руководителями второго порядка.

В пользу вышесказанного говорит еще и наличие корреляции между нормой управляемости и числом имеющихся управленческих уровней. Чем меньше уровней управления – тем выше будет норма управляемости, чем их больше – тем меньше будет норма управляемости. Чем ниже норма управляемости, тем больше требуется информации на предоставление сведений от низшего уровня к более высокому, и наоборот. Уменьшение нормы управляемости крайне негативно сказывается на качестве передачи информации, приводит к ее искажениям и в целом оказывает пагубное воздействие на всю систему управления предприятием и на эффективность осуществления им его деятельности, чего можно избежать путем грамотной оптимизации структуры управления станцией «З».

Стабилизация нормы управляемости на благоприятном уровне и соответствующее ей более эффективное распределение человеческих ресурсов позволит оптимизировать деятельность транспортного предприятия станции «З», сделать ее более успешной и рентабельной путем снижения затрат на оплату работы персонала и не в последнюю очередь – путем уменьшения количества переработок, связанных с неравномерностью загрузки и несоответствием выполняемого функционала получаемому объему заработной платы.

#### Список литературы

- 1 **Армстронг, М.** Практика управления человеческими ресурсами / М. Армстронг, С. Тейлор. – 14-е изд. – СПб. : Питер, Прогресс книга, 2018. – 1038 с. – ISBN 978-5-4461-0375-1.
- 2 **Архипова, Н. И.** Современные проблемы управления персоналом : [монография] / Н. И. Архипова, С. В. Назайкинский, О. Л. Седова. – М. : Проспект, 2018. – 161 с. – ISBN 978-5-392-25763-8.
- 3 Теоретические основы управления в организациях : учеб. пособие для вузов / В. П. Балан, А. В. Душкин, В. И. Новосельцев [и др.]. – М. : РиС, 2015. – 244 с. – ISBN 978-5-9912-0469-9.
- 4 **Веснин, В. Р.** Теория организации / В. Р. Веснин. – М. : Проспект, ТК Велби, 2017. – 272 с. – ISBN 978-5-482-02032-6 (В пер.).
- 5 **Гасанова, А. А.** Управление персоналом в системе управления организацией / А. А. Гасанова // Инновационная наука. – 2019. – № 11. – С. 50–53. – ISSN 2410-6070.
- 6 **Герасимов, Б. Н.** Методологические инструменты исследования и оценки эффективности процесса управления персоналом организации / Б. Н. Герасимов // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. – 2018. – № 2. – С. 160–169. – ISSN 2500-1000.
- 7 **Данилина, Е. И.** Инновационный менеджмент в управлении персоналом : учеб. / Е. И. Данилина, Д. В. Горелов, Я. И. Маликова. – М. : Дашков и К, 2019. – 208 с. – ISBN 978-5-394-02527-3.
- 8 **Лапинскас, А. А.** Организационно-управленческие проблемы реформирования российских железных дорог / А. А. Лапинскас // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2023. – № 2. – 5 с. – ISSN 1815-588X.
- 9 **Лапинскас, А. А.** Теоретические аспекты разработки и внедрения эффективных управленческих моделей на железнодорожном транспорте / А. А. Лапинскас, Т. Г. Содномбалова. – Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2023. – № 4. – 6 с.
- 10 **Мескон, М. Х.** Основы менеджмента / М. Х. Мескон, М. Альберт, Ф. Хедоури. – М. : Вильямс, 2016. – 672 с. – ISSN 1815-588X.
- 11 **Николаева, В. А.** Порядок взаимодействия при формировании и согласовании организационной структуры. – Уфа : Инновационная наука. – 2021. – № 5. – 4 с. – ISSN 2410-6070.
- 12 **Пригожин, А. И.** Управляемость организации / А. И. Пригожин // Прикладная социология и менеджмент. – Москва, 2015. – 255 с. – ISBN 978-5-9710-1641-0.

УДК 336.648

## ЛИЗИНГ КАК ФИНАНСОВЫЙ ИНСТРУМЕНТ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТА

*П. Г. ПОНОМАРЕНКО*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Национальная стратегия устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь до 2030 года предусматривает повышение благосостояния и уровня жизни белорусского народа [1]. Уровень жизни определяется объемом получаемых населением доходов, доступностью и качеством оказываемых услуг, в том числе транспортных. Автотранспорт общего пользования, городской электрический транспорт и метрополитен являются важнейшими компонентами транспортного комплекса Республики Беларусь, которые оказывают значительное влияние на развитие социальной сферы, так как обеспечивает около 96 % общего объема перевозок пассажиров всеми видами транспорта. По итогам 2020 года перевозки автобусами в общем объеме перевозок пассажиров автомобильным, городским электрическим транспортом и метрополитеном занимают 69,1 %, а в пассажирообороте – 40 %, а доля перевозок пассажирским городским электрическим транспортом и метрополитеном составляет соответственно 34,2 % и 15,1 % [2].

Развитие транспорта общего пользования в Республике Беларусь нацелено на удовлетворение потребностей экономики и общества в качественных транспортных услугах, на выполнение природоохранных требований и соблюдение безопасности дорожного движения. Это ориентирует белорусских перевозчиков на использование автомобилей высоких экологических стандартов, на техно-

логичность оказываемых пассажирам транспортных услуг, а также обуславливает необходимость инновационного развития автомобильного транспорта общего пользования, городского электро-транспорта и метрополитена.

Одним из направлений инновационного развития автомобильного и электрического пассажирского транспорта общего пользования является динамичное обновление подвижного состава новыми видами высокотехнологичных транспортных средств. Для его реализации в Республике Беларусь приняты Государственная программа «Транспортный комплекс» на 2021–2025 годы и Комплексная программа развития электротранспорта на 2021–2025 годы, которые утверждены соответствующими постановлениями Совета Министров Республики Беларусь 23 марта 2021 года № 165 и 9 апреля 2021 года № 213.

Государственной программой «Транспортный комплекс» на 2021–2025 годы на выполнение подпрограммы 2 «Автомобильный, городской электрический транспорт и метрополитен» предусмотрено финансовое обеспечение в объеме 4219 млн р. Источниками финансирования этой подпрограммы определены средства местных бюджетов в сумме 3975 млн р., собственные средства государственных транспортных предприятий и хозяйственных обществ с долей государства в уставном фонде 50 и более процентов акций – 29220 тыс. р., а также кредитные ресурсы – 314614 тыс. р. Предусматривается обновление парка транспортных средств за счет приобретения высокотехнологичной техники, которая обеспечивает комфортные условия для пассажиров и снижает экологическую нагрузку. К 2025 году планируется увеличить до 30 % долю электрифицированных транспортных средств, выполняющих городские перевозки пассажиров в регулярном сообщении в общем количестве подвижного состава, осуществляющего перевозки пассажиров городским электрическим транспортом и автотранспортом общего пользования [2].

Однако с 2020 появились риски в обеспечении устойчивого финансирования государственных программ обновления подвижного состава транспортной отрасли. Они обусловлены целым рядом неблагоприятных факторов. Во-первых, с принятием недружественными государствами ограничений в отношении белорусских автоперевозчиков уменьшились объемы перевозок грузов и пассажиров в страны Западной Европы, что отрицательно сказалось на доходности автотранспортных предприятий. Во-вторых, установление социальных тарифов на ряд пассажирских перевозок и ограничение рентабельности также не способствуют полноценному накоплению собственных оборотных средств для финансирования приобретения транспортных средств. В-третьих, снижение доходности и прибыли транспортных организаций тоже негативно сказывается на формировании инвестиционного фонда Министерства транспорта и коммуникаций, являющегося источником финансирования инноваций на транспорте.

Для минимизации рисков при выполнении государственных программ развития транспортного комплекса транспортным организациям целесообразно изыскивать средства для ее внебюджетного финансирования, в первую очередь за счет привлечения заемных средств банков и использования финансового лизинга при приобретении транспортных средств у производителей. В период действия санкций и оттока иностранных инвестиций транспортный бизнес нуждается в финансовых инструментах, которые бы обеспечивали его дальнейшее развитие. К таковым инструментам относится финансовый лизинг, который характеризуется устойчивым спросом при приобретении автотранспорта и электротранспорта у производителей.

Лизинг автобусов, электробусов и троллейбусов является выгодным решением для транспортных организаций, так как позволяет избежать резкого отвлечения денежных средств из оборота хозяйствующего субъекта на приобретение авто и электротранспорта. Он востребован у юридических лиц, работающих в сфере пассажирских перевозок. Его привлекательность возросла из-за роста цен на транспортные средства и отсутствия у хозяйствующих субъектов собственных оборотных средств на их покупку, а интересы бизнеса требуют обновления парка подвижного состава и серьезных инвестиций.

Лизинг выступает как альтернатива банковскому кредитованию. Пользователи считают лизинговые договоры более удобными, чем обычные кредитные, так как транспортному предприятию проще оформить договор лизинга с лизинговой компанией и не брать кредит под залог имущества. Банк или его лизинговая компания остается владельцем транспортного средства вплоть до полной выплаты лизингополучателем остаточной стоимости автобуса, электробуса или троллейбуса. К тому же при проблемах с платежами банку проще изъять имущество у лизингополучателя, чем при других формах кредитов.

При временных финансовых затруднениях, при недостаточном для получения кредита залоговом обеспечении и других проблемах предприятию проще взять транспортное средство в лизинг и сразу же начать эксплуатировать, зарабатывая доходы и используя их для осуществления лизинговых платежей. В банке или лизинговой компании в качестве залога выступает предмет лизингового договора, то есть автобус, электробус или троллейбус.

Безусловными преимуществами лизинга для лизингополучателя являются: отсутствующие требования по дополнительному обеспечению приобретаемых в рассрочку транспортных средств; лизинговые программы, как правило, исключают первый взнос, предусматривают доставку объекта и его обслуживание в течение периода действия лизингового договора; лизингополучатель имеет возможность решить проблему нехватки денежных средств для приобретения транспортных средств за счет взятия их в финансовую аренду с последующим выкупом; возможность применения ускоренной амортизации объектов лизинга с применением повышающего коэффициента не более 3.

Лизинг привлекателен для лизингополучателя и с точки зрения оптимизации налоговых платежей в бюджет. Лизинговый платеж считается арендной платой, включается в затраты, учитываемые при налогообложении прибыли и, соответственно, обеспечивает снижение налоговой нагрузки налогоплательщика на сумму налога на прибыль. Уменьшение налоговой нагрузки лизингополучателя происходит и за счет регулярного принятия к вычету налога на добавленную стоимость с суммы ежемесячных лизинговых платежей.

Лизинговая форма финансовых взаимоотношений представляет интерес и для производителей (продавцов) транспортных средств, которые работают с лизинговой компанией. Лизинговая компания, как правило, выступает оптовым покупателем транспортных средств у производителя, что обеспечивает ему устойчивую реализацию продукции. Кроме того, поставщику транспортных средств гарантируется оплата со стороны лизинговой компании или банка, а сопровождением сделок по продаже продукции занимается лизингодатель, сотрудничество с которым обеспечивает репутацию и успешное ее продвижение к покупателям без дополнительных затрат продавца.

#### Список литературы

1 Национальная стратегия устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь до 2030 года [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://economy.gov.by/uploads/files/NSUR2030.pdf>. – Дата доступа : 12.09.2023.

2 Государственная программа «Транспортный комплекс» на 2021–2025 годы [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=C22100165>. – Дата доступа : 12.09.2023.

УДК 656.7

## **СИСТЕМНЫЙ, ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЙ И ПРОЦЕССНЫЙ ПОДХОДЫ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПОНЯТИЯ «ЦЕПЬ ПОСТАВОК» ПРЕДПРИЯТИЙ СТРОИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА**

*Т. Г. ПОТЁМКИНА*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В современной теории и практике логистики ключевым объектом управления является цепь поставок (ЦП). При анализе исследований современных ученых в сфере логистики автором рассмотрено множество определений понятия «цепь поставок». Все эти определения можно систематизировать по следующим подходам: системному, процессному.

Системный подход – это взаимодействие участников (звеньев) логистической цепи (предприятий-производителей, транспортных, торговых организаций, магазинов и пр.), сформированных таким образом, чтобы осуществлять эффективное движение логистических потоков.

ЦП СК – это линейно упорядоченное множество элементов логистической системы от поставщиков строительных материальных ресурсов до объекта строительства, связанных логистическими потоками.

Достоинства системного подхода:

– движение логистического потока (ЛП) рассмотрено как путь;

- обозначено приращение стоимости конечного продукта на каждом этапе движения материального потока (МП) по ЦП;
- определено минимальное количество субъектов ЦП;
- выделена необходимость линейной упорядоченности субъектов ЦП;
- выделена необходимость упорядочения участников ЦП;
- ЦП рассматривается как движение сквозного логистического потока от сырьевых источников до конечного потребителя готового продукта;
- ЦП рассматривается как вид сотрудничества субъектов в рамках определенной цели;
- ЦП рассматривается как совокупность субъектов, обеспечивающая гарантийные обязательства;
- ЦП рассматривается как пример сотрудничества субъектов в рамках общей цели;
- выделена транспортная составляющая;
- выделен глобальный аспект в формировании цепи поставок;
- обозначена важность формирования цепи поставок при выходе товара на рынок.

Инструментальный подход – совокупность средств, ресурсов, методов и технологий, используемых в цепи поставок. Инструментальный подход предусматривает внедрение современных информационных платформ и методов управления цепью поставок с позиции фокусного предприятия.

Достоинства инструментального подхода – выделена важность методов, подходов, информационно-инструментальных средств при формировании ЦП.

Процессный подход – это совокупность и последовательность действий, направленных на управление движением логистических потоков, логистическая система анализируется и проектируется в виде последовательных процессов.

Достоинства процессного подхода:

- выделяет наличие общего логистического процесса в цепи поставок;
- акцент на совокупности процессов в ЦП;
- увязка процессного подхода с понятием «логистический цикл»;
- выделен процесс транспортировки;
- акцентирована важность всех процессов в ЦП;
- отнесение процессов только к областям и функциям логистики;
- представлена разновидность процессов и их объектов.

Рассмотренные подходы служат теоретической основой при формировании и развитии теоретических подходов к определению понятия ЦП СК Республики Беларусь.

#### Список литературы

1 Зорина, Т. Г. Системный подход к формированию и развитию логистических цепей поставок в строительном комплексе Республики Беларусь / Т. Г. Зорина, Т. Г. Потёмкина // Вестник Витебского государственного технологического университета. – 2021. – № 2 (41). – С. 141–151.

УДК 656.21.01

### **ТРЕБОВАНИЯ К ЕДИНЫМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССАМ РАБОТЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТАНЦИЙ С ПУТЯМИ НЕОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ**

*С. В. ПРИСТАВКО*

*Белорусская железная дорога, г. Минск*

*Е. В. МАЛИНОВСКИЙ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Важное значение для эффективной работы Белорусской железной дороги, ее организаций имеет совершенствование взаимодействия с железнодорожными путями необщего пользования, на которых выполняется основной объем погрузки и выгрузки перевозимых грузов во внутриреспубликанском и международном сообщениях. В соответствии с Уставом железнодорожного транспорта общего пользования взаимоотношения перевозчика с владельцами железнодорожных путей необщего

пользования, не принадлежащих владельцу инфраструктуры, с грузоотправителями и грузополучателями в местах необщего пользования регулируются договорами на эксплуатацию железнодорожного пути необщего пользования или на подачу и уборку вагонов. Согласно пункту 76 Устава железнодорожного транспорта общего пользования указанные договоры должны учитывать технологию функционирования железнодорожной станции, к которой примыкает железнодорожный путь необщего пользования, и технологию функционирования этого пути, а в необходимых случаях – единые технологические процессы, порядок разработки и утверждения которых устанавливается Правилами перевозок грузов.

В соответствии с пунктом 49 Правил эксплуатации железнодорожных путей необщего пользования форма единого технологического процесса работы железнодорожного пути необщего пользования и железнодорожной станции примыкания (далее – ЕТП) и порядок его разработки и составления устанавливается Белорусской железной дорогой.

В настоящее время документом, регламентирующим содержание ЕТП, являются Методические указания по составлению единой технологии взаимодействия подъездных путей и станции примыкания [2], утвержденные в 2004 году. До них действовали Временные указания по разработке единых технологических процессов, датированные 1985 годом [4].

За последние десятилетия произошли значительные изменения в области организации взаимодействия станций с железнодорожными путями необщего пользования, среди которых можно выделить развитие систем автоматизации и цифровизации на железнодорожном транспорте, увеличение парка вагонов грузоотправителей, грузополучателей и др. Например, автоматизированная система «Электронная перевозка» позволяет обеспечить перевод ряда технологических процессов на принципиально новый уровень за счет ускорения обмена информацией, фиксации момента осуществления операции посредством метки времени и защищенности обмена данными [3]. Ее использование на железнодорожных путях необщего пользования привело к ускорению оформления документов и, как результат, уменьшению связанных с этим простоев вагонов.

Наличие грузовых перевозочных средств грузоотправителей, грузополучателей на Белорусской железной дороге привело к изменению и усложнению традиционной системы организации железнодорожных перевозок в части необходимости вывода из тарифа платы за порожний пробег подвижного состава операторских компаний, привлечения экспедиторских организаций для оказания услуг в процессе перемещения таких вагонов в груженом и порожнем состояниях и др. При этом усложнился процесс документального оформления и финансовых взаимоотношений как при взаимодействии операторских компаний с грузоотправителями, так и с железнодорожными администрациями при нахождении таких перевозочных средств в порожнем состоянии на путях общего и необщего пользования. Наличие вагонов различной принадлежности в подачах, поступающих на путь необщего пользования со станции примыкания, может вызвать необходимость в дополнительных маневровых операциях, связанных с первоочередным обслуживанием вагонов инвентарного парка с целью уменьшения платы за пользование ими или даже неустойки [1]. Кроме того, в условиях неравномерного спроса на подвижной состав, в том числе сезонной неравномерности, возникла дополнительная потребность в путях для отстоя вагонов грузоотправителей, грузополучателей. Как показывает практика, в большинстве случаев отстой таких перевозочных средств осуществляется на железнодорожных путях необщего пользования, что требует выполнения дополнительной маневровой работы по подбору групп вагонов и дополнительного путевого развития для временного размещения таких перевозочных средств.

Указанные особенности взаимной работы станций с путями необщего пользования следует учитывать при регулировании взаимоотношений железной дороги и грузовладельцев как в ЕТП, так и в договорах на подачу и уборку вагонов или эксплуатацию железнодорожного пути необщего пользования.

Обобщая вышеуказанное, следует сделать вывод, что в настоящее время нормативная регламентация содержания, порядка разработки и согласования ЕТП требует корректировки. В связи с этим возникает необходимость в разработке Белорусской железной дорогой соответствующего нормативного документа, определяющего единые требования к разработке ЕТП и позволяющего синхронизировать технологии перевозок грузов железнодорожным транспортом общего пользования и транспортного обслуживания на железнодорожных путях необщего пользования.



Разработка и применение на Белорусской железной дороге общих норм по разработке единого технологического процесса работы железнодорожного пути необщего пользования и станции примыкания позволит:

- обеспечить выполнение необходимых объемов перевозок и переработки грузов;
- повысить качество транспортного обслуживания грузоотправителей и грузополучателей;
- ускорить обработку вагонов на железнодорожных путях необщего пользования;
- повысить технологическую дисциплину при взаимодействии работников организаций, использующих железнодорожные пути необщего пользования, и станций примыкания;
- определять технологическое время, не включаемое в плату за пользование вагонами, с учетом особенностей взаимодействия конкретного железнодорожного пути необщего пользования и станции примыкания.

#### 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 Методические указания по составлению единой технологии взаимодействия подъездных путей и станции примыкания. – Белорусская железная дорога, 2004.
- 3 Организация грузовых перевозок с использованием электронных документов : [монография] / И. А. Еловой [и др.]. – Гомель : БелГУТ, 2017. – 171 с.
- 4 Сборник правил перевозок и тарифов железнодорожного транспорта № 306. Временные указания по разработке единых технологических процессов. – М. : Транспорт, 1985. – 56 с.

УДК 656.225.003.13

## СИСТЕМА ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ТРАНСПОРТНЫХ ПРОЦЕССОВ В ГРУЗОВОМ ДВИЖЕНИИ

*Ю. И. СОКОЛОВ, И. М. ЛАВРОВ*

*Российский университет транспорта, г. Москва*

Проблемы повышения качества транспортного обслуживания грузовладельцев всегда имели большое значение на железнодорожном транспорте и приобретают особую актуальность в современных условиях, поскольку:

- качество обслуживания является ключевым фактором рыночного успеха в условиях интенсивного развития межвидовой конкуренции и ценовых ограничений на рынке транспортных услуг;
- управление качеством является комплексным процессом на транспорте, который складывается из взаимодействия участников разных типов;
- при этом система взаимодействия между ними еще не устоялась, прежде всего, в части совместной работы по обеспечению качества как в теоретическом, так и в практическом плане;
- отсутствует совершенная методическая база по оценке эффективности управления качеством с учетом прогнозируемого роста доходов транспортной компании.

С учетом того, что качество на транспорте является результатом взаимодействия различных участников перевозочного процесса, включающим комплекс производственных и сбытовых процессов, мы считаем целесообразным ввести новую обобщающую категорию – качество транспортных процессов, включающую подсистемы производственного и потребительского качества и основанную на учете всех производственно-сбытовых процессов, связанных с выполнением транспортными организациями своих функций (рисунок 1).

Важным вопросом в сфере оценки и управления качеством транспортного обслуживания является выявление взаимного влияния показателей качества, а также их взаимосвязей с объемом грузовых перевозок. В настоящее время, когда накоплена значительная статистика по динамике показателей качества, появляется возможность оценки внутренних взаимосвязей показателей, причем с применением комбинированного подхода из логического и корреляционно-регрессионного анализа.



Рисунок 1 – Система показателей качества транспортных процессов

В процессе проведения анализа строится корреляционная матрица с расчетом в ней коэффициентов корреляции между парами оцениваемых параметров и с обязательным исключением из дальнейшего анализа интеркоррелированных факторов, несопоставимых по своему смыслу с другими непосредственно зависимыми параметрами и способными исказить истинный характер взаимосвязи.

По результатам данного анализа была сформирована система показателей качества транспортного обслуживания на основе идентификации и оценки параметров взаимосвязи частных показателей качества, а также объема перевозок.

Сила влияния отражена одинарной и двойной стрелками на рисунке 2.

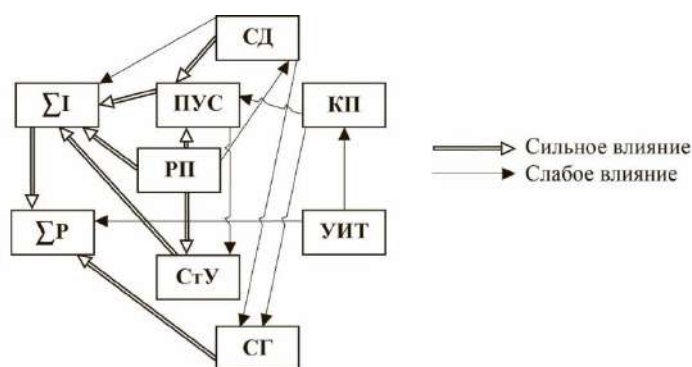


Рисунок 2 – Схема взаимовлияния показателей качества и объема грузовых перевозок

1-я группа оказывает непосредственное влияние на изменение индекса качества (РП, ПУС, СД и СтУ).

2-я группа оказывает непосредственное влияние на изменение объема перевозок грузов (СГ и УИТ).

Показатели 3-й группы имеют преимущественно слабую зависимость по шкале Чеддока и влияние на итоговые показатели объема и качества, но способны оказывать дополнительное положительное влияние на изменение показателей 1-й и 2-й группы (КП).

Опираясь на выводы, сделанные по результатам анализа взаимосвязи параметров качества, и на основании трудов ряда отечественных ученых [1, 4, 6, 7], а также наших исследований [2, 3, 5], была сформирована система показателей качества транспортного обслуживания грузовладельцев, включающая 6 показателей и представленная на рисунке 3.

Особенностью данной системы является учет в ней фактора взаимодействия участников перевозочного процесса, отсева показателей, не связанных с другими, и дублирующихся показателей, учет корреляционной значимости влияния отобранных параметров на конечный результат и ориентацию на максимизацию удовлетворения потребительских предпочтений в сфере грузовых железнодорожных перевозок.



Рисунок 3 – Формирование актуальной системы показателей качества транспортных процессов при реализации грузовых железнодорожных перевозок

Для конкретных целей и задач данная система показателей может быть соответствующим образом трансформирована. Оценка уровня качества транспортного обслуживания может проводиться на разных уровнях управления, в зависимости от целей, субъектов и объектов анализа.

Таким образом, современная система показателей качества транспортных процессов должна отвечать следующим требованиям: системность, отсутствие избыточности (ограниченность), зависимость от ценового фактора (в части затрат), взаимосвязь с возникновением внетранспортных эффектов.

Представленная на рисунке 3 система отобранных показателей, как показали результаты корреляционного анализа, обладает достаточной внутренней связностью, которая должна потенциально генерировать сопутствующие эффекты при проведении мероприятий по повышению качества.

Поскольку большинство факторов, влияющих на уровень качества, тесно взаимосвязаны друг с другом, это создает возможность транспортным компаниям принимать комплексные меры по повышению качества, затрагивающие улучшение сразу по нескольким показателям.

#### Список литературы

- 1 Исследование в сфере оценки потребителями качества услуг на рынке грузоперевозок железнодорожным транспортом : отчет ежеквартальных исследований «Индекс качества». – М. : РЖД-Партнер, 2012–2022. – 38 с.
- 2 Лавров, И. М. Анализ структурной зависимости параметров качества обслуживания и объема перевозок грузов на железнодорожном транспорте / И. М. Лавров // ЭТАП: Экономическая Теория, Анализ, Практика. – 2021. – № 1. – С. 121–131.
- 3 Соколов, Ю. И. Экономико-математическая модель зависимости объема перевозок от качества обслуживания грузовладельцев / Ю. И. Соколов, И. М. Лавров, М. В. Ишханян // Транспортное дело России. – 2021. – № 1. – С. 83–86.
- 4 Повышение качества транспортного обслуживания народного хозяйства / под ред. А. В. Комарова и В. С. Кравченко. – М. : Транспорт, 1988. – 205 с.
- 5 Соколов, Ю. И. Экономика качества транспортного обслуживания грузовладельцев: монография / Ю. И. Соколов. – М. : Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2011. – 184 с.
- 6 Трихунков, М. Ф. Транспортное производство в условиях рынка: Качество и эффективность / М. Ф. Трихунков. – М. : Транспорт, 1993. – 255 с.
- 7 Шишков, А. Д. Комплексное управление качеством продукции на железнодорожном транспорте / А. Д. Шишков. – М. : Транспорт, 1980. – 95 с.

УКД 656.07:338.2

### К ВОПРОСУ ОБ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА В АСПЕКТЕ ИНВЕСТИЦИЙ В РАЗВИТИЕ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

*Ю. И. СОКОЛОВ, З. П. МЕЖОХ, О. В. КОРИШЕВА*  
*Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва*

Существенная трансформация экономики Российской Федерации по итогам 2022 года требует от железнодорожной отрасли формирования особенного подхода к выбору дальнейшего вектора развития

с учётом требований времени и реакции на возникшие вызовы, в том числе связанные с обеспечением экономической безопасности страны и формированием внутренних источников развития.

Эффективное функционирование железнодорожного транспорта Российской Федерации – основы транспортной инфраструктуры страны – играет исключительную роль в создании условий для модернизации, перехода на инновационный путь развития и устойчивого роста национальной экономики, способствует созданию условий для обеспечения стратегической безопасности России в изменяющейся мировой экономической системе.

Реализация инвестиционных проектов на железнодорожном транспорте включает в себя не только строительство, но и эксплуатацию уже действующих железных линий и других объектов инфраструктуры. Это позволяет улучшить качество обслуживания пассажиров и грузовладельцев в рамках железнодорожных перевозок. Более того, такой подход позволяет сократить время обслуживания, увеличить грузоподъемность вагонов и уменьшить затраты на транспортировку грузов, что, в свою очередь, способствует развитию экономики в целом.

С принятием «Стратегии развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года» [1] вопрос оценки экономической эффективности инвестиционных проектов становится особенно актуальным. Это связано с тем, что «в России взят курс на проектное управление, обеспечение конкурентоспособности транспортных услуг, снижение себестоимости и повышение экономической привлекательности реализуемых инвестиционных проектов» [2].

Развитие транспортной инфраструктуры способствует правильному развитию экономики без «перегрева», создавая рабочие места, желание «тратить», а не «копить», которое может быть реализовано при наличии достаточного количества товаров и услуг по доступной цене.

Для достижения этой цели реализуются мероприятия федеральных, ведомственных проектов и ведомственных целевых программ по развитию инфраструктуры отдельных видов транспорта, в том числе по развитию путей сообщения (автомобильных дорог общего пользования, железнодорожных линий и внутренних водных путей) и транспортных узлов.

Удельный вес бюджетных средств в общем объеме инвестиций в основной капитал на транспортировку и хранение составил в 2021 году 41,46 %, в том числе из федерального бюджета – 33,21 %, из бюджетов субъектов Российской Федерации – 12,71 %, из местных бюджетов – 1,51 %.

Анализ мирового опыта показал, что объем и структура инвестиций в транспортный сектор разных стран существенно отличаются. В условиях экономических санкций и мирового кризиса самыми перспективными странами по развитию транспортного сектора выглядят Китай и Россия [3].

Объем инвестиций в основные фонды в транспортном секторе КНР за период январь – июль 2022 года составил около 13,5 трлн рублей и дополнительное привлечение средств (приблизительно 5 трлн рублей) – за счет финансовых облигаций, что почти в 4 раза больше, чем в России. Выпуск в КНР государственных транспортных облигаций в таком объеме указывает на ожидание достаточно-го уровня рентабельности данных проектов в долгосрочной перспективе.

Таким образом, несмотря на значительный объем инвестиций в транспортный комплекс России, он составляет лишь  $\frac{1}{4}$  уровня, необходимого странам развивающегося спектра с сопоставимой по размеру территорией.

Исходя из мирового опыта, транспортный сектор следует финансировать в среднем на 4,5–5 % от ВВП. Российский транспортный комплекс профинансирован лишь на 1,8 % от ВВП, что говорит о дефиците инвестиций в данной отрасли.

В данной связи актуальным направлением развития транспортной инфраструктуры является Международный транспортный коридор (МТК) «Север – Юг». Маршрут «Север – Юг» начинается от порта Усть-Луга под Санкт-Петербургом на берегу Финского залива и проходит на юг через северо-запад страны и бассейн Волги до Астрахани [4]. Он также включает железнодорожные и автомобильные маршруты в Северной Осетии (через Грузию и Азербайджан в Иран) и Дагестане.

Страны ЕС играли ключевую роль, когда коридор только задумывался, но после начала СВО акцент сместился, и в прошлом году ЕС запретил въезд в страну грузовикам с российскими и белорусскими номерными знаками. Единственным исключением стали перевозки лекарств, медицинских препаратов, продуктов питания и сельскохозяйственной продукции, а также удобрений и гуманитарной помощи.

Данный маршрут является мультимодальным, то есть использует различные виды транспорта. В Астрахани он разделяется на три ветки, включающие железнодорожное, автомобильное и мор-

ское сообщение с Ираном. Транскаспийская ветка проходит от российских портов Астрахань, Оля и Махачкала вдоль Каспийского моря до Бендер-Энзели, Ноушехр и Бендер-Амирабад в Иране. Западная ветка представляет собой железнодорожное и автомобильное сообщение из России в Иран через Азербайджан. Восточная ветка – это железнодорожная ветка из Казахстана, Узбекистана через Туркменистан в Иран [5].

Больше всего инвестиций в развитие инфраструктуры требуется в России и Иране (13,21 млрд долларов США и 12,87 млрд долларов США соответственно). В России основные расходы приходятся на развитие автомобильных дорог, а в Иране – на железные дороги, включая электрификацию и модернизацию, и на автомагистрали для увеличения пропускной способности.

По оценкам Евразийского банка развития (ЕАБР), основным препятствием для реализации западной ветки коридора является незавершенная железная дорога Ирана на участке Решт-Астара. По оценкам иранских властей, строительство незавершенных участков займет около трех лет. Для скорейшего урегулирования данного вопроса Россия, Азербайджан и Иран готовят межправительственное соглашение о строительстве последнего участка, необходимого для завершения сухопутного железнодорожного маршрута [6]. На строительство данного участка Россия выделит Ирану 1,5 млрд долларов. Также, помимо инвестиций, ОАО «Российские железные дороги» окажет активное участие в строительстве железнодорожного участка. Заместитель генерального директора ОАО «РЖД» считает, что сроки строительства последнего железнодорожного участка Решт-Астара международного транспортного коридора могут быть сокращены [7].

Строительство железной дороги имеет огромное значение для России. После ее завершения торговые и транспортные связи со многими азиатскими странами станут для Российской Федерации намного проще. Помимо Ирана, торговля с Индией и Пакистаном также станет намного проще и выгоднее для России. Таким образом, развитие и инвестиции в транспортно-логистическую инфраструктуру являются важнейшим фундаментальным фактором для обеспечения экономической безопасности транспортной отрасли.

#### Список литературы

1 Стратегия развития железнодорожного транспорта в РФ до 2030 года : утв. распоряжением Правительства РФ от 17 июня 2008 г. № 877-р [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://mintrans.gov.ru/documents/1/1010>. – Дата доступа : 01.04.2023.

2 Мова, М. А. Оценка экономической эффективности инвестиционных проектов в ОАО РЖД [Электронный ресурс] / М. А. Мова // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2013. – № (34). – Режим доступа : <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-ekonomicheskoy-effektivnosti-investitsionnyh-proektov-v-oao-rzhd>. – Дата доступа : 01.04.2023.

3 Экономическое обозрение: Китай наращивает инвестиции в транспорт для укрепления экономики [Электронный ресурс] // Синьхуа новости. – Режим доступа : <http://russian.news.cn/20220929/c10f237d1a054474a73ba44b2b209e3d/c.html>. – Дата доступа : 01.04.2023.

4 Логистика XXI века и новый экономический порядок: перспективы транспортного коридора «Север – Юг» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://ru.valdaiclub.com/a/highlights/logistika-xxi-veka-i-novyyu-ekonomicheskiiy-poryadok/>. – Дата доступа : 01.04.2023.

5 Развитие Международного транспортного коридора «Север – Юг» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.fondsk.ru/news/2023/03/18/razvitie-mezhdunarodnogo-transportnogo-koridora-sever-ug-58778.html>. – Дата доступа : 01.04.2023.

6 Россия, Азербайджан, Иран планируют завершение строительства «Север-Юг» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [https://1prime.ru/state\\_regulation/20230317/840108722.html](https://1prime.ru/state_regulation/20230317/840108722.html). – Дата доступа : 01.04.2023.

7 РЖД примут участие в строительстве линии Решт – Астара в Иране [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://ru.armeniasputnik.am/20230215/rzhd-primut-uchastie-v-stroitelstve-linii-resht--astara-v-irane-55365722.html>. – Дата доступа : 01.04.2023.

УДК 656.07+06

## К ВОПРОСУ УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ МЕХАНИЗМА ЛОГИСТИЧЕСКОГО ЦИФРОВИЗАЦИОННОГО ИНСТРУМЕНТАРИЯ

*И. А. СОЛОП, Л. В. МАКОЛОВА*

*Ростовский государственный университет путей сообщения, г. Ростов-на-Дону,  
Российская Федерация*

Неотъемлемой составляющей единой транспортной системы страны является железнодорожный транспорт, который занимает ключевое значение в организации перевозочного процесса, по-

этому от качества организации процессов транспортировки зависит эффективность коммерческой и производственной деятельности предприятий. Основными элементами, определяющими сущность процесса транспортировки грузов, являются вид используемого транспорта, маршрут транспортировки и вид транспортировки, подразумевающий использование одного или нескольких видов транспорта в процессе осуществления поставки. Данные элементы не только определяют качество организации процесса транспортировки, но и выступают в качестве основополагающих источников генерации рисков. Ключевые риски ОАО «РЖД», связанные с реализацией ДПР до 2025 года, определены с учетом их влияния на достижение эксплуатационных показателей эффективности деятельности и сгруппированы в следующие категории по источнику возникновения (рисунок 1).



Рисунок 1 – Ключевые риски ОАО «РЖД», связанные с реализацией ДПР до 2025 года

Риск присутствует при осуществлении всех стадий механизма поставок продукции и обусловлен вероятностным характером транспортного процесса. В связи с чем актуализируется проблема своевременной диагностики и оценки степени опасности выявленных потенциально возможных рисков еще на стадии принятия управленческого решения в области организации процесса транспортировки груза [1]. В настоящее время на станциях и предприятиях используются различные системы поддержки принятия решений, принцип действия которых базируется на применении методов оптимизации и имитационного моделирования, которые позволяют заранее просчитать несколько сценариев последствий принятых решений. Немаловажное значение в этой сложной работе играет надежность технических средств, состояние транспортной инфраструктуры, провозные и пропускные мощности, развитие новых методов исследования логистических транспортных систем, рациональное использование локомотивов, выполнение графика движения поездов, создание новых информационных решений, уровень развития цифровых технологий на железнодорожных станциях [2]. Повышение перерабатывающей способности станции, сокращение времени нахождения вагонов и снижение себестоимости их переработки на станции является одной из главных задач, которую можно решить за счет реконструкции инфраструктуры, совершенствования технологии работы, внедрения информационных технологий, а также элементов цифровой сортировочной станции.

В компании проходит полномасштабная цифровизация железнодорожных станций, в том числе промышленных предприятий. В рамках данного проекта, например, на рабочих местах АО «Невинномысский Азот» в конце 2022 года была установлена информационно-логистическая система (ИЛС) «ILSAR RW», направленная на повышение эффективности работы предприятия и уровня взаимодействия его со станцией примыкания. Программа предназначена для ведения, учета и планирования деятельности предприятия в области транспортной логистики, оптимизации логистических операций, снижения транспортных, производственных, логистических затрат и рисков. Технологические и экономические эффекты, получаемые при внедрении технических средств и программного обеспечения, направлены на исключение возможных ошибок дежурно-диспетчерского персонала, а также ускорение обработки вагоно- и поездопотоков. На многих станциях внедряются новые автоматизированные и информационно-управляющие системы.

Основой используемых интеллектуальных информационных систем является автоматизированная система управления станциями (АСУ СТ), уже реализованная, например, на станции имени Максима Горького, с технологиями планирования АРМ и рабочим названием «Полиграф». Внедряя передовые системы, такие как КСАУ СП с интерактивным горючим пультом, МАЛС, ППСС, мобильные рабочие места, можно добиться совершенствования в работе станции (рисунок 2). Данные системы уже показали положительные результаты своей работы на других железнодорожных станциях России.



Рисунок 2 – Передовые системы, внедряемые на железнодорожных станциях

При внедрении балочных заградительных устройств и задерживателей можно полностью добиться исключения времени на закрепление подвижного состава в парках приема и отправления, а также на сортировочной горке исключить время на закрепление состава (внедрены на ст. Челябинск-Главный, Инская, Елец и др.). Кроме того, применение данного вида заградителей не требует ручного труда и работает в режиме «самонастройки», что исключает возникающие риски. Система МАЛС на станции поможет более рационально выполнять маневровую работу на станции и исключить браки в работе (внедрена на 9 станциях). Преимуществами системы ИПСС являются: исключение несанкционированного выхода подвижного состава с сортировочных путей, автоматизированный процесс расформирования поездов, исключение превышения допустимой скорости соударения вагонов, ликвидации травмоопасного труда регулировщиков скорости движения вагонов и др. (внедрена на 18 станциях, таких как Красноярск-Восточный, Тайшет, Лужская и др., планируется еще на 7 станциях (с 2023 по 2030 гг.)). К сожалению, как бы ни были совершенны цифровые системы и технологии, человеку всегда придется участвовать в работе станции в качестве управленца и осуществлять контроль за работой станции. Для управления такими системами нужны определенные знания и умения. Быстрое развитие технологий требует создания подготовленных кадров, которые смогут компетентно выполнять свои задачи. Однако все прочие работы будет брать на себя автоматика. Это минимизирует риск человеческих ошибок и приведет к наиболее оптимальному ходу работы железнодорожных станций.

#### Список литературы

- 1 **Маколова, Л. В.** Управление рисками на предприятии на основе моделирования логистических процессов : [монография] / Л. В. Маколова. – Ростов-н/Д. : Терра Дон, 2018. – 267 с.
- 2 Influence of innovative elements of railway infrastructure complex on the technology of the transport process / S. P. Vakulenko [et al.] // Transportation Research Procedia. TRANSCOM 2021. 26–28 May 2021. Slovak Republic. – 2021. – Vol. 55. – P. 342–347.

УДК 656.25+06

### АНАЛИЗ ЭКОНОМИЧЕСКИХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРЕИМУЩЕСТВ ПРИ ВНЕДРЕНИИ КОНЦЕПЦИИ «ЦИФРОВАЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНАЯ СТАНЦИЯ»

*И. А. СОЛОП, Е. А. ЧЕБОТАРЕВА, И. В. МЕРКУЛОВ*

*Ростовский государственный университет путей сообщения, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация*

Текущее изменение конъюнктуры российских и мировых товарных рынков, происходящее перераспределение грузопотоков на сети железных дорог ОАО «РЖД» в процессе поиска альтернативных потребителей (импортеров) продукции российской промышленности на внешних рынках,

вызванного условиями санкционного давления, привело к увеличению загрузки инфраструктуры основных железнодорожных направлений. Произошли изменения в части логистического управления транспортным комплексом: наращивание перевозок в восточном направлении за счет переориентации с западного направления; увеличение транзитного грузопотока из Республики Беларусь и Республики Казахстан; развитие новых логистических схем для обеспечения грузовых перевозок со странами Ближнего Востока, Северной Африки, Азии (в том числе с Индией, Ираном, Китаем и Турцией); создание новых сервисов по западному и восточному маршрутам МТК «Север – Юг»; развитие месторождений горнодобывающей промышленности Восточного полигона; стремительное развитие сырьевой базы в регионах со статусом ТОР (территория опережающего развития) и др. При этом увеличилась нагрузка и на основные сортировочные станции железных дорог, выполняющие задачи по переработке вагонопотоков. Так, например, увеличение рабочего парка вагонов на станциях привело к снижению в целом их маневренности, что сказалось на качественных показателях эксплуатационной работы. В этих условиях ключевыми задачами становятся вопросы совершенствования технологии работы станций по переработке вагонопотоков, в том числе на базе внедрения новых информационных и информационно-управляющих систем.

Специалистами железнодорожного транспорта были найдены различные технические, технологические, управленческие и экономические решения, которые позволили показать неплохие результаты на ряде направлений, например, в части внедрения информационных технологий, а также элементов цифровой сортировочной станции [1].

Одной из ключевых задач деятельности железнодорожного транспорта является цифровая трансформация транспортного комплекса, что подтверждается рядом принятых нормативных документов [2, 3]. В целях всестороннего управления ходом реализации стратегии цифровой трансформации с учетом необходимости синхронизации работ по разработке и развитию цифровых сервисов, своевременной реализации обеспечивающих задач, разработке и внедрению технических и технологических решений будут реализовываться комплексные проекты в соответствии со стратегическими направлениями развития. Комплексный проект цифровой трансформации включает в себя как реализацию отдельных проектов и инициатив, подтвердивших свою экономическую эффективность, так и работ, приносящих косвенный эффект в рамках трансформации сквозных бизнес-процессов.

В связи с этим авторами выполнен анализ опыта внедрения элементов цифровой станции на сети ОАО «РЖД» и в целом задач развития цифровой экономики. Авторами сделана попытка проанализировать экономические и технологические преимущества при внедрении концепции «Цифровая железнодорожная станция». Технологические эффекты, получаемые при внедрении технических средств и программного обеспечения, направлены на исключение возможных ошибок дежурно-диспетчерского персонала, а также ускорение обработки вагоно- и поездопотоков (рисунок 1).

Экономический эффект связан с возможностью перехода на малолюдные технологии за счет комплексной автоматизации систем низовой автоматики; максимального исключения ручного ввода информации; цифровизации документооборота; автоматизации технологических процессов. В рамках данного проекта на станции Челябинск-Главный (ЮУР) уже сегодня полностью в автоматическом режиме осуществляется роспуск вагонов с сортировочной горки с использованием интерактивного пульта управления, а взамен охранных тормозных башмаков установлены балочные заградительные устройства. На станциях Челябинск-Главный (ЮУР) и Кинель (КБШ) также внедрены модули планирования и контроля исполнения эксплуатационной работы.



Рисунок 1 – Элементы «Цифровой железнодорожной станции»



В 2022 году эти модули растраскированы на 80 важнейших станциях сети, в планах 2023 года – внедрение еще по 114 станциям, а до 2025 года – запланировано внедрение на всех сортировочных и важнейших станциях сети железных дорог (всего 403 станции).

Такой механизм построения дает возможность осуществить для каждой конкретной станции максимально возможную автоматизацию, учитывая классификацию станции и наличие технического оснащения на ней. Тем не менее для многих сортировочных станций еще отмечается средний и низкий уровни оснащенности, и в этом направлении еще предстоит выполнить много работы (рисунок 2).

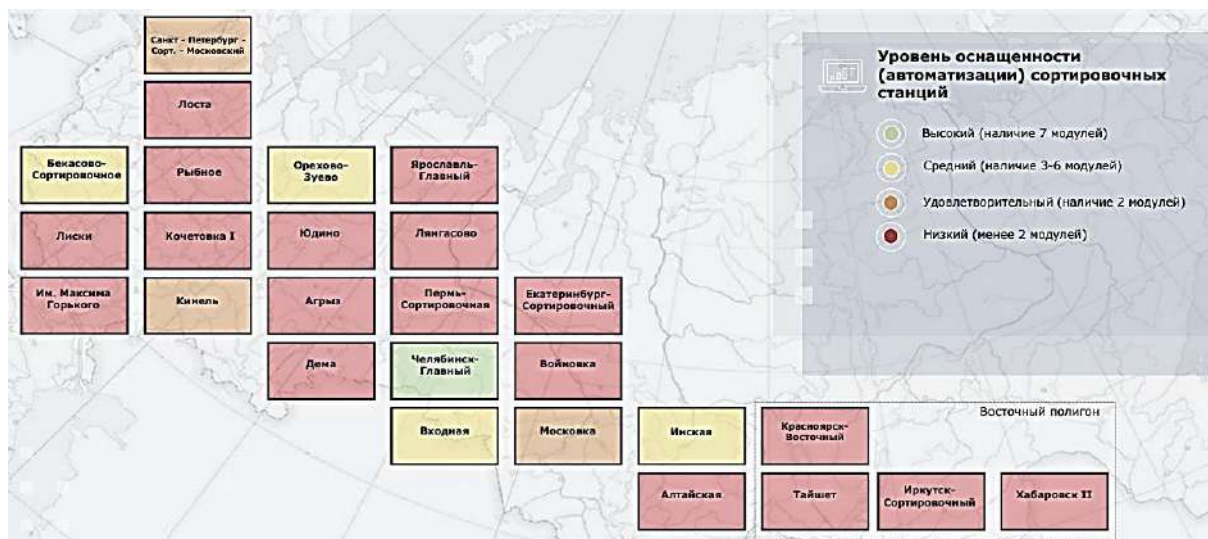


Рисунок 2 – Оснащенность важнейших сортировочных станций ОАО «РЖД» современными средствами автоматизации (по данным АО «НИИАС»)

Реализация представленных проектов позволит обеспечить в перспективе достижение оптимальных качественных характеристик перевозочного процесса и повышение эффективности деятельности компании.

#### Список литературы

- 1 Influence of innovative elements of railway infrastructure complex on the technology of the transport process / S. P. Vakulenko [et al.] // Transportation Research Procedia. TRANSCOM 2021. 26–28 May 2021. Slovak Republic. – Vol. 55, 2021. – Pp. 342–347.
- 2 Стратегия цифровой трансформации ОАО «РЖД». Протокол правления ОАО «РЖД» от 23 августа 2021 г. № 40.
- 3 Долгосрочная программа развития открытого акционерного общества «Российские железные дороги» до 2025 года : утв. распоряжением Правительства РФ от 19.03.2019 № 466-р. – М., 2019.

УДК 658.7

## ОЦЕНКА ВРЕМЕННЫХ ИЗДЕРЖЕК ПРИ СБОРНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ГРУЗОПЕРЕВОЗКАХ ИЗ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ В СТРАНЫ ЕС

*Н. В. СТЕФАНОВИЧ*

*Белорусский национальный технический университет, г. Минск*

Сегодня при следовании через границу Республики Беларусь (далее РБ) из (в) стран(ы) Европейского союза (далее ЕС) автомобильным грузоперевозчикам разрешено движение с грузом только до автодорожных пунктов пропуска и соответствующих им специально установленных мест для совершения грузовых операций и (или) перецепки.

При перецепке зарегистрированного в РБ или Российской Федерации прицепа (полуприцепа) на транспортное средство иностранного перевозчика, а прицепа (полуприцепа) из стран ЕС на белорусский или российский тягач исключается потребность в дополнительных операциях на погрузку/разгрузку. Здесь возможна экономия времени, но только в случае, когда сам процесс идеально

согласован между логистическими компаниями или перевозчиками, работающими и до введения санкций по данной схеме.

Второй вариант предполагает перемещение грузов с одного транспортного средства на другое или перевалку, которая осуществляется в основном через склад временного хранения, где товар выгружается с транспортного средства и временно хранится в ожидании загрузки в другое транспортное средство. Здесь дополнительно может происходить консолидация партий грузов нескольких отправителей для частичной загрузки грузового автомобиля, или LTL-перевозки (Less Truck Load).

В любом случае происходит увеличение времени доставки грузов к конечному потребителю, величина которого зависит от времени:

– на начально-конечные логистические операции; составляющими которого являются процессы принятия и обработки заказа; составления рационального маршрута; выбора транспортного средства (далее ТС); приведения ТС в состояние, требующееся для перевозки заданного груза; подготовки транспортных и грузосопроводительных документов; прохождения медицинского освидетельствования водителем; подачи ТС к месту загрузки; погрузки товара на складе отправителя; затаможивания/растаможивания груза и прохождения границы; разгрузки на складе получателя;

– движения ТС с грузом, определяющегося как отношение расстояния от поставщика до потребителя к эксплуатационной скорости движения ТС и регламентируемого правилами дорожного движения и особенностями перевозки заданного груза.

При международной перевозке грузов из РБ в страны ЕС время движения ТС предлагается разделить на две составляющие: до и после прохождения границы.

Первую составляющую можно найти, используя созданный файл PHP, который компилируется на сервере, а генерируется и отображается в HTML. Приложение позволяет рассчитать максимальное расстояние и время от выбранного пользователем пункта пропуска до самого территориально удаленного города, откуда потенциально может следовать грузопоток. Запустить приложение можно, перейдя по ссылке: <https://nstudio.by/temp/lab/>.

Данное приложение можно использовать для оценки временных издержек при проектировании перецепки зарегистрированного в РБ прицепа (полуприцепа) на транспортное средство иностранного перевозчика или когда доставка сопровождается перемещением грузов с одного транспортного средства на другое.

Следует учитывать, что перегрузка в другой автомобиль или транспортный технологический процесс, называемый перевалкой груза, осуществляется в основном через склад временного хранения, где товар выгружается с транспортного средства и временно хранится в ожидании загрузки в другое транспортное средство или в составе консолидированной отправки в случае сборной грузоперевозки. В действительности грузы поступают обычно через некоторые интервалы времени. При расчетах будет дополнительно учитываться время на перецепку, которое приблизительно составляет 1 час, или на перегрузку товаров, размещенных на паллетах, в среднем 2 часа.

Величина времени накопления груза, скорость комплектации грузов и регулярность рейсов являются основными параметрами, влияющими на срок доставки сборных грузов в пункт назначения. Любой сбой в цепочке сборных отправок приводит к автоматическому увеличению сроков доставки.

Рассчитать время накопления груза для отправки  $t_n$  представляется возможным в случае обработки статистической информации о входящих грузопотоках:

$$t_n = \text{Max}(Tn_i), \quad (1)$$

где  $Tn_i = \frac{d_i Q_o}{I_i}$  время поступления  $i$ -го груза для сборной грузоперевозки;  $d_i$  – удельный вес  $i$ -го

груза;  $Q_o = \sum_{i=1}^n Q_i$  – размер отправляемой партии определённого направления,  $Q_i$  – масса груза  $i$ -го грузоотправителя,  $I_i$  – интенсивность поступления от  $i$ -го грузоотправителя.

С помощью созданного приложения при выборе определенного автодорожного пункта пропуска величина  $t_n$  примет фиксированное значение, которое ориентирует участников сборной грузоперевозки на фактическое время прибытия, которое может быть спланировано для минимизации расходов на хранение в ожидании комплексной загрузки в транспортное средство, следующее в ЕС.

Для накопления размера отправляемой партии определённого направления груз, доставленный на консолидированный склад, будет необходимо разместить для временного хранения в ожидании последующего до момента наступления фактического  $t_n$ . Время хранения партии для  $i$ -го грузоотправителя рассчитывается по формуле

$$Tx_i = t_n - Tn_{(i+1)}. \quad (2)$$

Сокращение времени накопления груза принципиально можно достичь за счет введения фиксированного расписания отправления определенного назначения. Практически это означает, что количество отправок данного направления и средний интервал отправления полностью определяется мощностью грузопотока для этого назначения.

При консолидации необходимо учитывать объёмы поступающих грузопотоков.

При этом следует учитывать, что для организации грузоперевозок из/в страны ЕС используется новый формат: грузы доставляются лишь до границы РБ, где происходит процесс перецепки, перевалки или перегрузки на белорусский или российский автотранспорт, и наоборот.

#### Список литературы

1 **Стефанович, Н. В.** Сборные автомобильные перевозки: методика расчёта интенсивности грузопотоков / Н. В. Стефанович // Логистика и её преимущества в развитии транспортных сообщений Таджикистана с государствами региона [Электронный ресурс] : материалы Междунар. науч.-практич. конф., г. Душанбе, 18–19 октября 2022 года. Министерство транспорта Республики Таджикистан, 2022. – С. 57–61. – Режим доступа : <https://drive.google.com/file/d/1OlcQGKeLVv3Z74z7eErZQ7dokChMGAaq/view>. – Дата доступа : 15.09.2023.

2 **Доманевская, Д. В.** Время логистического процесса и его влияние на эффективность поставки продукции / Д. В. Доманевская, А. И. Лубешко // Образование. Транспорт. Инновации. Строительство [Электронный ресурс] : материалы III Нац. науч.-практ. конф., г. Омск, 23–24 апреля 2020 г. – С. 364–366. – Режим доступа : [https://conf.sibadi.org/confapr2020/agenda/Vremya\\_logisticheskogo\\_protsesta\\_i\\_ego\\_vliyanie\\_na\\_effektivnost\\_postavki\\_produktsii/](https://conf.sibadi.org/confapr2020/agenda/Vremya_logisticheskogo_protsesta_i_ego_vliyanie_na_effektivnost_postavki_produktsii/). – Дата доступа : 15.09.2023.

3 **Стефанович, Н. В.** Организация перевозки сборных грузов с использованием логистического подхода / Н. В. Стефанович, Т. Р. Кисель // Наука и техника. – 2013. – № 3. – С. 68–73.

УДК 339.543

## ОЦЕНКА МЕЖДУНАРОДНОГО ОПЫТА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ТАМОЖЕННЫХ ОРГАНОВ И УЧАСТНИКОВ ВНЕШНЕЭКОНОМИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

*К. О. ТИТОВА*

*Минская региональная таможня, Республика Беларусь*

*А. П. ПЕТРОВ-РУДАКОВСКИЙ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Зарубежный опыт взаимодействия таможенной службы с участниками внешнеэкономической деятельности оказывает непосредственное влияние на формирование механизмов взаимодействия белорусской таможенной службы с бизнесом. Вся законодательная база ЕАЭС, а также таможенное законодательство Республики Беларусь основаны в первую очередь на нормах международного права. Все страны мира стремятся к унификации документов относительно международной торговли товарами. Основополагающим документом, разработанным Всемирной таможенной организацией, направленным на упрощение таможенных процедур, является Международная конвенция об упрощении и гармонизации таможенных процедур от 18 мая 1973 года в редакции Брюссельского протокола от 1999 года (Модернизированная Киотская конвенция). Киотская конвенция направлена в первую очередь на унификацию таможенных процедур с целью устранения затруднений в международной торговле. Высокая степень гармонизации и упрощения таможенных процедур и практики их применения рассматривается как одно из условий, благоприятных для международной торговли и других видов международного обмена и их развития.

Развитием норм Киотской конвенции являются принятые 23 июня 2005 года Рамочные стандарты безопасности и облегчения мировой торговли (далее – Рамочные стандарты). Рамочные стандар-

ты приняты таможенными администрациями членов Всемирной таможенной организации и основываются на отношениях таможенных администраций между собой и таможенных администраций с представителями бизнеса. Решению большей части этих задач содействуют современные информационные технологии. В этой связи стоит отметить, что развитие мировых таможенных технологий не стоит на месте, постоянно идет модернизация и создание новых информационных технологий, оптимизирующих прохождение таможни. Так, в ходе Второго семинара Европейского региона Всемирной таможенной организации по прорывным технологиям, проведенного в 2021 году, было отмечено, что бесконтактные процедуры значительно ускорили внедрение цифровых технологий при совершении таможенных операций и являются наиболее перспективными. Искусственный интеллект и блокчейн все активнее проникают во все сферы жизни, в том числе получают применение в области таможенного администрирования.

В Нидерландах создана группа Brainport Eindhoven на базе подразделений компании Philips, которая включает университеты, производителей товаров, государственные органы и т. д. Она занимается продвижением технологий, в том числе для применения в таможенном деле. Основная задача – переход к использованию искусственного интеллекта. Так, в целях анализа данных таможенных деклараций используют различные математические и статистические методы с применением технологий машинного обучения и искусственного интеллекта. Например, байесовская статистика (Bayesian statistics) – это теория в области статистики, основанная на байесовской интерпретации вероятности, когда вероятность отражает степень доверия событию, которая может измениться, когда будет собрана новая информация, в отличие от фиксированного значения, основанного на частотном подходе.

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, используя технологию машинного обучения (SISAM), представляет собой систему искусственного интеллекта, которая вырабатывает рекомендации по проведению таможенного контроля на основе анализа исторических данных импортных таможенных деклараций, что уменьшает вероятность уклонения от уплаты таможенных платежей и нарушений требований санитарного, ветеринарного и иных видов государственного контроля.

Китайская таможенная администрация с 2020 года внедряет инициативу «Умная таможня, умные границы и умное соединение» (Smart Customs, Smart Borders and Smart Connectivity), или инициатива 3S. Инициатива 3S как видение будущего таможенного сотрудничества опирается на новейшие информационные технологии и поощряет новое мышление, новые методы, новые системы и использование нового оборудования. Посредством умного таможенного контроля, умного таможенного управления и умного таможенного сотрудничества она нацелена на построение глобальной цепочки поставки товаров, которая соединяет международное таможенное сообщество и все другие заинтересованные стороны.

Стоит отметить, что цель использования технологий – не заменить человека, а улучшить процесс, используя их. Люди должны выдвигать гипотезы, а остальное сделает компьютер.

Заслуживает быть отмеченным опыт реформирования таможенных органов, недавно проведенный в Великобритании, где действует единая служба налогов и таможенных пошлин – СНП (Her Majesty Revenue and Customs – HMRS). Основная задача британской реформы таможенных услуг – внедрение наработок финансового менеджмента и менеджмента реформ в управление услугами таможенной и акцизной службы. Исходя из того, что таможенная служба Великобритании использовала в основном американский опыт управления таможенными услугами, важно отметить, что в США процесс оказания таможенных услуг ориентирован на компьютеризацию и информатизацию, тогда как в других странах внимание сфокусировано на минимизации рисков.

Стоит также отметить стремительное развитие механизма «единого окна» в странах ЕС. Рост объемов международной торговли повысил актуальность снижения издержек компаний при совершении трансграничных операций. В итоге появилась система Single Window (от англ. «единое окно» или «одно окно»), которая заменяет многочисленные документы различных ведомств при со-

вершении внешнеторговых операций одним стандартизированным электронным документом. Это позволяет не только снизить издержки экспортеров и импортеров, но и минимизировать число возникающих при оформлении документов ошибок, сократить количество осмотров опасных и уязвимых грузов, сделать процедуру прохождения таможи более безопасной и эффективной. Так, период проведения таможенного оформления товаров в странах, использующих систему одного окна, составлял в среднем два дня, тогда как в странах, не использующих эту систему, – четыре дня, следует из данных Всемирного банка. Период подготовки документов для осуществления импортных операций составлял 8 дней против 14, количество предоставляемых документов – 7 штук против 8. Использование одного окна для подачи информации о грузах также помогает бороться с коррупцией, поскольку позволяет снизить частоту взаимодействия между участниками торговли и представителями властных структур, говорится в докладе. Одной из первых стран, внедривших систему одного окна, стал Сингапур. В 1989 г. правительство Сингапура внедрило систему TradeNet. Она позволила экспортерам и госструктурам обмениваться электронными данными, например, подавать торговые декларации и получать разрешения на осуществление сделок. Через TradeNet проходит около 9 млн заявок на получение разрешений на торговлю за год, причем 90 % из них обрабатывается в течение 10 минут.

Таким образом, зарубежные таможенные администрации не только применяют современные технологии в процессе таможенного контроля – систему управления рисками, соответствующую международным стандартам в области риск-менеджмента и рекомендациям Всемирной торговой организации, но и совершенствуют их в соответствии со своими потребностями. Рассматривая зарубежный опыт взаимодействия таможи и бизнеса, можно отметить преимущественное создание «умных» таможенных технологий, которые позволяют ускорить проведение таможенных операций и контроля, а следовательно, минимизировать издержки бизнеса при прохождении таможи.

Основываясь на зарубежном опыте, белорусская таможня ставит перед собой задачи приближения уровня взаимодействия таможи и бизнеса к уровню ведущих стран мира и заимствованию их опыта для построения надежной, удобной как для самой таможи, так и для участников внешнеэкономической деятельности системы взаимодействия. В настоящее время для этого требуется дальнейшее внедрение проектов информационных технологий и модернизация таможенной инфраструктуры.

УДК 656.0 (476.2)

## **ОРГАНИЗАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ УЧЕТНО-АНАЛИТИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ УПРАВЛЕНИЯ БИЗНЕС-ПРОЦЕССАМИ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ**

*Е. О. ФРОЛЕНКОВА*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

*Т. И. ЖЕЛУДКОВИЧ*

*Белорусская железная дорога, г. Минск*

Значимость учетно-аналитической системы в принятии научно обоснованных управленческих решений в условиях быстро меняющейся внешней среды, неопределенности поведения хозяйствующих субъектов рынка существенно возрастает и зависит от качества учетно-отчетного пространства. Принятие обоснованного управленческого решения должно базироваться на адекватном учетно-аналитическом обеспечении. Учетно-аналитическое обеспечение позволяет эффективно реализовать основные функции управления, под которыми понимают обособленные направления управленческой деятельности, отличающиеся по видам и объемам управленческого труда, а также срокам их выполнения.

Белорусская железная дорога имеет построение учетно-аналитической системы, которая обусловлена нормативно-правовой базой, регулирующей сферы бухгалтерского и налогового учета, спецификой деятельности организации, ее информационными потребностями и структурой формирования информационных ресурсов, а также инструментариумом, формирующим учетно-аналитическое обеспе-

чение для успешного функционирования ее бизнес-процессов. Детализация учетно-аналитического обеспечения формируется в зависимости от избранного объекта учета.

На современном этапе управленческий учёт выходит за рамки системы бухгалтерского учёта и приобретает роль важнейшего инструмента в решении профессиональных задач менеджментом Белорусской железной дороги. Развитие управленческого учёта железнодорожного транспорта выражается в его трансформации из учета по центрам ответственности в учет по процессным сегментам, что способствует совершенствованию управления процессами ресурсопотребления и достижению целевых установок Государственной программы «Транспортный комплекс» на 2021–2025 годы [1].

Специфика осуществления хозяйственной деятельности на железной дороге определяет необходимость территориального деления и соответствующее ему управление. Целью территориального управления является полное удовлетворение потребностей региона в перевозках с наименьшими затратами. Ответственными за достижение данной цели являются отделения железной дороги, которые отвечают за конкретный регион, и Управление, которое отвечает за республику в целом. Производство и реализация услуг железнодорожных перевозок характеризуются ограниченным производственным циклом, ограниченной номенклатурой оказываемых услуг и отсутствием незавершенного производства, что является признаками попроцессного метода калькулирования.

В настоящее время на Белорусской железной дороге действует План счетов бухгалтерского учёта финансово-хозяйственной деятельности организаций, а также инструкция, регламентирующая правила его применения.

Управленческий учет в системе железнодорожного транспорта можно определить как интегрированную систему учета затрат и доходов, основной целью которой является представление информации о хозяйственной деятельности организации и ее структурных подразделений для планирования, контроля и принятия оперативных управленческих решений.

Управленческий и финансовый учет железной дороги ведутся в общей бухгалтерии с использованием единого плана счетов. Этот вариант основан на полной интеграции учета затрат и доходов в объединенную бухгалтерию с отражением операций управленческого учета в общей системе записей синтетического бухгалтерского учета без выделения отдельной корреспонденции счетов. Операции управленческого учета отражаются на соответствующих бухгалтерских счетах (счета 30–39 Типового плана счетов), которые относятся к счетам управленческого учета.

Работы в направлении совершенствования учетно-аналитического обеспечения ведутся на железнодорожном транспорте с 2005 года, когда было принято решение о создании Единой корпоративной интегрированной системы управления финансами и ресурсами (ЕК ИСУФР), в рамках которой предусмотрено автоматическое распределение затрат с целью формирования оперативной управленческой информации.

Особенность системы состоит в использовании дополнительного (технического) бухгалтерского счета 32, на который попадают все расходы предприятия, независимо от их классификации согласно первичным документам, и в дальнейшем распределяются по соответствующим счетам в пределах норм и сверх норм. Использование счета 32 «Управленческий учет затрат на производство» предусмотрено постановлением Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь от 23 октября 2006 г. № 47 «Об утверждении дополнительного счета бухгалтерского учета, предназначенного для использования организациями, входящими в состав Белорусской железной дороги» и Инструкцией по применению дополнительного счета бухгалтерского учета, предназначенного для использования организациями, входящими в состав Белорусской железной дороги.

В основу структуры вспомогательного счета положена действующая Номенклатура расходов железной дороги. Он является определителем видов затрат, которые автоматически распределяются с сохранением элементов затрат, что предусматривает возможность планирования и контроля уже на уровне первичных документов.

Построение эффективной системы финансовых взаимоотношений на железнодорожном транспорте, базирующихся на информационных потоках о доходах и расходах структурных подразделений, подразумевает необходимость в научном обосновании системы управленческого учета с четким разграничением центров ответственности, затрат, прибыли. Организационно-технологические особенности железной дороги обуславливают особый подход к выделению центров в системе железнодорожного транспорта.

Центры возникновения и учета затрат – это структурные подразделения и предприятия дорожного подчинения, по которым организуется планирование, нормирование и учет издержек производства для контроля и управления затратами, организации внутреннего хозяйственного расчета.

Центры ответственности – отделения железной дороги как структурные подразделения дороги в целом и в разрезе отраслевых хозяйств. Организация учета по центрам ответственности позволяет децентрализовать управление затратами, осуществлять контроль за их формированием на всех уровнях управления, устанавливать виновных за возникновение непроизводительных затрат и в конечном итоге существенно повышать экономическую эффективность хозяйствования.

Центры прибыли – управление железной дороги в целом и в разрезе отраслевых хозяйств, руководители которых ответственны не только за затраты, но и за финансовые результаты своей деятельности (что возможно только при условии создания системы учета, позволяющей выделить доходы конкретного отраслевого хозяйства железной дороги и соотнести их с затратами).

В качестве центров прибыли могли бы выступать отделения железной дороги, однако это требует трансформации всего механизма финансирования, базирующегося на организационных преобразованиях структуры организации, что не представляется возможным реализовать в практику хозяйствования из-за наличия единого технологического процесса, обусловленного спецификой деятельности железнодорожного транспорта.

Управление в учетно-аналитическом обеспечении бизнес-процессов подразумевает алгоритм принятия решения в соответствии со стратегией развития.

Таким образом, учетно-аналитическое обеспечение – это совокупность информационного и методического обеспечения всех аспектов бизнес-процессов железной дороги. Грамотно сформированное учетно-аналитическое обеспечение позволит учесть специфику деятельности железной дороги и особенности ее учетного отражения при формировании действенной учетно-аналитической системы, разработанной для контроля за эффективностью исполнения бизнес-процессов и принятия действенных управленческих решений.

#### Список литературы

1 О Государственной программе «Транспортный комплекс» на 2021–2025 гг. : постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 23.03.2021 № 165 : (в редакции постановления Совета Министров Республики Беларусь от 11.08.2022 № 521) // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – Режим доступа : <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=C22100165/>. – Дата доступа : 05.09.2023.

УДК 338.012

### **ПОВЫШЕНИЕ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ КАК ОСНОВА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВНЕШНЕЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ГОСУДАРСТВА**

*Д. А. ХАЛИМОНЧИКОВ, А. П. ПЕТРОВ-РУДАКОВСКИЙ,  
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Повышение конкурентоспособности как основной из факторов обеспечения внешнеэкономической безопасности должно быть нацелено, прежде всего, на внешние рынки, где часто требования и стандарты оказываются более высокими, чем на внутренних рынках. Задача повышения конкурентоспособности должна решаться системно и синхронно сразу на всех уровнях: конкурентоспособность товаров и услуг, конкурентоспособность субъектов хозяйствования (предприятий) и конкурентоспособность государства.

Рассмотрим подробнее приведенные три уровня конкурентоспособности. Что касается первого уровня, то здесь следует отметить, что под *конкурентоспособностью продукции* понимается способность продукции находить сбыт на внутреннем или внешнем рынке при наличии изделий-аналогов. Если продукция приносит устойчивую прибыль на любом этапе жизненного цикла, на внешнем и внутреннем рынках, то она считается конкурентоспособной. Следовательно, главным признаком конкурентоспособности продукции является рост объема ее продаж [1].

Одним из главных факторов, определяющих конкурентоспособность продукции как на внутреннем, так и на внешнем рынках является её качество. В современных условиях конкуренция наблюдается главным образом именно в сфере качества. Под качеством продукции понимается совокупность свойств и характеристик продукции, которые отражают ее способность удовлетворять определенные потребности в соответствии с ее назначением.

Конкурентоспособность является величиной относительной. Она отражается в преимуществе изделия по сравнению с изделиями-конкурентами. Конкурентоспособность как показатель характеризует количественное выражение уровня параметров (технических, экологических, экономических и др.) оцениваемого вида продукции по сравнению с аналогами (базой сравнения). За базу сравнения принимается либо потребность покупателя, либо образец.

Обобщённый расчёт уровня конкурентоспособности продукции ( $У_{КС}$ ) можно выполнить по формуле (1) на основе анализа качества отдельных видов продукции:

$$У_{КС} = \sum_{i=1}^n \frac{K_i}{K_{баз\ i}} D_i, \quad (1)$$

где  $K_i$  – показатель качества  $i$ -го изделия, производимого организацией;  $K_{баз}$  – показатель качества изделия-эталона, принятого за базу для сравнения;  $n$  – количество наименований (видов) выпускаемой продукции;  $D_i$  – удельный вес  $i$ -го вида продукции в общем объеме ее производства.

Необходимо отметить, что показатель качества не имеет конкретного измерения и может представлять совокупность тех или иных свойств или характеристик продукта в зависимости от его специфики, а эта совокупность сама по себе не может считаться плохой или хорошей. Поэтому понятие качества всегда является относительным, а уровень качества устанавливается соотношением значения того или иного свойства оцениваемого изделия с аналогичным свойством изделия-эталона. В качестве такого эталона целесообразно применять зарубежные изделия, высоко зарекомендовавшие себя на мировых рынках.

Величина уровня конкурентоспособности продукции в целом по предприятию должна стремиться к единице. Если значение этого показателя недостаточно высоко, можно сделать вывод о том, что требуется оптимизация структуры и ассортимента продукции (уменьшение доли продукции с низким уровнем качества и увеличение доли продукции с высоким уровнем качества, повышение качества отдельных изделий). Сравнение может осуществляться с использованием как единичных, так и комплексных показателей качества, а также в зависимости от специфики оцениваемой продукции.

Понятие *конкурентоспособность организации* исходит из понятия конкуренции и проявляется в его конкурентных преимуществах по сравнению с другими организациями-конкурентами на конкретном рынке. Конкурентоспособность организации достигается благодаря его устойчивой способности производить конкурентоспособную продукцию, поскольку только это условие обеспечивает нормальное функционирование в условиях рыночной экономики. Важнейшей определяющей конкурентоспособности продукции является цена, в основе которой лежит величина себестоимости продукции, напрямую зависящая от эффективности использования потенциальных возможностей организации.

Для оценки конкурентоспособности организации может применяться сопоставление продукции организаций-конкурентов, её качества, показателей эффективности деятельности и использования ресурсов организациями-конкурентами. В контексте обеспечения внешнеэкономической безопасности оценка конкурентоспособности организации должна оцениваться на основе конкурентоспособности конкретных видов продукции на конкретном зарубежном рынке.

Такую оценку конкурентоспособности организации ( $К_{сп}$ ) целесообразно осуществлять в следующей последовательности:

1 Определяется конкурентоспособность каждого вида продукции ( $К_{ст\ i}$ ) на конкретном  $j$ -м рынке ( $К_{ст\ ij}$ ), в долях единицы. При этом выделяется показатель значимости ( $\beta_j$ ), по которому рынки принято делить на 3 класса (группы) [2]:

- рынки США, Японии, Канады и стран Евросоюза ( $\beta_j = 1$ );
- внешние рынки остальных стран ( $\beta_j = 0,7$ );
- внутренние рынки ( $\beta_j = 0,5$ ).

2 Определяется удельный вес объема продаж каждого  $i$ -го вида продукции на  $j$ -м рынке в общем объеме реализованной предприятием продукции ( $\alpha_{v\ p\ ij}$ ) в долях единицы.

3 Рассчитывается конкурентоспособность организации (в долях единицы) по формуле (2):

$$К_{сп} = \sum_{i=1}^n К_{ст\ ij} \cdot \alpha_{v\ p\ ij} \cdot \beta_j, \quad (2)$$

где  $n$  – количество наименований реализованной продукции.



Формула (2), особенно если ее представить в развернутом виде, является широкоинформативной, так как, во-первых, позволяет оценить сложившуюся конкурентоспособность организаций на данный момент времени на зарубежных рынках, во-вторых, может быть использована:

- для разработки мероприятий по повышению конкурентоспособности конкретных видов продукции (в части совершенствования ее свойств);
- для решения вопроса по определению рынков сбыта на ближайший период и перспективу;
- для оптимизации структуры выпускаемой продукции, исходя из спроса и производственных возможностей и других мер, способствующих повышению конкурентоспособности предприятия и его устойчивому финансовому положению.

*Конкурентоспособность государства* в экономической сфере определяется конкурентоспособностью его ведущих организаций, осуществляющих экспорт своей продукции (товаров и услуг). О её состоянии можно судить на основе выборки ведущих экспортоориентированных организаций и определения их показателей конкурентоспособности по вышеприведенным методикам. Выводы о состоянии конкурентоспособности государства могут быть сделаны на основе анализа динамики этих показателей. Ухудшение показателей конкурентоспособности продукции, организаций и в целом государства свидетельствует о появлении опасностей и угроз в сфере внешнеэкономической безопасности и требует срочного принятия соответствующих мер.

#### Список литературы

- 1 **Петров-Рудаковский, А. П.** Экономика промышленной организации : учеб. пособие. В 2 ч. Ч. 2. Функционирование и эффективность / А. П. Петров-Рудаковский, Л. М. Соколова. – Минск : РИВШ, 2018. – 376 с.
- 2 **Головачев, А. С.** Экономика организации (предприятия): учеб. пособие для вузов / А. С. Головачев. – Минск : Вышш. шк., 2015. – 688 с.

УДК 656.078

## УРОВЕНЬ ЦИФРОВОГО РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ СТРАНЫ

*А. А. ХОРОШЕВИЧ*

*Минское отделение Белорусской железной дороги,  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск*

Наблюдаемые в последнее десятилетие процессы информатизации и цифровизации привели к значительным изменениям в функционировании всех сфер экономики страны. За короткий период времени существенно трансформировались используемые управленческие инструменты, а также произошло изменение состава и функций участников рынка. В рамках деятельности все большего количества отечественных компаний начала осуществляться цифровая трансформация – общекорпоративное явление, характеризующееся существенными организационными последствиями и предусматривающее изменение бизнес-модели организации на основе применения цифровых технологий [1, с. 892]. Данный процесс позволил повысить эффективность отдельных бизнес-процессов, а также общих бизнес-моделей организаций за счет придания им большей адаптивности и управляемости.

Одной из сфер, подвергшейся существенной цифровой перестройке, стала транспортная отрасль. В рамках транспортной отрасли с учетом ее специфических особенностей под цифровой трансформацией стоит понимать процесс непрерывной эволюции транспортных организаций, основанный на использовании цифровых технологий и предусматривающий значительные качественные изменения в системе управления перевозочным процессом [2, с. 86]. Высокий интерес к цифровой трансформации со стороны отечественных организаций транспорта был продиктован в первую очередь существенной конкуренцией и широкими возможностями, открываемыми цифровыми технологиями, а также вниманием к данной области со стороны государственных органов и отражением ее основ в государственных программах (Государственная программа «Цифровое развитие Беларуси» на 2021–2025 гг., Стратегия развития цифровых технологий в области транспортной деятельности до 2025 г., Комплексный план развития информатизации и цифровизации транспортно-логистической деятельности на период до 2025 г. и др.).

В результате отмеченной широкой политики цифровой трансформации была произведена перестройка бизнес-процессов ряда транспортных компаний, однако степень такой перестройки в настоящее время четко не определена. В данном контексте для формирования общего понимания эффективности цифровой трансформации была осуществлена оценка цифрового развития транспортных компаний страны.

Первоначально был оценен уровень использования отечественными транспортными организациями различных видов цифровых технологий (технологии RFID, облачные вычисления, большие данные, Интернет вещей, искусственный интеллект). В настоящее время Национальным статистическим комитетом Республики Беларусь раз в два года публикуются данные об использовании информационных и коммуникационных технологий в отечественных организациях в разрезе видов экономической деятельности. В рамках последней публикации в состав показателей была включена численность отечественных компаний, использующих отдельные виды цифровых технологий. Соответствующие данные по виду деятельности «Транспортная деятельность и складирование» показали, что по состоянию на конец 2022 г. Интернет вещей применяется в рамках работы 81 транспортной организации, большие данные – 58 организаций, радиочастотная идентификация – 57 организаций и искусственный интеллект – 7 организаций. Представленные значения в сопоставлении с установленной общей численностью транспортных организаций страны позволили определить, что их развитие в целом характеризуется слабым использованием цифровых инструментов.

В последующем для получения объективных результатов был осуществлен перевод данных показателей в относительные (осуществлен расчет удельного веса транспортных организаций, использующий каждый конкурентный вид цифровых технологий, в их общей численности) и их сравнение с уровнем показателей, сложившихся в рамках схожих по размеру экономик европейских стран – Австрии, Бельгии, Чехии, Дании, Венгрии, Литвы, Нидерландов, Польши, Словакии (таблица 1) [3, 4].

Таблица 1 – Уровень цифрового развития транспортных организаций Беларуси

В процентах

Страна	Доля предприятий, использующих				
	технологии RFID	облачные вычисления	большие данные	Интернет вещей	искусственный интеллект
Беларусь	0,5	49,4	0,5	0,8	0,1
Австрия	18,3	33,9	4,8	58,9	7,0
Бельгия	26,3	17,2	27,8	30,3	5,7
Чехия	7,1	41,3	14,8	36,5	3,3
Дания	7,0	56,8	21,8	26,9	21,3
Венгрия	10,3	21,6	12,4	27,9	3,3
Литва	10,1	30,8	13,4	35,9	3,8
Нидерланды	29,9	58,1	29,7	21,9	11,5
Польша	8,9	23,8	11,6	35,7	1,8
Словакия	13,3	26,8	5,6	32,5	6,2

Как видно, определение удельного веса организаций, использующих цифровые инструменты, в общем количестве функционирующих транспортных компаний привело к получению весьма низких результатов, не сравнимых ни с одной схожей по размеру экономики европейской страной. Доля отечественных предприятий, использующих технологии RFID, составила 0,5 %, в то время как в рамках рассматриваемых европейских стран наименьшая величина данного показателя установлена на уровне 7,0 % в Дании. Доля отечественных предприятий, использующих большие данные, также равнялась 0,5 % при минимальном уровне для европейских стран в 4,8 %.

Несколько более высоким значением характеризовался показатель «Доля предприятий, использующих Интернет вещей», установленный для транспортной отрасли страны на уровне 0,8 %. При этом оценка данного показателя для схожих по размеру экономик европейских стран привела к получению значений в размере от 21,9 до 58,9 %, что однозначно свидетельствует о более слабой позиции Республики Беларусь. Наименьшее значение установлено для показателя «Доля предприятий, использующих технологии искусственного интеллекта» – всего 0,1 % при среднем значении, установленном для схожих европейских стран в пределах от 1,8 до 21,3 %.

Высокие результаты были установлены лишь для облачных технологий, использование которых в стране наблюдается у 49,4 % транспортных организаций, что превышает уровень их применения в

транспортных отраслях практически всех сравниваемых стран. Исключение составили лишь Дания и Нидерланды, в рамках которых использование отмеченной технологии наблюдается у 56,8 % и 58,1 % транспортных компаний соответственно.

В целом представленный анализ позволяет сделать вывод о слабом цифровом развитии отечественных транспортных организаций. Дополнительно стоит отметить менее широкое использование отечественными транспортными компаниями цифрового инструментария в сравнении со схожими по размеру экономик европейскими странами, что в совокупности говорит о наличии широких возможностей для последующего развития отечественного транспорта в границах осуществления его цифровой трансформации и получения сопутствующих эффектов.

#### Список литературы

1 Digital transformation: A multidisciplinary reflection and research agenda / P. C. Verhoef [et al.] // Journal of Business Research. – 2021. – № 122. – P. 889–901.

2 **Хорошевич, А. А.** Алгоритм цифровой трансформации цепей поставок на железнодорожном транспорте / А. А. Хорошевич // Вестник Полоцкого государственного университета. Сер. Д, Экономические и юридические науки. – 2022. – № 12 (62). – С. 85–89.

3 Информационное общество в Республике Беларусь (2023): статистический сборник / Национальный статистический комитет Республики Беларусь ; под ред. И. В. Медведевой. – Минск, 2023. – 66 с.

4 Digital economy and society [Электронный ресурс] // EuroStat. – Режим доступа : [https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/explore/all/science?lang=en&subtheme=isoc.isoc\\_e&display=list&sort=category&extractionId=ISOC\\_CI\\_RAN2\\_custom\\_5190946](https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/explore/all/science?lang=en&subtheme=isoc.isoc_e&display=list&sort=category&extractionId=ISOC_CI_RAN2_custom_5190946). – Дата доступа : 27.08.2023.

УДК 658.7:005.932

## УМНАЯ ЛОГИСТИКА: ЦИФРОВОЕ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЛОГИСТИКОЙ МЕНЯЕТ ТРАДИЦИОННУЮ МОДЕЛЬ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

*СЮЙ ЧЖАО*

*Белорусский государственный экономический университет, г. Минск*

В эпоху цифровых технологий логистическая отрасль постоянно развивается, меняясь и внедряя инновации. В качестве новой модели обслуживания интеллектуальная логистика постепенно стала важной отправной точкой для логистической отрасли, позволяющей ускорить корректировку промышленной структуры, улучшить качество и эффективность обслуживания, а также преобразовать старые и новые движущие силы.

Умная логистика – это новая модель логистики, которая использует такие технические средства, как Интернет вещей, облачные вычисления и большие данные, для комплексной оптимизации логистической системы и реализации информатизации логистики, оцифровки и интеллекта. Целью интеллектуальной логистики является повышение эффективности логистики и снижение затрат на логистику при одновременном повышении качества логистических услуг для удовлетворения индивидуальных потребностей клиентов.

Характеристики умной логистики:

#### 1 Визуализация

По сравнению с традиционной логистикой, интеллектуальная логистика обладает более мощными возможностями отслеживания информации. Именно благодаря технологии Интернета вещей, которую компания использует, весь логистический процесс можно контролировать и отслеживать в режиме реального времени. Это не только облегчает потребителям и торговцам получение логистической информации в режиме реального времени, но также значительно повышает безопасность продуктов питания и лекарств во время логистического процесса.

#### 2 Интеллектуализация

В интеллектуальной логистике использование интеллектуальных устройств Интернета вещей заменило большое количество рабочей силы, используемой в традиционной логистике. Например, облачные теги ZETag и вспомогательные решения компании Zongxing Technology используют технологию цифрового интеллекта для анализа и оптимизации логистической системы, тем самым повышая уровень интеллекта в логистике. Например, в сценариях, когда логистика находится в пути и

на складе, можно повысить эффективность управления логистикой и снизить эксплуатационные расходы. Это помогает логистическим компаниям лучше проводить анализ управления и принятия решений.

### 3 Тенденция к облачным терминалам

В последние годы, с развитием интеллектуальной логистики и применением новых информационных технологий, таких как большие данные и облачные вычисления, интеллектуальная логистика продемонстрировала облачные характеристики. Используя технические средства, такие как Интернет вещей и облачные вычисления, логистические компании могут загружать данные о состоянии товаров во время транспортировки на системную платформу или в другие облачные центры обработки данных в режиме реального времени для мониторинга и анализа. В будущем развитии интеллектуальной логистики облачные функции будут становиться все более заметными.

### Цифровизация ускоряет полет китайских посылок по всему миру

Объединение транспортной инфраструктуры в рамках инициативы «Один пояс, один путь» сделало логистические перевозки между странами более удобными. В последние годы быстро развивается трансграничная электронная коммерция, позволяющая людям покупать товары со всего мира, не выходя из дома. Благодаря расширению цифровых возможностей и созданию интеллектуальной системы цепочки поставок зарубежные потребители, находящиеся за тысячи миль от них, смогут получать китайские посылки быстрее, не тратя дополнительных средств на доставку.

В Китае, в городе Ханчжоу, провинция Чжэцзян, склад площадью более 20 000 квадратных метров заполнен мелкими товарами, которые собираются отправить на зарубежные рынки, а сортировочные машины работают на высокой скорости днем и ночью. В настоящее время это крупнейший трансграничный консолидационный склад в Восточном Китае. В эти дни он догоняет рекламный сезон основных платформ электронной коммерции. В среднем он обрабатывает до 1 миллиона трансграничных посылок каждый день, которые могут быть отправлены в более чем дюжину стран и регионов по всему миру.

Объединение небольших посылок, купленных одним и тем же покупателем в разных городах, в одну большую посылку и их совместную отправку в отрасли называется «умными комбинированными заказами».

Посылки доставляют после «умной консолидации заказов» со складских центров по всей стране. После машинной сортировки они складываются в разных отсеках. При поступлении других объединенных заказов их можно упаковать в одну большую посылку. Если стоимость товара достигает определенного стандарта, его можно повысить с оригинальной наземной почты до воздушной экспресс-доставки. Потребителям не нужно доплачивать за доставку, и они могут получить свои посылки быстрее. В настоящее время этот бизнес охватывает более 50 стран и регионов по всему миру.

«Интеллектуальная консолидация заказов» не только позволяет быстрее доставлять трансграничные посылки. Она также может анализировать, какие товары следует подготовить и как повысить эффективность.

Благодаря интеллектуальной системе управления цепочками поставок некоторые международные экспресс-доставки теперь достигли «цифровой прозрачности». Товары доставляются с внутренних складов потребителям. Не только потребители могут проверять в любое время, но и продавцы также могут проверять ход логистики через серверную часть в реальном времени.

С января по июль 2023 года почтовая отрасль Китая выполнила в общей сложности 87,37 млрд почтовых отправлений, что на 12,8 % больше, чем в прошлом году. Среди них объем экспресс-доставки составил 70,3 млрд штук, что на 15,5 % больше, чем в прошлом году. Объем экспресс-доставки в международном Гонконгском аэропорту, Макао и Тайване составил в общей сложности 1,61 млрд штук, что на 57,2 % больше, чем в прошлом году.

### Список литературы

1 Умная логистика: цифровое и интеллектуальное управление логистикой меняет традиционную модель логистической деятельности [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [https://it.sohu.com/a/710611088\\_121260225](https://it.sohu.com/a/710611088_121260225). – Дата доступа : 10.08.2023.

2 Цифровизация ускоряет полет китайских посылок по всему миру [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [https://m.gmw.cn/2023-09/06/content\\_1303506718.htm](https://m.gmw.cn/2023-09/06/content_1303506718.htm). – Дата доступа : 06.09.2023.

## ТЕХНИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАЗВИТИЯ КОНТЕЙНЕРНОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

*В. Д. ЧИЖОНОК*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Перевозки грузов в контейнерах обладают рядом преимуществ:

- контроль перемещения продукции на основе компьютеризации учета товаров, в том числе на этапе их переработки;
- универсализация размеров контейнеров, что позволяет перевозить товар транспортными средствами разных стран;
- осуществление транспортировки товаров без дополнительной тары;
- ускорение перегрузочных операций с одного вида транспорта на другой;
- груз, размещенный в контейнерах, находится под надежной защитой, что уменьшает потребности в складах;
- сокращение транспортных затрат;
- обеспечение сохранности продукции во время перевозки, контейнеры надежные и прочные;
- сокращение времени на подготовку сопроводительной документации;
- применение специальных механизмов, предназначенных для облегчения процедур погрузки и выгрузки.

Основным недостатком организации контейнерных перевозок в республике является ориентация на перевозку грузов в универсальных контейнерах и неиспользование для расширения сферы контейнерных перевозок специализированных контейнеров. Для стимулирования контейнерных перевозок грузов в республике и на этой основе ускорения доставки материалов, сырья и товаров потребителям с использованием мультимодальных технологий и наиболее эффективных видов транспорта необходимо решить следующие задачи:

- выполнить прогноз объема контейнерных перевозок на перспективу;
- обосновать мероприятия по совершенствованию технологии контейнерных перевозок;
- рассчитать потребность в техническом обеспечении контейнерных перевозок грузов;
- определить объем и источники инвестиций для обеспечения развития контейнерных перевозок грузов;
- оценить ожидаемые показатели эффективности развития контейнерных перевозок грузов.

Решение данных задач должно быть направлено на формирование целостной взаимообусловленной системы контейнерных перевозок грузов в республике. В этих целях необходимо выполнить прогноз объемов перевозок грузов в контейнерах ( $P_{год}$ ). Особенно актуальна эта задача для Белорусской железной дороги, поскольку в настоящее время дорогой утрачен такой сегмент рынка транспортных услуг, как перевозка грузов мелкими отпавками и партиями до 20 тонн. Однако имеющийся потенциал контейнерных перевозок грузов рекомендуется использовать поэтапно по мере обеспечения технических и технологических предпосылок. На первом этапе целесообразно организовать внутриреспубликанские перевозки нефтепродуктов с нефтеперерабатывающих заводов в специализированных танк-контейнерах. Актуальность решения данной задачи обуславливается тем, что на Осиповичском вагоностроительном заводе создаются мощности по выпуску танк-контейнеров. В танк-контейнерах предположительно можно будет перевозить около 6 млн т нефтепродуктов, что составляет около 13 % от общего объема внутриреспубликанских перевозок грузов. На последующих этапах предлагается реализовать мероприятия по организации перевозок цемента, хлебных грузов, комбикормов, строительных и прочих грузов в контейнерах.

Следующим этапом является определение потребности в технических средствах контейнерных перевозок грузов, которая зависит:

- от объема перевозок грузов определенной номенклатуры;
- принятой технологии доставки грузов потребителям;
- показателей использования контейнеров и других транспортных средств (железнодорожных платформ, контейнеровозов);
- производительности средств механизации погрузочно-разгрузочных работ.

Потребность в техническом обеспечении контейнерных перевозок определяется в несколько этапов:

а) рассчитывается ежедневный объем перевозок,  $t$ , по формуле

$$P_{\text{сут}} = \frac{P_{\text{год}}}{365},$$

где  $P_{\text{год}}$  – годовой объем перевозок грузов соответствующей категории;

б) определяется количество специализированных контейнеров, которые ежедневно необходимо загружать и отправлять с погрузочных пунктов

$$n_k = \frac{P_{\text{сут}}}{q\gamma},$$

где  $q$  – грузоподъемность одного специализированного контейнера;  $\gamma$  – коэффициент использования грузоподъемности специализированного контейнера;

в) суммарное потребное количество специализированных контейнеров и транспортных средств зависит от времени их оборота на маршруте  $\Theta$  и рассчитывается по формуле

$$\sum N_k = n_k \Theta.$$

Для удовлетворения потребностей в технических средствах контейнерных перевозок рекомендуется:

– наладить выпуск на Минском автомобильном заводе самопогружающихся и саморазгружающихся полуприцепов – контейнеровозов;

– расширить спектр выпускаемых контейнеров на Осиповичском вагоностроительном заводе за счет производства контейнеров-цементовозов, рефрижераторных контейнеров, контейнеров-минероловозов и контейнеров-дозаторов, универсальных контейнеров с боковыми дверными проемами, контейнеров для перевозки опасных грузов;

– выполнить технико-экономические обоснования и создать мощности по производству в республике фитинговых платформ, в том числе двухосных, а также средств механизации погрузочно-разгрузочных работ с контейнерами.

При решении задач технического обеспечения контейнерных перевозок грузов требуется использовать принцип системного подхода и концентрации капитальных вложений на отдельных железнодорожных направлениях при поэтапной их модернизации. Модернизация железнодорожных направлений для организации контейнерных перевозок грузов является одним из капиталоемких этапов. Для снижения инвестиций необходимо провести обследование существующих возможностей вышеуказанных направлений и определить необходимые капиталовложения в реконструкцию путевого развития, создание контейнерных терминалов, а также определить имеющиеся в настоящее время возможности по пропуску ускоренных контейнерных поездов. В дальнейшем после проведения модернизации железнодорожных направлений дополнительные инвестиции потребуются лишь для приобретения транспортных средств и погрузочно-разгрузочной техники.

Эффективность развития внутриреспубликанских контейнерных перевозок грузов заключается:

– в высвобождении подвижного состава, используемого в настоящее время для перевозок грузов внутри республики, и переключения его на перевозку внешнеторговых грузов;

– сокращении объема перегрузочных операций с грузами по всей логистической цепочке их доставки;

– уменьшении длительности маневровых операций при подаче вагонов в пункты выгрузки и уборке их после проведения соответствующих операций;

– сокращении потребности в складских помещениях, так как контейнер можно использовать для временного хранения грузов;

– ускорении доставки грузов потребителям за счет сокращения длительности перегрузочных операций и маневровой работы с вагонами.

Планирование капитальных вложений в развитие контейнерных перевозок на перспективу целесообразно выполнить при разработке соответствующей Государственной программы.

#### Список литературы

1 Чижонюк, В. Д. Теоретические основы и практические приложения логистики / В. Д. Чижонюк. – М. : Новое знание, 2015. – 320 с.

**БУХГАЛТЕРСКИЙ УЧЕТ В СИСТЕМЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ***С. Л. ШАТРОВ**Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель**А. В. ДАНИЛЕНКО, Н. С. ФЕДИВА**Белорусская железная дорога, г. Минск*

С усилением процесса глобализации роль экономической безопасности для развития общества значительно возросла. В настоящее время экономическая безопасность выступает одним из наиболее приоритетных функциональных направлений безопасности, так как напрямую связана с возможностью предотвращения угроз и рисков устойчивого финансирования деятельности компаний, отраслей и государства в целом.

С целью формирования эффективной информационной системы для обеспечения механизма управления устойчивым развитием субъектами хозяйствования осуществляется бухгалтерский учет, контроль и планирование, анализ и оценка экономической эффективности принимаемых решений и хозяйственной деятельности организации.

Бухгалтерский учет за счет формирования своевременной, объективной и верифицированной информации является базисной системой обеспечения экономической безопасности, так как исключает риск прямых хищений и злоупотреблений в превентивном, текущем и последующих режимах. Таким образом, он содействует предотвращению угроз, снижающих экономическую состоятельность субъектов хозяйствования. Поэтому при рассмотрении множественных угроз, возникающих перед экономической безопасностью компании, стратегически сформированная система управления обязана предсказать более опасные из них и создать систему мер, с помощью которой возможно предупредить или минимизировать их воздействие. Важную роль в этом играет информация, формируемая системой бухгалтерского учета компании. Объективность и полезность информации обуславливается принципами и способами организации и построения системы бухгалтерского учета в практической деятельности субъектов хозяйствования. При этом каждый элемент системы следует рассматривать в отдельности.

Первый элемент бухгалтерского учета «документация» является базовой технологией, определяющей возможность фиксации данных о совершенных хозяйственных операциях, наличии юридически значимых документов, материальной ответственности сотрудников и т. д. Для обеспечения экономической безопасности такой метод бухгалтерского учета, как документация, способствует верификации информации, а принципиальным требованием бухгалтерского учета является оформление фактов хозяйственной жизни в момент и в месте их совершения.

Второй элемент – инвентаризация, формирует информационный массив о наличии и состоянии активов, величине капитала и реальности обязательств организации, способствуя сохранности имущества и достоверности данных о доходах и расходах, что вносит весомый вклад в обеспечение экономической безопасности по всем уровням управления. Как правило, по результатам инвентаризации осуществляется корректировка остатков имущества и обязательств, а также возмещение недостач при установлении виновных лиц.

С точки зрения экономической безопасности результаты инвентаризации должны интерпретироваться с более серьезной детализацией причин. При этом внимание уделяется как недостаткам, так и излишкам. Проводится анализ частоты их возникновения, размеров, видов материальных ценностей и т. д. Целью анализа является не только выявление причин, виновных лиц и их наказание, а также и предотвращение инвентаризационных разниц в дальнейшем.

В настоящее время оценка, будучи третьим исторически сложившимся элементом метода бухгалтерского учета, приобретает более широкое значение в обеспечении экономической безопасности компании. Это касается оценки стоимости активов, капитала и обязательств на любой стадии: от поступления и хранения до выбытия. Объективность применяемых методов оценки оказывает непосредственное влияние на уровень капитала и результаты деятельности, но наиболее важно то, что ложная интерпретация информации, сформированной с учетом заложенного в систему бухгалтерского учета подхода, может побудить руководство принять неверное решение, которое отрицательно скажется на уровне экономической безопасности компании.

Безусловно, с началом процесса конвергенции отечественного бухгалтерского учета с международными стандартами наметилась тенденция к повышению объективности формируемых учетной системой данных, однако остается ряд дискуссионных вопросов, связанных как с пониманием сути международных стандартов, так и их применением в условиях белорусского законодательства: что считать «справедливой стоимостью» и какова технология ее использования в хозяйственной деятельности, как доподлинно идентифицировать и оценивать поступающие основные средства и формирующиеся запасы, как формировать оценочные резервы и реальную величину обязательств с течением времени и т. д.?

Применяемые в настоящее время разнообразные варианты оценки активов и обязательств в учете позволяют одни и те же факты хозяйственной жизни отражать в разной величине. От выбранных методов и способов учета зависят доходы и расходы организации, отражаемые в отчетном периоде, показатели бухгалтерской отчетности, следовательно, и рассчитываемые на основе отчетности показатели, интерпретация которых является основой для расчета показателей экономической безопасности.

Четвертый элемент метода – калькуляция – не менее значим для системы экономической безопасности, так как ее результаты могут ввести в заблуждение руководство компании при ценообразовании и привести к потере конкурентоспособных преимуществ на рынке. Причиной может стать как ошибочное отнесение той или иной статьи затрат к объекту калькулирования, так и необоснованный выбор базы распределения косвенных затрат.

Не менее важны пятый и шестой элементы метода бухгалтерского учета, отвечающие за группировку и регистрацию информации: счета бухгалтерского учета и двойная запись. Они являются основным инструментом шифрования информации, формируемой бухгалтерским учетом, а также способом проверки ее достоверного отражения.

Бухгалтерский баланс и отчетность – седьмой и восьмой элементы метода, отвечающие за обобщение информации, со временем развития науки о бухгалтерском учете видоизменились по внешности, содержанию и цели формирования. В настоящее время именно эта информация используется для оценки уровня экономической безопасности компании, что несет в себе определенные риски. Бухгалтерские риски в той или иной мере присутствуют в финансово-хозяйственной деятельности любого экономического субъекта: риск искажения информации в первичных документах; риск несоблюдения или неверного толкования норм бухгалтерского и налогового законодательства; риск профессионального суждения и профессиональной подготовки бухгалтера. Это обуславливает необходимость научно обоснованного подхода к формированию системы бухгалтерского учета, ее методологического обеспечения и защиты данных, формируемых ею в интересах обеспечения экономической безопасности субъектов хозяйствования, отраслей и государства в целом.

#### Список литературы

- 1 Шатров, С. Л. Теория и методология информационно-аналитического обеспечения системы управления внешнеэкономической деятельностью на железнодорожном транспорте: [монография] / С. Л. Шатров. – Гомель : БелГУТ, 2018. – 232 с.
- 2 Шатров, С. Л. Функциональные составляющие экономической безопасности железнодорожного транспорта / С. Л. Шатров, А. В. Даниленко, В. Л. Жигалов // Проблемы безопасности на транспорте : материалы XI Междунар. науч.-практ. конф.: в 2 ч. Ч. 2; под общ. ред. Ю. И. Кулаженко. – Гомель : БелГУТ, 2021. – С. 256–258.
- 3 Шатров, С. Л. Экономическая безопасность транспортной системы: сущность и идентификация угроз / С. Л. Шатров, А. С. Писарева // Устойчивое развитие экономики: международные и национальные аспекты : сб. ст. V Междунар. науч.-практ. конф. – Новополоцк : ПГУ им. Евфросинии Полоцкой, 2022. – С. 455–460.

УДК 005.92:004.9

## МИРОВЫЕ И ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ ТРЕНДЫ В УПРАВЛЕНИИ ДОКУМЕНТАМИ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВИЗЦИИ

*В. В. ШИБОЛОВИЧ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Системы электронного документооборота (СЭД) в настоящее время применяются в ИТ инфраструктуре практически любой компании. В большинстве организаций СЭД уже внедрена, либо



планируется ее внедрение в ближайшем будущем. СЭД на сегодня имеют возможности решения широкого спектра управленческих задач, интеграции с учетными системами, позволяют управлять почти всеми процессами жизнедеятельности предприятия. Все хозяйственные операции сопровождаются отражением их в учетной системе в виде электронных документов, накопленная информация по процессам интегрируется в СЭД в показатели верхнего уровня, необходимые для принятия управленческих решений руководителями.

СЭД динамично развиваются и на сегодняшний день под влиянием современной ситуации в бизнесе можно выделить ряд мировых трендов управления документами в электронном виде.

1 Технология блокчейн как цифровой реестр, в котором возможно хранить любой тип данных и в который невозможно внести несанкционированные изменения, позволяет безопасно хранить документы, обмениваться ими без участия третьей стороны, подтверждающей их подлинность. Поэтому широкое внедрение технологии блокчейн является инструментом обеспечения безопасности данных.

2 Технология облачных хранилищ как перспективное направление развития систем электронного документооборота позволяет менять привычный подход к традиционным способам хранения документов и обеспечения доступа к ним. Сотрудники компаний положительно оценят все преимущества перехода в облако, получив неограниченный доступ к документам в любой момент с любого устройства вне зависимости от подключения к корпоративной сети.

3 Автоматическая классификация документов с помощью технологий машинного обучения и искусственного интеллекта позволяет исключить человеческий фактор и избавить от длительного рутинного цикла работ по определению типа и класса документов сотрудниками компании.

4 Искусственный интеллект на сегодняшний день все активнее вытесняет традиционные методы организации документооборота, основанные на управлении контентом вручную. Например, инструменты для оптического распознавания и некоторые интеллектуальные системы обработки документов позволяют повысить точность распознавания, эффективно работать с неструктурированным контентом, автоматизировать классификацию документов и др.

5 Зачастую компании используют в своей деятельности несколько систем для управления контентом и хранения документов. Федеративный поиск позволяет находить данные в разных системах и собирать их в одном месте независимо от первоначального месторасположения.

6 Расширение и переход на применение BPM-систем в своей деятельности логично продиктованы внешними вызовами и угрозами в период пандемии, а также продиктованы необходимостью быть гибкими и эффективными в цифровую эру.

7 Инструменты RPA позволяют автоматизировать рутинные ручные операции и осуществлять их эффективнее.

8 Эффективные инструменты совместной работы сотрудников необходимы для обеспечения непрерывности бизнес-процессов и оптимизации документооборота в условиях расширения возможностей удаленной работы и неограниченного доступа к документам.

9 Для обеспечения современной производственной деятельности и эффективной организации бизнес-процессов требуется использование целого ряда систем. Поэтому для успешного взаимодействия разного программного обеспечения без участия человека необходимо привлекать широкий спектр интеграционных решений.

10 Если данные хранятся в компании изолированно и не передаются сотрудникам других департаментов, то это ведет к дублированию задач и снижает эффективность бизнес-процессов. Децентрализованная структура хранилищ документов приводит к снижению эффективности и информационному хаосу. В данном случае на помощь приходит искусственный интеллект, который собирает информацию из разных источников и представляет в удобном формате.

Перечисленные мировые тренды, конечно, в отечественных условиях функционирования и в ситуациях экономических, политических и эпидемиологических вызовов имеют место быть, но большая часть из них относится скорее к базовым требованиям, предъявляемым к корпоративным информационным системам по управлению процессами и документооборотом.

Например, автоматическая классификация документов – это процесс, который идет уже в стандартном режиме при помощи инструментов искусственного интеллекта, которые позволяют классифицировать не только структурированный или неструктурированный цифровой документ, но и бумажные документы. Поэтому такой процесс можно отнести не к трендам, а к базовому требованию, предъявляемому к корпоративным информационным системам.

Если говорить о федеративном поиске, то на сегодняшний день ряд компаний предлагает продукты, которые помогают искать информацию сразу по всем системам, используемым в компании. Поэтому настройка «умного поиска» – это тоже одна из возможных задач, а не тренд.

Технология использования облаков в отечественной практике скорее антитренд. Средний и крупный бизнес использует программные продукты по модели SaaS, но только для некоторых ситуаций. Их основные корпоративные информационные системы в основном располагаются на серверах самого клиента. Крупный бизнес, с учетом потребности в импортозамещении, рисков кибератак и угроз информационной безопасности, делает выбор не в пользу облаков.

Вопрос хранения данных внутри информационной системы у отечественного бизнеса стоит очень остро в связи с быстрым ростом числа электронных документов. Первоочередной задачей является построение системы четкого управления оперативными и долговременными архивами бумажных и электронных документов. В то же время вопросы информационной безопасности на особом контроле и доступ к данным регулируется через назначение прав так, чтобы просматривать документ могли только определенные сотрудники.

Если говорить о тенденциях, характерных для отечественного рынка управления документами, то можно выделить пять ключевых позиций:

- 1 Распространение искусственного интеллекта (даже в коробочных решениях СЭД и ЕСМ).
- 2 Импортонезависимость.
- 3 Переход на новые виды электронных документов, в т. ч. кадровые документы, внутренние первичные документы и т. д.
- 4 Расширение охвата цифрового взаимодействия (путем подключения сотрудников разных категорий к электронному обмену данными с помощью мобильных устройств или инфокиосков).
- 5 Развитие Low-code/no-code функциональности корпоративных информационных систем для создания настраиваемых решений и пользовательских интерфейсов, в которых легко выстроить логику бизнес-процессов под конкретные задачи каждой компании. Сложная логика остается за программистом, а настройка – за аналитиком. Такой подход позволяет быстро начать работу с системой при минимальной начальной адаптации, так как базовую настройку аналитик или ведущий пользователь производит самостоятельно, и для этого ему не нужно владеть навыками программирования.

#### Список литературы

- 1 **Бобылева, М. П.** Управленческий документооборот: от бумажного к электронному. Вопросы теории и практики / М. П. Бобылева. – М. : ТЕРМИКА, 2019. – 232 с.

УДК 007.52

## БЕСПИЛОТНЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СРЕДСТВА И ИХ ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ

*О. Н. ШЕСТАК, В. А. ПРОХОРОВ,*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В современном мире, учитывая стремительное развитие технологий, беспилотные транспортные средства стали одним из наиболее обсуждаемых и, возможно, наиболее перспективных направлений в области транспорта и логистики. Автономные транспортные средства, способные передвигаться без вмешательства человека, могут изменить транспортную инфраструктуру, оказать существенное влияние на различные сферы жизни общества и повысить конкурентоспособность на рынке товаров и услуг.

По сравнению с управляемыми человеком транспортными средствами автономные транспортные средства обладают более высокой скоростью реагирования на изменения дорожной ситуации и не подвержены влиянию человеческого фактора: усталости, психического здоровья и т. д.

Беспилотные технологии – относительно новое направление совершенствования транспорта, которое предполагает автоматическое или дистанционное управление движением транспортных средств и другими процессами, что предполагает сведение к минимуму участие человека при одновременном повышении производительности транспортных систем.

На данный момент в мире существуют мнения и разработки, разрушающие сложившееся представление о том, что создание полноценного автомобиля-робота (любого другого транспортного средства) теоретически невозможно, поскольку эта задача возможна только с помощью совершенного искусственного интеллекта, то есть она может быть решена только в том случае, если робот обладает человеческим интеллектом во всей его полноте. Когда интеллект робота уступает человеческому, всегда может возникнуть ситуация, в которой он окажется бессильным. Данная точка зрения могла бы быть правдива, если бы не была известна реальная ситуация на дорогах. Нет сомнений в том, что если бы настоящие водители были так же дисциплинированы, как роботы, не употребляли алкоголь или наркотики, а неизбежные аварии были бы просто результатом нестандартных ситуаций, с которыми роботы не могли бы справиться, то жертв на дорогах было бы на порядок меньше.

Гипотеза о том, что беспилотные транспортные средства являются следующим этапом развития транспорта, началась с ручного управления, изобретения колеса и пришла к выводу, что на данный момент желаемым результатом является исключение человека из этой схемы.

Поскольку любой вопрос имеет свои преимущества и недостатки, то и рассматриваемой теме свойственны такие этапы изучения, которые описаны в нижеследующей таблице.

*Таблица – Преимущества и недостатки в эксплуатации беспилотных транспортных средств*

Преимущества	Недостатки
<ul style="list-style-type: none"> <li>Повышение безопасности посредством устранения человеческого фактора.</li> <li>Снижение затрат на топливо и обслуживание, сокращение издержек и ущерба.</li> <li>Увеличение мобильности.</li> <li>Экономия времени.</li> <li>Эффективность и производительность перевозок.</li> <li>Экологическое влияние на человека и окружающую среду.</li> <li>Расширение доступности транспорта.</li> <li>Возможность перевозки грузов в опасных зонах, во время катастроф или военных действий.</li> <li>Появление новых специальностей.</li> <li>Широкая сфера применения.</li> <li>Снижение транспортных заторов.</li> <li>Развитие сектора науки</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Высокая стоимость производства.</li> <li>Отсутствие необходимой инфраструктуры.</li> <li>Ограниченность в производстве из-за нестабильной инвестиционной среды.</li> <li>Угроза информационной безопасности.</li> <li>Ограниченная применимость в сложных погодных условиях.</li> <li>Отсутствие юридической регламентации.</li> <li>Потеря огромного количества рабочих мест.</li> <li>Неполная автономность.</li> <li>Отсутствие квалифицированных специалистов.</li> <li>Социокультурные аспекты.</li> <li>Ограниченное взаимодействие с другими участниками движения.</li> <li>Возможное увеличение транспортного потока.</li> <li>Отсутствие опыта вождения в критических ситуациях</li> </ul>

Таким образом, при изучении данных, приведенных в таблице, возникает вполне логичный вопрос: чем же грозит мир беспилотного транспорта (в контексте автомобильного беспилотного транспорта как пассажирского, так и грузового)?

Новая дорожная эстетика, предусматривающая отказ от водителей, требует изменений не только в правовой базе, но и в городской инфраструктуре, и в сознании людей.

Очевидно, что не каждый может легко смириться с тем, что машины едут сами, могут решить, по какому маршруту лучше ехать домой, стоит ли обгонять впереди идущую машину и как-то выпутываться из опасной ситуации. Итак, что произойдет, когда водители остаются невостребованными?

Во-первых, переход на беспилотные автомобили окажет положительное влияние на окружающую среду, поскольку они будут работать на электричестве и не будут выделять вредные газы в атмосферу. Учитывая, какой процент выбросов приходится на автомобили, это большой плюс.

Во-вторых, считается, что с появлением беспилотников на дорогах станет безопаснее. Сейчас безопасность дорожного движения остается одной из самых больших проблем.

Есть еще одна проблема, с которой столкнется мир будущего – переход на беспилотный транспорт грозит сокращением занятости на транспортном рынке. Поскольку беспилотный транспорт не требует участия водителей, то важным является тот факт, что миллионы людей останутся безработными, например, дальнбойщики, таксисты и водители общественного транспорта. Кроме того, существует вероятность того, что люди в принципе откажутся от личных автомобилей и перейдут на услуги проката, что неблагоприятно скажется на экономических показателях автопромышленной отрасли.

Однако стоит отметить, что новая реальность может открыть новые возможности для людей, которые ранее были не в состоянии водить автомобиль. Это относится, например, к инвалидам.

Фактически, в этой новой реальности человек с ограниченными способностями не сможет стать водителем, но в этом не будет необходимости, поскольку ему не нужно самому управлять автомобилем: он сделает все за него сам.

Считается, что беспилотные автомобили умнее многих водителей. Используя данные о пробках, авариях и общем дорожном движении, они могут проложить оптимальный маршрут. Это сокращает время в пути.

Что касается человеческого фактора, есть вероятность, что снизится уровень стресса, т. к. не нужно садиться за руль и беспокоиться о том, как перестроиться, удачно припарковаться или не превысить скорость: все это решается с помощью интеллектуальной системы автомобиля. Но необходимо подчеркнуть, что для этого люди должны научиться доверять ей, иначе уровень стресса, наоборот, значительно возрастет.

Распространение технологий приведет к массовому наблюдению. В настоящее время на большинстве сервисов легко найти тысячи видеороликов с различными авариями или похожими ситуациями. Такое количество записей обусловлено популярностью видеорегистраторов, которые помогают людям защитить свои права в случае дорожно-транспортных происшествий, другими словами, большая часть ранее незамеченного хаоса на дорогах становится достоянием общественности.

С одной стороны, огромный объем собранных данных может значительно повысить общественную безопасность. Автомобили с автономным управлением могут обнаруживать препятствия, аварии и потенциальные угрозы и информировать необходимые службы, а программное обеспечение, в свою очередь, вычислять преступления в режиме реального времени с помощью специальных алгоритмов и сообщать о них властям.

С другой стороны, постоянное наблюдение приближает человечество к тоталитарному контролю. Например, подключенные к Интернету беспилотные автомобили могут регулярно отслеживать координаты пассажиров, а технология распознавания лиц позволяет сети таких транспортных средств обнаруживать и контролировать пешеходов, и в результате в мире возникнет целый ряд споров о конфиденциальности и безопасности.

К сожалению, скорость внедрения беспилотного транспорта в общественную жизнь в настоящее время остается низкой, хотя и компании, и правительство заинтересованы во внедрении беспилотного транспорта, но следует помнить, что беспилотный транспорт – это технологический прорыв, который революционизирует транспортную отрасль и имеет значительный потенциал для улучшения повседневной жизни.

В логистике использование этого вида транспорта может принести экономическую выгоду за счет увеличения грузопотока, но затраты на приобретение и обслуживание будут выше. Поэтому при разработке и реализации проектов беспилотных перевозок в логистике необходимо сравнивать затраты с потенциальными выгодами и оценивать готовность общества принять беспилотный транспорт в качестве альтернативы существующим видам транспорта.

Кроме того, вопросы безопасности, правовое регулирование и вопросы технической надежности остаются немаловажными. Исследования и разработки должны продолжаться, чтобы преодолеть эти барьеры и обеспечить безопасное и надежное внедрение беспилотных транспортных средств.

В целом беспилотный транспорт является важной областью транспортной инфраструктуры, и его успешное внедрение может принести огромные выгоды, сделав транспортные системы более безопасными, эффективными и экологически чистыми.

#### Список литературы

- 1 Беспилотный транспорт будущего / О. Б. Тимошенко [и др.] // Молодой ученый. – 2019. – № 8.2. – С. 44–46.
- 2 **Капский, Д. В.** Перспективы развития автономных (беспилотных) дорожных транспортных средств / Д. В. Капский, А. Д. Лукьянчук // Автомобиле- и тракторостроение : материалы Междунар. науч.-практ. конф. / Белорусский национальный технический университет ; редкол.: отв. ред. Д. В. Капский и [и др.]. – Минск : БНТУ, 2019. – Т. 2. – С. 145–152.
- 3 **Зелова, М. И.** Беспилотные технологии на транспорте. Перспективы развития [Электронный ресурс] / М. И. Зелова, А. В. Комаров // Молодая наука Сибири: – 2021. – № 2 (12). – Режим доступа : <https://mnv.igups.ru>. – Дата доступа : 12.09.2023.
- 4 **Джафаров, Э. И.** Возможные перспективы развития беспилотных транспортных средств и их оценка / Э. И. Джафаров, С. Д. Птицын, А. В. Хромова // Вектор экономики. – 2019. – № 1. – Режим доступа : [www.vectoreconomy.ru](http://www.vectoreconomy.ru). – Дата доступа : 12.09.2023.
- 5 **Андреев, Н. А.** Перспективы применения беспилотного транспорта в России [Электронный ресурс] / Н. А. Андреев, Д. В. Швандар // Отходы и ресурсы. – 2023. – Т. 10. № 1. – Режим доступа : <https://resources.today/PDF/42ECOR123.pdf>. – Дата доступа : 12.09.2023.

## ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ИНСПЕКЦИОННО-ДОСМОТРОВОГО КОМПЛЕКСА НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

*О. Н. ШЕСТАК, А. В. РАЙКО, Д. Г. ШУГОВ, А. С. ЮЗЕНКОВ,  
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Вопрос безопасности является одним из самых важных, когда речь заходит о перевозке грузов через государственные границы. Для предотвращения террористических актов и контрабанды все грузы проходят тщательную проверку. Через границу каждый день проходит большое количество транспорта и грузовых контейнеров. Преступники могут использовать их для перевозки контрабанды, такой как наркотики или оружие. Тщательный досмотр грузов вручную – длительный и дорогостоящий процесс, требующий больших затрат человеческого труда. Из-за этого досмотр применяется только в самые крайние и сложные случаи, когда есть серьезные опасения или сомнения по поводу груза. Для облегчения работы таможенной службы и повышения качества проверок были созданы специальные инструменты. Одним из таких инструментов можно назвать инспекционно-досмотровый комплекс (ИДК).

ИДК – специальное техническое средство таможенного контроля, применяемое для досмотра всех видов транспортных средств и негабаритных грузов. ИДК всего за 5 минут, не открывая и не выгружая контейнер, выводит на экран изображение, которое показывает, что находится в центре осматриваемого объекта, содержит полное описание и характеристики. Благодаря комплексу можно идентифицировать перевозимые грузы, распознавать предметы, запрещенные к перевозке, и делать приблизительную оценку количества перевозимого груза. ИДК позволяет наиболее эффективно предотвращать незаконную перевозку взрывчатых веществ, оружия, наркотиков и даже радиоактивных материалов через таможенную границу.

ИДК также используется для быстрого сканирования железнодорожных вагонов, в том числе грузовых контейнеров, расположенных на платформе. Это позволяет достичь высокой пропускной способности в пограничных точках. Система сканирует железнодорожные вагоны по мере их движения по объекту. Учитывая, что рентгеновское излучение может нанести вред здоровью пассажиров поезда сканирование вагонов с людьми не проводится, и рентгеновскому досмотру подвергаются только платформы с грузовыми контейнерами или вагоны со специальной меткой.

После сканирования операторы анализируют изображение, сравнивают его с документами для конкретного контейнера и дают заключение. Вагоны, в которых обнаружено нарушение, отцепляются от поезда и отправляются на углубленный таможенный досмотр. Если таможенный досмотр не требуется, анализ изображения занимает от 2 до 15 минут, поэтому время, необходимое для прохождения таможенного досмотра, значительно сокращается.

Досмотр железнодорожного состава с помощью инспекционно-досмотровых комплексов обычно составляют следующие этапы (могут различаться в зависимости от конкретной модели ИДК):

- 1 Специальный датчик засекает приближающийся к системе железнодорожный состав и приводит сканер в состояние готовности.
- 2 Скорость каждого вагона состава измеряется с помощью датчика скорости.
- 3 Система фотографирует каждый вагон, результат отправляется в ведомость досмотра.
- 4 Когда устройство идентификации номера контейнера и (или) RFID-датчик опознает грузовой вагон, включается рентгеновское излучение. Идентификационные данные регистрируются и отправляются в ведомость досмотра.
- 5 Рентгеновское излучение включается, когда срабатывает датчик опознавания передней части вагона, и выключается, когда срабатывает датчик опознавания задней части вагона.
- 6 Железнодорожный вагон сканируется на протяжении всего его перемещения через сканер. Каждое полученное изображение и соответствующие ему данные досмотра сохраняются в отдельном файле.

7 Данные досмотра вагона, а также полученное во время него рентгеновское изображение, передаются в офис оператора для последующего анализа и оценки результатов. Если на одном комплексе работает несколько операторов, то система автоматически передает данные свободному досмотрщику.

8 Результаты анализа полученных при сканировании данных хранятся в ведомости досмотра, которая располагается в базе данных. В случае выявления подозрительного груза ведомость передается на другой пункт на той же железнодорожной линии, где вагон, в котором был найден подозрительный груз, будет подвергнут дополнительному, в необходимых случаях и ручному, досмотру.

9 Таким же образом сканируются все остальные, подлежащие досмотру вагоны состава.

В настоящее время в Республике Беларусь действует один железнодорожный ИДК. Современный ИДК для сканирования грузовых поездов, пересекающих белорусско-польскую границу, был построен в районе Заречицкого парка железнодорожного вокзала Брест-Северный в рамках межправительственного соглашения между Беларусью и Китаем. Продолжительность непрерывной работы комплекса составляет один час, что соответствует требованиям, предъявляемым к железнодорожным транспортным средствам дальнего следования. Использование в работе такого железнодорожного ИДК позволило брестским таможенникам значительно сократить время прохождения таможенного контроля и способствовало повышению транзитной привлекательности Республики Беларусь.

ИДК обычно имеет высокий уровень автоматизации, что позволяет сократить количество необходимого персонала в их обслуживании и эксплуатации. Как правило, для эффективной работы комплекса хватает одного оператора и одного-двух инспекторов. Также имеется возможность привлечения еще нескольких операторов для повышения пропускной способности комплекса, если это необходимо в условиях повышенной загруженности потока.

На основании вышеизложенного, использование инспекционно-досмотрового комплекса на таможенных пунктах пропуска позволяет решать следующие задачи:

- увеличивается объем и достоверность информации, поступающей на монитор во время таможенного досмотра;
- ускоряется оборот товаров через железнодорожные контрольно-пропускные пункты;
- значительно сокращается время, необходимое для оформления товаров, проходящих таможенный контроль, и транспортных средств;
- проводится качественная проверка соответствия всей информации о грузе, указанной в сопроводительных документах;
- увеличиваются таможенные сборы для государственного бюджета;
- повышается эффективность обнаружения запрещенных товаров, таких как оружие, наркотики и контрабанда, перемещаемых в нарушение действующего законодательства.

Таким образом, эксплуатация инспекционно-досмотровых комплексов позволила упростить работу таможенных органов и улучшить качество досмотра грузов, импортируемых или экспортируемых через таможенную границу государства. Время проверки железнодорожных вагонов было значительно сокращено благодаря ИДК, которые используются для проведения качественной проверки грузов без вскрытия контейнера.

Слаженная работа операторов комплекса позволяет быстро выявить нарушителя, внести полученные важные данные в память устройства и после передать их в вышестоящие органы. Все системы подключены к нужным службам, благодаря чему работа по выявлению злоумышленников выполняется на высоком уровне. В целом внедрение ИДК следует считать успешным и стоит ожидать введение большего количества таких комплексов по всей таможенной территории Республики Беларусь.

#### Список литературы

- 1 Инспекционно-досмотровый комплекс (ИДК) в таможенном деле [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://mwlogistics.ru>. – Дата доступа : 18.09.2023.
- 2 Инспекционно-досмотровые комплексы: описание, функции, применение [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://zakon.temaretik.com>. – Дата доступа : 18.09.2023.
- 3 Инспекционно-досмотровый комплекс для сканирования грузовых поездов введен в Бресте [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.belta.by>. – Дата доступа : 18.09.2023.
- 4 OSI Systems, inc. // Официальный сайт [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.osi-systems.com>. – Дата доступа : 18.09.2023.

## ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ВОСПИТАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

*Т. В. ШОРЕЦ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Сегодня цифровые технологии прочно вошли во все сферы нашей жизни. Исключением не стала и сфера образования. Уже невозможно представить работу высшего учебного заведения без компьютерного обеспечения управленческой, учебной, научной или воспитательной деятельности, а современного педагога – не владеющим информационными технологиями. Современные цифровые технологии позволяют во многом разнообразить содержание и значительно повысить эффективность обучения. Обусловлено это в первую очередь тем, что цифровизация общественных отношений предопределила создание качественно новой информационной среды социума, которая обеспечивает развитие творческого потенциала каждого человека.

Цифровизация воспитательного процесса представляет собой активное использование современных информационных технологий, в основе которых лежит использование компьютерных средств, образующих комплекс воспитательно-образовательных траекторий, которые способствуют формированию у обучаемых не только умений, навыков и компетенций, соответствующих информационно-технологическому развитию современного общества, но и созданию в их сознании мировоззренческих установок, соответствующих логике развития современной мировой цивилизации, основанной на непрерывном развитии социума.

Внедрение в учебный и воспитательный процесс высших учебных заведений цифровых технологий предоставляет инновационные возможности для широкого внедрения в практическую деятельность педагогов новых методических приемов, позволяющих трансформировать его. Применение информационных технологий позволяет:

- повысить мотивацию обучающихся к самостоятельной поисковой деятельности;
- учитывать в процессе воспитательной деятельности индивидуальные особенности студентов;
- расширить возможности педагога в вопросах поиска информации по применению новых инструментов в организации учебно-воспитательного процесса.

Необходимо отметить, что цифровизация процессов, происходящих в обществе, постепенно приводит к тому, что классические педагогические технологии, в том числе и в воспитательной работе, постепенно теряют свою эффективность.

Отметим, что с каждым годом возрастает необходимость усиления и индивидуализации воспитательной работы со студентами высших учебных заведений, что обусловлено несколькими причинами:

- 1) интенсивным влиянием вневузовской среды на студенческую молодежь;
- 2) размыванием моральных принципов жизни общества;
- 3) низким уровнем мотивации самого современного студента к обучению в вузе.

Так как образование и воспитание являются центральными звеньями в системе, обуславливающей устойчивость общества, уровень его развития и процветание, нормативные документы, регламентирующие стратегию развития образования, ставят перед современной высшей школой задачи повышения эффективности воспитательного воздействия на личность молодого человека, формирования модели выпускника с набором определенных компетенций, внедрения современных технологий и обеспечения разнообразия форм аудиторной и внеаудиторной работы.

Использование цифровых технологий в воспитательном процессе высшего учебного заведения предполагает применение всего потенциала цифровых образовательных ресурсов для достижения поставленных образовательной организацией целей. Использование цифровых технологий в воспитании повышает и стимулирует интерес у студентов, активизирует мыслительную деятельность и способствует повышению эффективности воспитания тех или иных качеств личности молодого человека с помощью интерактивности, способствует наглядному представлению процессов, явлений, сложных для демонстрации в реальности.

Информационные технологии предоставляют студентам возможности для самостоятельного поиска материалов, опубликованных в сети Интернет, для подготовки докладов, рефератов, составления сценариев, помогают в процессе поиска ответов на проблемные вопросы. Они создают осно-

ву для развития креативных способностей, формирования общей и информационной культуры. Цифровые технологии предполагают наглядность, доступность, отсутствие больших затрат на оборудование, сокращение временных затрат на подготовку наглядности.

Современные цифровые технологии позволяют организовать работу с обучающимися в различных формах: групповой, коллективной и индивидуальной. Индивидуальная форма предполагает самостоятельное решение студентом поставленных перед ним задач. Использование инструментов цифровизации в образовательном процессе дает возможность существенно обогатить и повысить эффективность воспитательного потенциала. Использование информационно-коммуникационных технологий во время проведения воспитательных мероприятий способствует формированию атмосферы эмоционально-положительного фона, что повышает мотивацию у обучающихся.

Необходимо отметить, что в современном воспитательном процессе информационные технологии не решают всех проблем, они остаются всего лишь многофункциональным техническим средством. Цифровые технологии, в совокупности с правильно подобранными (или спроектированными) технологиями воспитательной работы, создают необходимый уровень качества, вариативности, дифференциации и индивидуализации воспитания.

Систематическая, целенаправленная воспитательная работа с обучающимися с использованием инновационных технологий открывает новые дидактические возможности, связанные с визуализацией материала, его «оживлением», возможностью представить наглядно те явления и процессы, которые невозможно продемонстрировать иными способами. Вследствие этого повышается и качество, наглядность информации, ее содержательное наполнение.

Необходимо отметить, что в воспитательном процессе университета важную роль играют кураторы студенческих групп. В первую очередь речь идет о субъект-субъектных отношениях, которые всегда лежали в основе образовательного процесса. Если контакт «куратор – студент», «преподаватель – студент» состоялся, то нравственно обогащается и тот, и другой.

Сегодня перед кураторами студенческих групп стоит важная задача – наладить каналы связи с субъектами целевых аудиторий образовательного процесса (студенты, их родители, преподаватели, работники деканата, руководство выпускающих кафедр, факультетов, вуза, внешние пользователи) и поддерживать их в работоспособном и актуальном состоянии. Технологически осуществить это без применения современных информационных технологий невозможно. Именно они должны стать технологической платформой коммуникационного взаимодействия субъектов целевых аудиторий и существенно повысить эффективность работы куратора.

В качестве направлений использования цифровых технологий в работе куратора студенческой группы мы можем выделить следующее:

- организация площадки для периодического онлайн общения с внешними целевыми аудиториями (работники деканата, руководство выпускающих кафедр, вуза, внешние пользователи);
- организация постоянно действующего канала общения для решения актуальных вопросов с активом группы и индивидуальных проблем студентов с помощью различных мессенджеров (Viber, WhatsApp, Skype);
- формирование информационного банка данных о кураторской группе (сбор портфолио и резюме студентов группы);
- использование возможностей электронных таблиц для статистической обработки численных данных о показателях деятельности кураторской группы;
- использование специализированного программного обеспечения (СПО) для ведения текущего оперативного учета учебных достижений студентов (результаты контрольных сроков, сессий).

Помимо этого, достаточно важным является взаимодействие куратора с родителями студентов. Многие родители не имеют свободного времени для посещения куратора и личной беседы. Вследствие этого широкие возможности для организации взаимодействия с родителями дают именно современные информационно-коммуникационные технологии.

В целом следует отметить, что грамотное использование возможностей, предоставляемых современными цифровыми технологиями, позволит сделать воспитательный процесс более доступным и эффективным, выводя его на качественно новый уровень.



## 6 ПРОЕКТИРОВАНИЕ, СТРОИТЕЛЬСТВО И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ОБЪЕКТОВ

УДК 625.85

### ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ТОНКОСЛОЙНЫХ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ В УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

А. А. АФАНАСЕНКО

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Оценивая опыт зарубежных стран, а также принимая во внимание отечественные разработки в области дорожного строительства, отметим, что в последние 20–30 лет произошло стремительное развитие как дорожной науки, так и отрасли в целом. Значительного прогресса достигли комплексы по приготовлению, укладке и уплотнению горячих асфальтобетонных смесей. Все чаще в качестве вяжущего находят свое применение ПБВ (полимерно-битумное вяжущее). С каждым годом ширится круг новых дорожно-строительных материалов и растет число технологий по устройству, капитальному ремонту, реконструкции и содержанию автомобильных дорог. Все больше в странах западной Европы и северной Америки уделяется внимание холодному и горячему восстановлению асфальтобетонных покрытий и продлению срока службы автомобильных дорог по средствам проведения профилактических ремонтов.

Рассмотрим жизненный цикл (рисунок 1) отдельной взятой автомобильной дороги на примере методики PCI (Pavement Condition Index), разработанной в США [1]: кривая имеет очертание, характерное для экспериментальных данных об изменении оценки состояния покрытия. В начальный период эксплуатации дороги оценка убывает медленно (т. е. разрушение покрытия идет незначительными темпами), затем темп ее падения возрастает, становится примерно постоянным, а после уменьшения оценки вдвое – снижается. По наблюдениям, существует непреложная связь между неблагоприятными атмосферными условиями и появлением дефектов на дорожных покрытиях. В случае обнаружения таких дефектов требуется оперативное вмешательство и реакция со стороны дорожных служб с целью обеспечения безопасности движения.

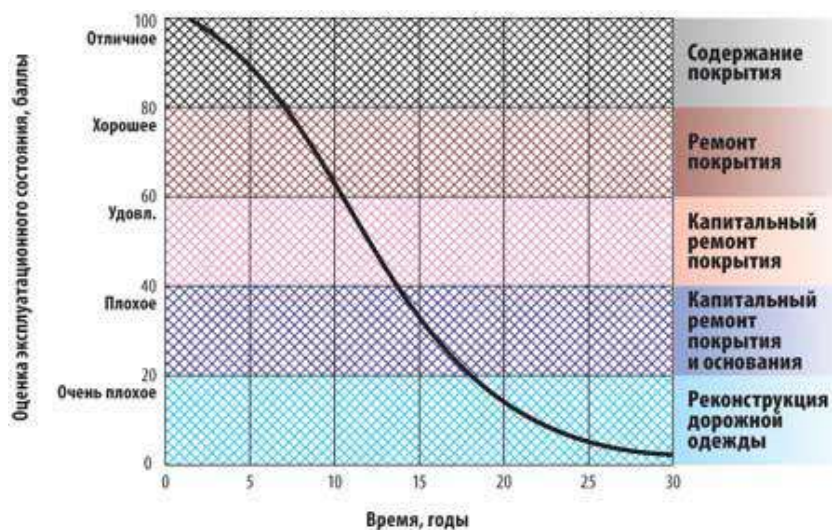


Рисунок 1 – Очертание кривой деградации дорожного покрытия.  
Ремонтные мероприятия в зависимости от оценки состояния дорожного покрытия

Изменение оценки состояния покрытия при различных стратегиях эксплуатации иллюстрируется на рисунке 2 [1]. Черным цветом (1) показано прогнозируемое изменение оценки состояния без проведения каких-либо ремонтных мероприятий. Голубая линия (2) соответствует стратегии плано-во-предупредительных ремонтов, при которой хорошее состояние покрытия поддерживается содержанием и ремонтом. Красной линией (3) показано изменение оценки состояния при альтернативной стратегии – проведении двух капитальных ремонтов покрытия на 13-й и на 23-й годы после ввода дороги в эксплуатацию.

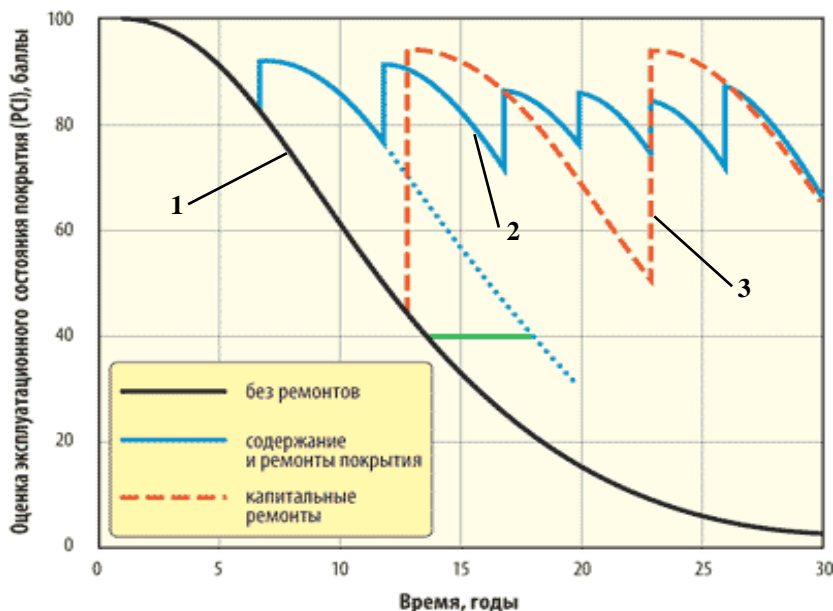


Рисунок 2 – Изменение эксплуатационного состояния при различных стратегиях проведения ремонтов

При выборе технологии ремонта имеет значение не только ожидаемый срок службы до следующего ремонтного мероприятия, но и продление срока службы покрытия благодаря применению данной технологии ремонта. Например, на седьмом году службы асфальтобетонного покрытия (см. рисунок 2), когда оценка его состояния понизилась до 82, выполнили заливку трещин полимерно-битумным вяжущим и его поверхностную обработку по технологии RoadArmor (поверхностная обработка на эмульсии), после чего оценка повысилась до 92. Если больше не проводить ремонтных работ, то на 18-й год оценка понизится до уровня 40, при котором нужен капитальный ремонт (ход прогнозируемого снижения оценки после первого ремонта показан голубыми точками). Но без выполнения поверхностной обработки прогнозируемая оценка состояния понизилась бы от 100 до 40 в течение 13,5 лет, т. е. благодаря ремонту срок службы существующего покрытия в данном примере продлен на 4,5 года (горизонтальный зеленый отрезок на рисунке 2).

Опыт применения ПБВ для строительства асфальтобетонных покрытий в США и Канаде свидетельствует о том, что, хотя использование ПБВ приводит к удорожанию строительства покрытия на 15–25 %, срок службы до капитального ремонта увеличивается на 35–50 %, а при последующем использовании ПБВ для ремонта и содержания суммарные прямые затраты на ремонтные мероприятия в «жизненном цикле» уменьшаются не менее чем на 25–40 %, и притом тем в большей степени, чем выше интенсивность движения и тяжелее природные условия, особенно при выборе стратегии плано-во-предупредительных ремонтов.

Наиболее эффективной с точки зрения экономической целесообразности для условий Республики Беларусь может служить технология NovaChip, разработанная компанией SCREG Route-SIR (Франция) в 1987 г. Технология NovaChip [2–6] представляет собой укладку тонкого слоя горячей асфальтобетонной смеси на модифицированном битуме по предварительно нанесенной мембране из катионной эмульсии на полимербитуме. Данная технология относится к профилактическому ремонту нежестких и жестких дорожных покрытий. Цель данной технологии – повышение шероховатости и придание дополнительной водостойкости дорожному покрытию. При этом тонкослойное асфальтобетонное покрытие может применяться в качестве ремонтно-восстановительного средства,

фрикционного слоя, слоя гидроизоляции, износа для дорожных покрытий из асфальтобетона и бетона, а также для устранения колеяности асфальтобетонных покрытий глубиной до 25 мм.

Внедрением в США данной технологии с 1997 г. занимается компания KOCH Pavement Solutions. Как указывается в [1], используют три типа зернового состава А, В и С с максимальным размером зерен соответственно 4,75, 9,5 и 12,5 мм и минимальной толщиной слоя 12,5, 16 и 19 мм. Содержание вяжущего обычно находится в интервале 4,6–5,8 % и подбирается с таким расчетом, чтобы средняя толщина пленки на зернах была не менее 9 микрон, чтобы замедлить старение вяжущего.

В США для NovaChip обычно используют полимерно-битумное вяжущее Stylink или битум АС-10. Работы производят при температуре воздуха не ниже 10 °С. Эмульсия в количестве 0,7–1,0 л/м<sup>2</sup> (меньшее значение для смеси типа А, большее – для смеси типа С), имеющая температуру 50–80 °С, разбрызгивается под давлением укладочной машиной. Расход эмульсии уточняют на месте в зависимости от вида и состояния покрытия. Не более чем через 5 секунд после эмульсии распределяется смесь, имеющая температуру 145–165 °С. Укладка должна производиться со скоростью 10–30 м/мин. Слой укатывают не менее чем двумя проходами 9-тонного катка со стальными вальцами. Движение можно открывать сразу после окончания уплотнения, если температура слоя ниже 85 °С.

При использовании в условиях Республики Беларусь технология устройства тонкослойного асфальтобетонного покрытия может быть несколько скорректирована с учетом транспортного потока и климатических особенностей. Функциональное значение в данном случае представляет собой устройство тонкослойного защитного покрытия толщиной 2,0–3,0 см, и осуществляется путем укладки асфальтобетонной смеси, приготовленной на модифицированном битуме, по предварительно распределенной по ремонтуемому покрытию битумополимерной эмульсии, наиболее целесообразным и эффективным в данном случае после нанесения эмульсии будет являться распределение различного рода волокон (стекловолокна, синтетические, металлические), что позволит значительно увеличить трещиностойкость и коррозионную стойкость защитного покрытия. Обязательным условием при устройстве тонкослойного асфальтобетонного покрытия является осуществление в одном рабочем цикле операций по нанесению битумной эмульсии и укладке асфальтобетонной смеси, что может быть достигнуто при использовании дорожного укладчика, оснащенного встроенным распылительным устройством и подогреваемым резервуаром для битумной эмульсии. С данными корректировками технологию можно рекомендовать для устройства экономически эффективных тонкослойных асфальтобетонных покрытий в условиях Республики Беларусь.

#### Список литературы

- 1 **Радовский, Б. С.** Проблемы повышения долговечности дорожных одежд и методы ее решения в США / Б. С. Радовский // Internet Laboratorie, Inc., США. Серия: Дорожная Техника. – 2006. – С. 108–119.
- 2 **Ляшенко, А. А.** Структурно-функциональные характеристики тонкослойных дорожных покрытий, укладываемых по технологии NovaChip / А. А. Ляшенко, Е. В. Кузнецова // Дорожное хозяйство. – 2019. – № 3. – С. 28–32.
- 3 **Кузнецова, Е. В.** Оптимизация состава асфальтобетонной смеси для устройства тонкослойного покрытия по технологии NovaChip / Е. В. Кузнецова, А. А. Ляшенко // Транспортные сооружения и технологии. – 2020. – № 1. – С. 45–51.
- 4 **Chatti, K.** Performance Evaluation of NovaChip Ultra-Thin Friction Course / K. Chatti, G. Y. Baladi, R. W. Lyles // Transportation Research Record. – 2000. – Vol. 1730, no. 1. – P. 84–91.
- 5 **Mallick, R. B.** NovaChip: A New Technology for Thin Asphalt Overlays / R. B. Mallick, T. El-Korchi, A. Loulizi // Journal of Materials in Civil Engineering. – 2002. – Vol. 14, no. 6. – P. 492–499.
- 6 **Mogawer, W. S.** Evaluation of the Performance of NovaChip Pavements in New York State / W. S. Mogawer, A. J. Austerman // Transportation Research Record. – 2004. – Vol. 1891, no. 1. – P. 191–198.

УДК 625.855.3:620.169.1

### АНАЛИЗ СПОСОБОВ ПОВЫШЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

*Г. В. АХРАМЕНКО, А. В. ЕМЕЛЬЯНЕНКО, А. С. НЕВЕРДАСОВ*  
*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Для эффективного функционирования и роста экономики государства необходимо развитие торговли, сельского хозяйства, отраслей промышленности и др. Для этого необходимы качественные и долговечные автомобильные дороги, соответствующие действующим транспортно-эксплуатационным

показателям, что способствует увеличению товарооборота как внутри страны, так и за ее пределами. В связи с развитием этих сфер возрастает интенсивность движения, увеличивается скоростной режим движения, повышается грузоподъемность транспортных средств и осевые нагрузки, что приводит к необходимости решения вопросов по повышению долговечности дорожных покрытий. Долговечность асфальтобетонных покрытий в основном зависит от таких факторов, как транспортные нагрузки, конструкция и состояние дорожной одежды, климатические условия.

Для поддержания состояния автомобильных дорог, соответствующего требованиям транспортных потоков, и обеспечения долговечности асфальтобетонных покрытий необходимо применение новых прогрессивных материалов и технологий.

Одной из основных причин преждевременного разрушения дорожных покрытий является качество дорожных битумов. Битумы не обладают требуемыми адгезионными свойствами, так как склеивают только минеральные частицы основной породы и, кроме того, становятся хрупкими при наступлении зимы практически на всей территории Республики Беларусь. Это предполагает образование трещин на покрытиях, которые ввиду малой прочности асфальтобетона быстро превращаются в выбоины.

Обычные асфальтобетонные покрытия на основе битума не способны обеспечить в условиях современного грузонапряженного и интенсивного движения требуемых физико-механических свойств покрытий и их долговечность. На основе исследований, проводимых в нашей стране и за рубежом, основными радикальными способами повышения качества и долговечности асфальтобетонных покрытий являются [1]:

- модификация битумов полимерными материалами;
- применение резиновой крошки (порошка) в качестве добавки в асфальтобетонную смесь.

Введение модификаторов (первый способ) улучшает основные показатели полимерно-битумных вяжущих (ПБВ): увеличивает температуру размягчения, снижает температуру хрупкости, улучшает адгезию. Кроме того, полимерные добавки придают вяжущим эластичность, а следовательно, и способность к большим эластическим деформациям.

Создание полимерно-битумных материалов – наиболее перспективный путь создания высококачественных дорожных покрытий, герметиков, гидроизоляции, мягкой кровли и др.

ПБВ относятся к классу эластомеров и характеризуются требуемыми показателями эластичности, температурного интервала работоспособности, трещиностойкости (температурой хрупкости) и теплоустойкости (температурой размягчения) [2].

Температура хрупкости ПБВ должна быть близка к температуре воздуха наиболее холодных суток района строительства или хотя бы не выше зимних расчетных температур покрытия с тем, чтобы при достижении этих температур вяжущее не становилось бы хрупким, а сохраняло работоспособность и способствовало релаксации напряжений, возникающих в них от комплексного воздействия изменения температур и многократного динамического воздействия от колес автомобилей.

Температура размягчения вязких ПБВ должна быть не ниже расчетной температуры сдвигоустойчивости покрытия, основанной на средней максимальной температуре воздуха наиболее жаркого месяца района строительства при скорости ветра 1 м/с, чтобы обеспечить требуемую теплостойкость и сдвигоустойчивость покрытий.

Полимерно-битумное вяжущее отвечает самым современным требованиям, предъявляемым к материалам, и тенденциям развития вяжущих, применяемых в дорожном строительстве:

- повышенная эластичность при низких температурах;
- повышенная вязкость при высоких температурах.

Однако широкому внедрению ПБВ в практику дорожного строительства препятствует не только сложность и высокая стоимость современных установок по производству полимерно-битумных вяжущих, но и относительная дороговизна модификаторов битума.

Второй способ – применение резиновой крошки в качестве добавки в асфальтобетонную смесь – решает сразу две проблемы: повышение качества покрытий и утилизация изношенных шин [3].

Существует два способа использования резиновой крошки при приготовлении асфальтобетонной смеси:

- «мокрый», при котором предусматривается введение резиновой крошки в битумную емкость. Расход добавки составляет от 1,0 до 4,0 % на 1 т битума (модифицированного битума). Этот способ наиболее затратный, он требует специального оборудования для модификации битума резиновой крошкой,

который затем вводится в асфальтосмесительную установку. Приготовление резинобитумных вяжущих осуществляется в реакционных котлах при температурах от 190 до 226 °С в течение 45 минут;

– «сухой», при котором введение резиновой крошки в смеситель производится непосредственно во время приготовления асфальтобетонной смеси. Он менее затратный, так как в качестве дополнительного оборудования требуется только дозатор, который может обеспечить точность дозирования  $\pm 5\%$ . Резиновая крошка вводится в ненагретом состоянии к минеральным материалам, в процессе перемешивания нагревается, далее подается битум и асфальтобетонная смесь перемешивается.

Асфальтобетонные смеси, приготовленные с использованием гранулированного резинобитумного вяжущего, по характеристикам не уступают смесям, приготовленным на модифицированных битумах. При этом резинобитумный модификатор лишен недостатков модифицированных битумов – недолговечности и склонности к разрушению в условиях хранения и применения при высоких температурах, высокой стоимости полимерных модификаторов.

В Республике Беларусь применение РБВ начато примерно лет 10 назад. Для приготовления РБВ используется «сухой» способ, так как при этом способе не требуется модернизация существующих асфальтобетонных заводов.

С 2012 года вся магистральная дорожная сеть Республики Беларусь реконструируется с применением местных модификаторов на основе резиновой крошки, постепенно государство настояло на полном отказе от дорогих зарубежных СБС-добавок. В условиях сравнительно низкой интенсивности движения на большинстве дорог республики – до 3 тыс. авт./сут. – такая технология показывает свою эффективность в увеличении качества асфальтобетонных смесей и снижении их стоимости (рисунок 1).

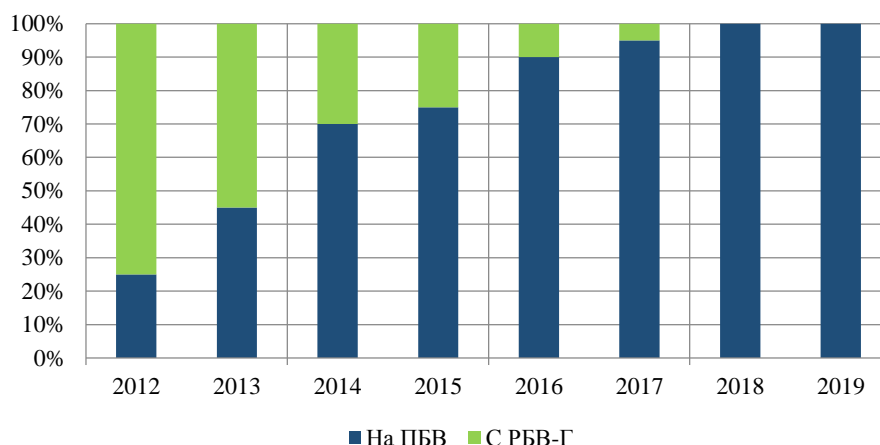


Рисунок 1 – Статистика применения модификаторов в реальных условиях Республики Беларусь, 2012–2019 годы

Применение гранулированного резинобитумного вяжущего позволяет:

- повысить потребительские качества автомобильных дорог: улучшить сцепные качества покрытия, снизить уровень шума при движении транспортных средств, улучшить водоотвод и др.;
- увеличить срок службы дорожных покрытий в 1,5–2 раза за счет улучшения физико-механических свойств асфальтобетона;
- заменить дорогостоящие импортные полимерные модификаторы битума;
- решить экологическую проблему утилизации изношенных автомобильных шин за счет использования в дорожном строительстве вторичных продуктов;
- отказаться от применения стабилизирующих целлюлозных добавок при приготовлении щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей.

#### Список литературы

- 1 Илиополов, С. К. Современные пути повышения долговечности асфальтобетонных покрытий / С. К. Илиополов // Вестник ХНАДУ. – 2008. – № 40. – С. 57–58.
- 2 Дошлов, О. И. Полимерно-битумное вяжущее – высокотехнологичная основа для асфальта нового поколения / О. И. Дошлов, Е. Г. Спешилов // Вестник ИргТУ. – 2013. – № 6. – С. 140–143.
- 3 Хафизов, Э. Р. Повышение качества дорожных покрытий путем введения в щебеночно-мастичную смесь добавок резиновой крошки / Э. Р. Хафизов, Д. Ю. Семенов // Известия КГСУ. – 2017. – № 2. – С. 305–310.

## ЧИСЛЕННЫЕ И АНАЛИТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОРИСТЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

А. В. БАБАЙЦЕВ, А. И. МИСБАХОВА

*Московский авиационный институт, Российская Федерация*

Композиционные материалы (КМ) используются во многих сферах деятельности: в машиностроении, строительстве и т. д. Применение КМ обусловлено высокими механическими характеристиками при минимальном весе, а также способностью работать при условии высоких температур и в агрессивных средах. Например, применение полимерных композитов при производстве подвижного железнодорожного состава, как пассажирского, так и грузового, обеспечивает его облегчение, удешевление, долговечность. Соответственно, с помощью этих материалов решаются задачи обеспечения оптимального расположения центра тяжести кузовов вагонов, что важно для наклона кузова при движении на крутых поворотах с высокой скоростью.

Наиболее распространенные и актуальные композиты – это полимерные (ПКМ), углерод-керамические (УККМ), углерод-углеродные (УУКМ), металлополимерные КМ. Однако в процессе изготовления данных материалов появляются различные дефекты. Пористость является постоянной проблемой при производстве композитных материалов. Размер, форма и распределение пустот зависят от структуры композитов и может существенно влиять на его физико-механические свойства, такие как модуль упругости, предел прочности и т. д. При испытании пористых КМ появляется необходимость в оценке истинных значений физико-механических характеристик.

Задачей данной работы является исследование методов оценки физико-механических характеристик пористых композитов, как численных, так и аналитических. Для этого использовалось численное моделирование (ЧМ) в среде Ansys Workbench с использованием метода конечных элементов, а также аналитическое моделирование (АМ), которое проводится, основываясь на моделях теории упругости и механики КМ и др. Верификация моделей проводилась на основе полученных экспериментальных результатов.

На первом этапе исследования образцы УУКМ с пироуглеродной матрицей (СС) и фазы пироуглерода (РС) были испытаны на изгиб согласно стандартным методикам испытаний на универсальной испытательной машине Instron 5969 с программным обеспечением Bluehill. Скорость нагружения принималась равной 1 мм/мин. Испытания проводились до разрушения образцов. Был получен экспериментальный график зависимости модуля упругости от объемного содержания пористости.

На втором этапе исследования для оценки влияния пористости на модуль упругости использовались два аналитических метода:

1 Метод Федотова, так называемый метод эффективных объемов осреднения деформаций с использованием функции пористости, описываемых модифицированной зависимостью Бальшина:

$$\alpha_s = \rho^n \frac{\rho - \rho_0}{1 - \rho_0}, \quad n = \frac{2 - \rho - \rho_0}{1 - \rho_0},$$

где  $\rho$  – относительная плотность;  $\rho_0$  – начальная относительная плотность (плотность композита без пор). Относительная плотность связана с пористостью  $\theta$  соотношением  $\rho = 1 - \theta$ .

Функция пористости при растяжении  $\alpha_r$  может быть выражена через функцию пористости при сдвиге  $\alpha_s$ , при использовании зависимости для макроскопического модуля объемного сжатия (К) пористого материала:

$$\alpha_r = \frac{6\alpha_s}{6 + (1 + \nu_0)(1 - \alpha_s)},$$

$$\alpha_r = \frac{6\rho^n \frac{\rho - \rho_0}{1 - \rho_0}}{6 + (1 + \nu_0) \left( 1 - \rho^n \frac{\rho - \rho_0}{1 - \rho_0} \right)},$$

$$E = \alpha_t E_0, \mu = \alpha_s \mu_0,$$

$$K = \frac{4}{3} \mu_0 \frac{(1 + \nu_0) \alpha_s}{2(1 - 2\nu_0) + (1 + \nu_0)(1 - \alpha_s)}, \quad E = \frac{9K\mu}{3K + \mu},$$

Получена линейная зависимость.

2 Метод, основанный на результатах, полученных Дьюи и Гудьером. Данный метод, изначально описанный для включений, был адаптирован: поры были представлены в виде включений с нулевым модулем Юнга.

Эффективный объемный модуль для малых ( $K_{fsmall}$ ) и больших объемных долей ( $K_{fbig}$ ) определяется по формуле:

$$K_{fsmall} = K_M \left[ 1 - \frac{3c \left( K_M + \frac{4}{3} G_M \right)}{4G_M} \right], \quad K_{fbig} = K_M \left[ 1 - \frac{c}{1 + (c-1) \left[ \frac{K_M}{K_M + \frac{4}{3} G_M} \right]} \right].$$

Эффективные модуль сдвига ( $G_M$ ) и объемный модуль ( $K_M$ ) материала:

$$G_M = \frac{E}{2(1 + \nu)}, \quad K_M = \frac{E}{3(1 - 2\nu)}.$$

Итоговый модуль Юнга, с учетом пористости определялся по формуле:

$$E_f = \frac{9G_f K_f}{3K_f + G_f}.$$

Третий этап исследования – численное моделирование в среде Ansys Workbench с использованием системного компонента «Material Designer». Для данного метода был создан репрезентативный объемный элемент материала. Поры были представлены в виде включений с модулем Юнга, стремящемся к нулю, и коэффициентом Пуассона равным 0,49. Сначала моделировался материал с пористостью, задаваемой единожды в начале вычисления, такой подход оказался применим для материалов с пористостью до 40 %, далее оказался негодным. Для материалов с пористостью больше 40 % поры задавались в 2–3 этапа.

Анализ результатов аналитических и численных методов показал, что для приближенных вычислений АМ – менее трудоемкий способ, который дает возможность быстро оценить значения физико-механических характеристик без использования вычислительных машин и уточнять результат через вводимые функции.

Также при помощи численного моделирования был проведен анализ влияния расположения пор. Выяснено, что значительное снижение модуля Юнга происходит при образовании пор в волокне.

*Работа выполнена с финансовой поддержкой гранта Президента Российской Федерации МК-398.2022.4.*

#### Список литературы

- 1 Гитис, В. Справочник по пористым материалам: синтез, свойства, моделирование и ключевые приложения / В. Гитис, Г. Ротенберг // Всемирная научная издательская компания: Сингапур, 2020. – Т. 4. – С. 10–20.
- 2 Коновалова, А. Р. Композитные шпалы / А. Р. Коновалова, Д. И. Понамаренко // Дни студенческой науки: сб. материалов 49-й науч. конф. обучающихся СамГУПС (Самара, 05–16 апреля 2022 г.). – Самара : Самарский гос. ун-т путей сообщения, 2022. – С. 190–192. – EDN JCVLJX.
- 3 Оценка физико-механических свойств термопласткомпозиатов для их применения в технологических процессах строительства и ремонта покрытий автомобильных дорог / Д. И. Бочкарев [и др.] // Автомобильные дороги и мосты. – 2019. – № 2 (24). – С. 44–48.
- 4 Федотов, А. Ф. Прогнозирование эффективных модулей упругости пористых композиционных материалов [Электронный ресурс] / А. Ф. Федотов // Известия вузов. Порошковая металлургия и функциональные покрытия. – 2015. – № 1. – С. 32–37. – Режим доступа : <https://doi.org/10.17073/1997-308X-2015-1-32-37>. – Дата доступа : 11.09.2023.
- 5 Monte Carlo Simulation for Exploring Mechanical Properties of Porous Materials Based on Scaled Boundary Finite Element Method / G. Liu [et al.] // Appl. Sci. – 2022. No 12. – P. 575.

## МЕТОДЫ УЧЕТА ИНТЕНСИВНОСТИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ

*О. Н. БАЙЦ, С. А. ЧУДИНОВ*

*Уральский государственный лесотехнический университет, г. Екатеринбург, Российская Федерация*

Учет существующей и прогноз перспективной интенсивности движения транспорта является важным этапом при планировании и проектировании дорожной инфраструктуры. Этот параметр позволяет оценить транспортную нагрузку на дорогу и принять соответствующие меры для обеспечения безопасности и комфорта движения. Однако традиционные методы измерения этого параметра имеют свои ограничения, особенно в условиях населенных пунктов. В связи с этим возникает необходимость расширить применение подходов к данной проблеме, которые позволяют учитывать случайные факторы и повысить точность определения перспективной интенсивности движения.

Одним из факторов, которые необходимо учитывать при определении средней суточной интенсивности движения, является внутригодовая неравномерность. В разные времена года и дни недели интенсивность движения может значительно изменяться. Например, в летний период или выходные дни она может быть выше, чем в зимний период или будние дни. Учет этой неравномерности позволяет более точно определить режим работы дороги и принять меры для его оптимизации.

Еще одним аспектом, который следует учитывать при определении средней суточной интенсивности движения, является физическая активность населения. Люди могут быть более активными в определенное время суток или в определенные дни недели. Например, в рабочие дни утром и вечером интенсивность движения может быть выше из-за поездок на работу и обратно. Учет этой активности позволяет более точно определить среднюю суточную интенсивность движения и принять меры для ее регулирования.

Также важно учитывать данные о физической активности, которые могут быть получены с помощью специальных датчиков или опросов населения.

В настоящее время применяемые методы определения перспективной интенсивности движения носят детерминированный характер. Это значит, что они не учитывают случайные факторы и не могут учесть величину разброса для различных показателей. Это приводит к недостаточной точности при назначении категории дороги и обосновании перспективной интенсивности движения.

Для определения перспективной интенсивности движения используются различные методы, каждый из которых имеет свои особенности.

### 1 Счетный метод

Счетный метод является одним из наиболее распространенных способов учета интенсивности движения. Он основан на использовании специальных счетчиков, которые устанавливаются на дороге и автоматически регистрируют количество проходящих машин. Эти счетчики могут быть различными – от простых механических до современных электронных устройств.

Преимуществом счетного метода является его относительная простота и низкая стоимость внедрения. Однако он имеет и некоторые ограничения. Например, счетчики не всегда могут точно определить тип транспортного средства или его скорость движения. Также для получения достоверных результатов необходимо установить счетчики на всех входах и выходах из участка дороги.

### 2 Моделирование трафика

Моделирование трафика является более сложным методом учета интенсивности движения, который основан на математическом моделировании процессов движения транспортных потоков. С помощью специальных программных комплексов можно создавать виртуальные модели дорожного движения и анализировать их поведение в различных условиях.

Преимуществом моделирования трафика является возможность проводить эксперименты в различных сценариях без риска для реального дорожного движения. Это позволяет предсказывать эффект от изменений в дорожной инфраструктуре или планах развития города. Однако для создания точной модели требуется большое количество данных о дорожном движении и его характеристиках.

### 3 Использование геоинформационных систем (ГИС)

Геоинформационные системы (ГИС) представляют собой специальные программные комплексы, которые используются для анализа и визуализации пространственных данных. Они могут быть полезными инструментами для учета интенсивности движения, особенно при работе с большими объемами данных.



С помощью ГИС можно создавать цифровые карты дорожной сети и отображать на них информацию о транспортных потоках. Это позволяет визуализировать и анализировать данные, а также проводить различные геоаналитические операции. Например, можно определить участки дороги с высокой интенсивностью движения или выявить неравномерность трафика в различных районах города.

Методы учета интенсивности движения являются важным инструментом для планирования дорожного движения и оценки эффективности транспортной системы. Счетный метод позволяет получить точные данные о количестве проходящих машин, однако он имеет некоторые ограничения. Моделирование трафика позволяет проводить эксперименты в виртуальной среде и предсказывать эффект от изменений в дорожной инфраструктуре. Использование геоинформационных систем может быть полезным для анализа и визуализации данных о транспортных потоках.

Примером использования комбинированного подхода к учету существующей и прогнозу перспективной интенсивности движения является программное обеспечение TrafficData, которое позволяет производить сбор данных о транспортных потоках при проектировании новой или реконструкции существующей транспортной инфраструктуры для создания транспортных моделей. В функционал программы входит сбор полных данных транспортных потоков, необходимых для моделирования, калибровки моделей и адаптивного управления транспортными потоками. Высокая точность детектирования и типизации транспортных средств в различных условиях съемки позволяют формировать отчет, который полностью готов к загрузке в автоматизированную систему управления транспортным комплексом (АСУ ТК).

Неточность определения интенсивности движения может привести к неправильной оценке потока денежных средств, выделяемых на строительство и реконструкцию дорог. Если интенсивность движения будет недооценена, это может привести к недостаточному финансированию проекта и, как следствие, к возникновению проблем на дорогах. С другой стороны, переоценка интенсивности движения может привести к излишним затратам на проекты, что также неэффективно.

Важно помнить, что выбор метода учета интенсивности движения зависит от поставленных целей и доступности ресурсов. Комбинирование различных методов может помочь получить более полную картину о транспортном потоке и принять обоснованные решения по его оптимизации.

#### Список литературы

1 **Байц, О. Н.** Оценка состояния транспортной инфраструктуры Свердловской области по целевым показателям = Assessment of the state of the transport infrastructure of the Sverdlovsk region by target indicators / О. Н. Байц, С. А. Чудинов // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России : материалы XIX Всерос. (национальной) науч.-техн. конф. студентов и аспирантов / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Уральский государственный лесотехнический университет ; [ответственный за выпуск Л. В. Малютина]. – Екатеринбург, 2023. – С. 611–616.

2 **Ваксман, С. А.** Распределение транспортных потоков в плане города / С. А. Ваксман / Материалы III науч.-техн. конф. Уральского политехнического института. Строительный факультет. Секция Градостроительство и архитектура. – Свердловск : УПИ, 1970. – С. 55–56.

УДК 625.712

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИНЦИПОВ КОНЦЕПЦИИ VISION ZERO ПРИ МОДЕРНИЗАЦИИ ГОРОДСКОЙ УЛИЦЫ

*И. Г. БАЛБУЦКИЙ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Одним из способов снижения уровня аварийности на городских улицах является адаптация успешных зарубежных решений и технологий в данной области (например, концепция Vision Zero). В то же время адаптация основных положений концепции Vision Zero [1] сопряжена со значительными трудностями, вызванными в основном различными подходами к принципам планирования городских территорий. За рубежом наблюдается тенденция к четкому разделению спальных районов, в том числе усадебной застройки и районов размещения предприятий, спортивных и торговых объектов, бизнес-центров. Это позволяет регламентировать скоростные режимы без ущерба пропускной способности. В наших же условиях снижение скорости на магистральных улицах с целью

повышения безопасности движения приводит к снижению пропускной способности. Принципы «Функциональная гармония», «Предсказуемость и простота» и «Стремление к ограничениям» могут быть применены без существенных изменений (рисунок 1).

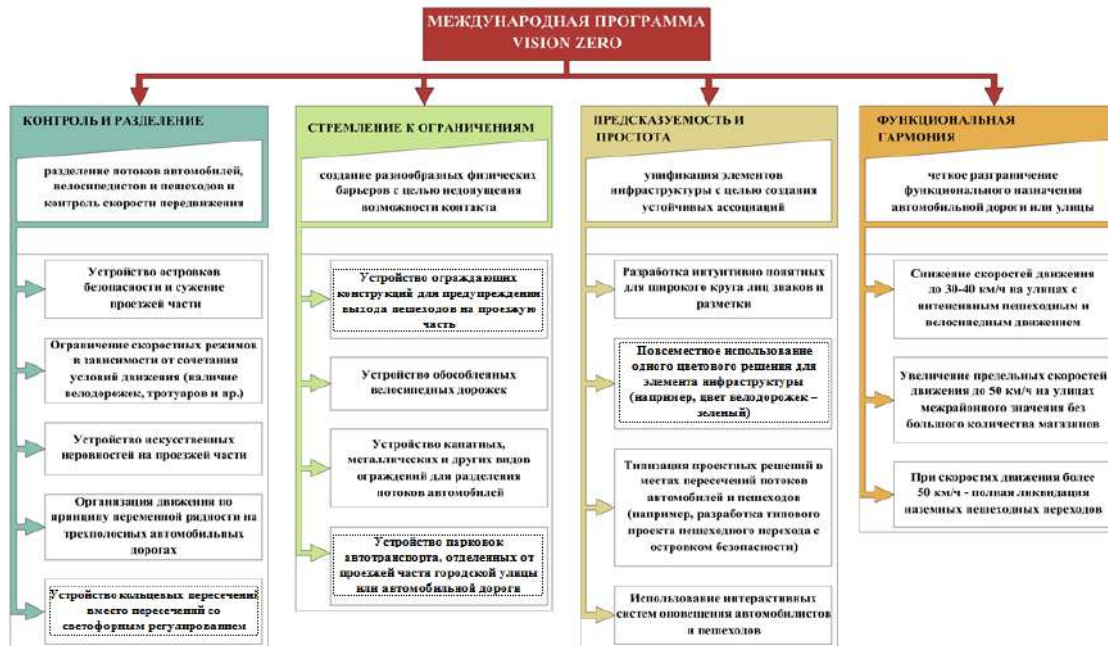


Рисунок 1 – Основные принципы концепции Vision Zero

Многочисленные национальные ТНПА в области проектирования плана и профиля городских улиц, конструкций дорожных одежд, обеспечения безопасности дорожного движения в некоторой степени учитывают описанные принципы концепции Vision Zero, но не в полной мере им соответствуют. Например, отсутствуют рекомендации по проектированию плана улицы с совмещённым движением автомобилей и велосипедистов в пределах одной проезжей части, но на выделенных полосах и т. д. Следует учитывать то, что нормативная база основывается прежде всего на сравнении затрат с ожидаемым эффектом. В общем случае потребность в денежных средствах на обеспечение безопасности дорожного движения можно представить в виде соотношения между затратами на предотвращение ДТП и затратами на устранение последствий ДТП [2]. Основная часть экономического ущерба может быть определена достаточно точно. Основные затруднения возникают при расчете косвенных потерь (например, потерь внутреннего валового продукта и потерь транспортных средств при объезде места ДТП). Это и сдерживает экономическое обоснование более дорогостоящих решений в области обеспечения безопасности дорожного движения.

Многие улицы наших городов могут быть модернизированы на сегодняшний день с учетом части требований концепции Vision Zero. Например, улица Мазурова в Гомеле. На основании общедоступной информации о дорожно-транспортных происшествиях, произошедших на ул. Мазурова за последние 5 лет, можно сделать вывод о том, что наезд на пешехода и нарушение правил проезда перекрестков являются преобладающими видами происшествий.

Основные работы по модернизации ул. Мазурова будут включать переустройство пешеходных переходов и перекрестков с применением цветных сверхтонких дорожных и тротуарных покрытий и ограждающих средств, а также переустройство перекрестка с ул. Огоренко. Примеры переустройства перекрестка и пешеходного перехода представлены на рисунке 2.

На ПК13+25 – ПК14+25 необходимо перенести пешеходные переходы и велодорожку, устроить ограждения для предотвращения выхода и выезда на проезжую часть, предусмотреть акцентирующие внимание полосы у пешеходного перехода из цветного асфальтобетона на проезжей части и приподнятый пешеходный переход, выделить цветом велодорожку. Эффективно использование интерактивных знаков.

На участке ПК15+20 – ПК 16+00 расположены два примыкания. Главная дорога на участке имеет право- и левоповоротные полосы для съездов. Комплекс мероприятий аналогичен предыдущему за исключением переноса пешеходного перехода. При этом целесообразно использо-

вать на проезжей части асфальтобетона разного цвета перед пешеходными переходами или потенциально опасными элементами пересечений с целью формирования устойчивых ассоциаций у водителей.

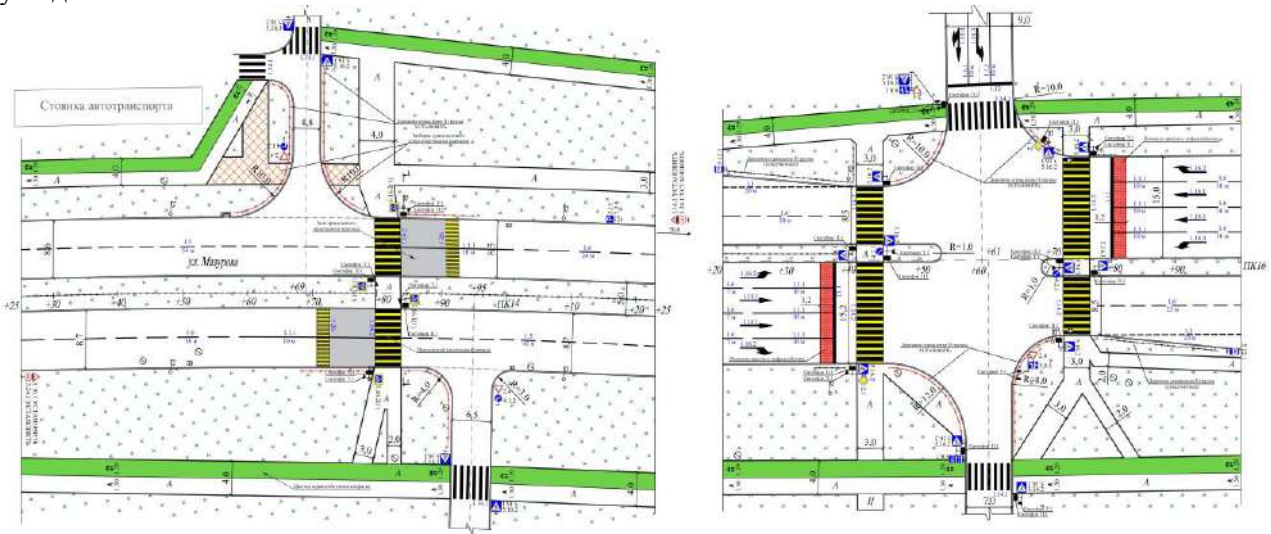


Рисунок 2 – Предлагаемые варианты модернизации на участках ПК13+25 – ПК14+25 (слева) и ПК15+20 – ПК 16+00 (справа)

Пересечение улиц Огоренко и Каменщикова характеризуется значительной аварийностью, приводящей в том числе и к летальным исходам, и высокой интенсивностью движения. Для обеспечения высокой пропускной способности и безопасности движения наилучшим вариантом является переустройство в кольцевое пересечение с оптимальным диаметром центрального островка 20 м. Чтобы обеспечить ширину проезжей части на кольце, равную 10 м, и не снижать количество полос движения на подходах, следует сместить центральный островок относительно центра существующего пересечения в сторону озера.

#### Список литературы

- 1 **Ивченко, Д. С.** Основные положения программы Vision Zero в контексте модернизации уличной и дорожной сети Беларуси / Д. С. Ивченко // Молодежь и научно-технический прогресс : сб. докл. XIV Междунар. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых: в 2 т., Губкин, 08–09 апреля 2021 года. Т. 1. – Губкин, 2021. – С. 332–334.
- 2 **Балбуцкий, И. Г.** Структура экономических последствий дорожно-транспортных происшествий / И. Г. Балбуцкий // Молодежь и научно-технический прогресс : сб. докл. XVI Междунар. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых: в 2 т. Губкин, 06 апреля 2023 года. – Губкин – Старый Оскол, 2023. – С. 462–463.

УДК 625.8

## ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ НЕЖЕСТКИХ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД

*Н. В. БАНДЮК*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Дорожная сеть любой страны – это артерии экономики, от состояния которой зависит развитие как отдельных районов, так и страны в целом. Развитие дорожной сети и поддержание высоких транспортно-эксплуатационных показателей дорог позволяют укрепить экономическую и хозяйственную межрегиональную связь, что, в свою очередь, подстегивает рост различных отраслей, даже не связанных с дорогами. В соответствии с важными направлениями социально-экономического развития Республики Беларусь для реализации государственной политики в дорожном хозяйстве разработана и утверждена Государственная программа «Дороги Беларуси» на 2021–2025 годы, согласно которой на развитие и поддержание дорожной сети страны необходимо направить финансирование в объеме 10 216 180 138,11 рублей (рисунок 1).

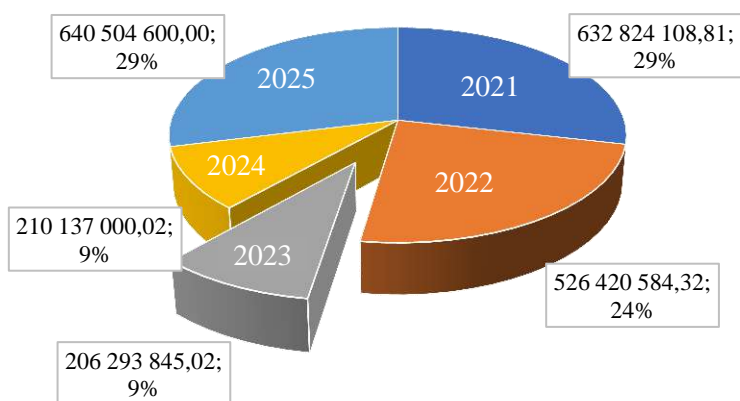


Рисунок 1 – Планируемый объем финансирования по годам (руб.; %)

Как видно из диаграммы, на развитие и восстановление дорожной сети страны запланированы значительные средства, уменьшение которых можно достичь повышением надежности и долговечности автомобильных дорог, в частности нежестких дорожных одежд с асфальтобетонными покрытиями.

В настоящее время проблема долговечности асфальтобетонных покрытий является актуальной как в Республике Беларусь, так и за рубежом. Решая эту проблему, необходимо прежде всего производить анализ условий работы автомобильной дороги в конкретных природно-климатических условиях с учетом транспортных нагрузок. Необходимо добиваться повышения устойчивости дорожных покрытий к усталостному трещинообразованию и образованию пластических деформаций и разрушений.

Решение данной задачи требует значительных затрат материальных и трудовых ресурсов. В связи с высокой стоимостью дорожно-строительных материалов особо важное значение приобретают вопросы использования в дорожном строительстве новых технологий, эффективных и нетрадиционных материалов, отходов и побочных продуктов промышленности. В первую очередь это относится к таким технологиям и материалам, которые могли бы обеспечить повышение качества асфальтобетонных покрытий, снижение расхода дорогостоящих вяжущих.

Одним из наиболее широко применяемых на практике способов повышения сдвигоустойчивости асфальтобетонов является увеличение количества минерального порошка в его составе, однако это зачастую отрицательно влияет на трещиностойкость материала и приводит к появлению трещин на дорожном покрытии в холодный период года.

Одним из наиболее перспективных способов повышения устойчивости дорожных покрытий к усталостному трещинообразованию и пластическим деформациям является использование полимерных отходов при приготовлении асфальтобетонных смесей.

Модифицированные полимерные материалы можно использовать в виде гранул как заполнитель асфальтобетонной смеси, как наполнитель для битума либо как модификатор битума.

Например, в Канаде нашли применение отходов пластиковой тары в качестве добавки к битуму при приготовлении теплых асфальтобетонных смесей, а в Индии добились сокращения использования битума на 7 % за счет добавления модифицированных полимеров.

Следует отметить, что не все полимерные отходы могут успешно применяться. Для модификации и подготовки к использованию некоторые требуют значительных материальных затрат. Например, для переработки полиэтилентерефталата (ПЭТ), температура плавления которого достигает 260 °С, может производиться деполимеризация кислотами и гликолями, а остаток подвергается химической переработке. С одной стороны, этот метод позволяет перерабатывать пластмассы с высокой температурой плавления, а с другой стороны, стоимость деполимеризации является высокой, а экономическая целесообразность подвергается сомнению. Однако для повышения стойкости асфальтобетона к пластическим деформациям при высоких положительных эксплуатационных температурах, например колеям, можно применять очищенный сухой ПЭТ, нарезанный на полоски и добавляемый в разогретом виде к минеральной части асфальтобетона при приготовлении.

В качестве полимерного наполнителя для повышения физико-механических характеристик асфальтобетона применяют резиновую крошку. Срок службы такого покрытия может быть увеличен в 1,5–2 раза по сравнению с традиционным асфальтобетоном. Также применение резиновой крошки позволяет решать экологическую проблему – утилизацию автомобильных шин.

Следующим этапом в разработках использования полимеров при приготовлении асфальтобетонных смесей в нашей стране стало использование резинобитумного вяжущего. Для его приготовления следует осуществлять смешивание в горячем состоянии нефтяных битумов с дробленой резиной, пластификаторами и структурирующими наполнителями. Данное вяжущее предназначено для приготовления асфальтобетонных смесей, герметизации швов и трещин при строительстве, реконструкции и ремонте автомобильных дорог и аэродромов в качестве верхних слоев асфальтобетонных покрытий.

Резинобитумное вяжущее в зависимости от назначения подразделяют на следующие марки:

РБВ-А – готовое к применению для приготовления горячих асфальтобетонных смесей при устройстве верхних слоев асфальтобетонных покрытий;

РБВ-Д – получаемое в процессе приготовления горячих асфальтобетонных смесей при устройстве верхних слоев асфальтобетонных покрытий;

РБВ-Г – для получения вяжущего марки РБВ-Д в процессе приготовления горячих асфальтобетонных смесей;

РБВ-Т – готовое к применению для герметизации трещин и швов асфальтобетонных покрытий.

Резинобитумное вяжущее содержит битум и резиновую крошку по 40–45 % по массе и минеральный наполнитель 10–20 %. Положительным фактором использования РБВ является то, что данная технология не требует модернизаций асфальтобетонного завода.

В мировой практике встречаются разнообразные полимерные отходы, используемые для улучшения свойств асфальтобетонов. Так как при использовании модифицированных полимерных отходов в качестве модификатора вяжущего можно целенаправленно влиять на вязкость битума, как правило, в сторону увеличения, а вместе с этим и улучшать деформационную стойкость асфальтовых покрытий летом.

Используя модифицированное полимерное сырье, можно добиться улучшения усталостной долговечности и модуля упругости асфальтобетонных покрытий при меньшей толщине слоев по сравнению с традиционными покрытиями или при той же толщине слоя повысить срок службы покрытий в 1,5–2 раза.

Потенциал переработанных полимеров для улучшения эксплуатационных свойств асфальтобетонных покрытий наглядно продемонстрирован в ряде стран. Однако необходимо провести объективное исследование практических преимуществ проектирования таких дорожных покрытий.

#### Список литературы

1 Государственная программа «Дороги Беларуси» на 2021–2025 годы : постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 09.04.2021, № 212.

2 ДМД 02191.2.041-2010. Рекомендации по приготовлению и применению асфальтобетонных смесей с полимерными наполнителями. – Минск : Белавтодор, 2010 – 17 с.

УДК 625.88

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КОРНЕВОЙ СИСТЕМЫ ДЕРЕВЬЕВ НА ДОРОЖНОЕ ПОКРЫТИЕ ТРОТУАРОВ

*М. В. БЕСПАЛОВА, А. Б. ИНДРИЛЮНАС*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Сохранение и восстановление покрытия пешеходных зон для обеспечения их надлежащего состояния – это рутинная задача, с которой сталкиваются дорожные службы. Несвоевременное устранение дефектов покрытия снижает срок службы и увеличивает затраты на ремонт и реконструкцию. И чем дольше откладывается проведение работ по содержанию покрытия пешеходных зон, тем более дорогостоящие и трудоемкие работы потребуется выполнить по планам ремонта, вплоть до полного восстановления всех элементов покрытия. Оптимизация затрат может быть достигнута через своевременную реализацию профилактических и предупредительных мероприятий, направленных на устранение дефектов дорожного покрытия.

Основным фактором, вызывающим большинство дефектов, является потеря свойств по времени. Однако имеется и ряд других факторов, влияющих на долговечность дорожного покрытия пе-

пешеходных зон. Деформации могут быть вызваны различными причинами, такими как погодные условия, интенсивность движения, тип и качество материала покрытия, физико-механические свойства грунтов основания, качество уплотнения основания, а также другими внешними факторами [1]. В данном исследовании в качестве одного из таких факторов рассматривается воздействие корней деревьев на дорожное покрытие пешеходных зон.

Функции городских зеленых насаждений многообразны: снижение уровня шума и загрязнение воздуха, поглощение воды и снижение нагрузки с ливневых стоков, сохранение биоразнообразия, обеспечение положительного эстетического эффекта. Однако корневая система деревьев может вызывать значительные повреждения слоев дорожного покрытия в зависимости от их расположения, типа деревьев и характера распространения корневой системы.

По нормативам [2] посадка кустарников должна быть произведена на расстоянии 1 м, деревьев на расстоянии 1,5 м от края тротуаров и дорожек. Приведенные значения относятся к деревьям с диаметром ствола не более 0,5 м и должны быть, соответственно, увеличены для деревьев со стволом большего диаметра (от края ствола радиус пристволенной лунки для деревьев со стержневой корневой системой – не менее 1 м, для деревьев с поверхностной корневой системой – не менее 2 м, от оси кустарников – не менее 1 м).

Из 600 уличных деревьев, обследованных в 2022–2023 годах в Центральном и Железнодорожном районах г. Гомеля, 24 % повреждали тротуары и 11,5 % – бордюры. Деревья, посаженные на тротуарах, нанесли значительно больший ущерб, чем деревья, высаженные на посадочных полосах. Деревья в посадочных полосах шириной более 2,5 м нанесли значительно меньший ущерб, чем деревья в полосах шириной менее 2,5 м. Наиболее серьезные повреждения дорожного покрытия обычно происходили в радиусе 2 м от основания ствола. Значительно больший ущерб был нанесен заасфальтированным тротуарам, чем вымощенным плиткой. Однако смещение и деформация отдельных тротуарных плиток чаще представляет угрозу безопасности для пешеходов.

Из древесных пород, которые исследовались, чаще всего встречалась береза, ива (пурпурная, ломкая шаровидная и др. разновидности), липа, клен, рябина, каштан, тополь и ясень. В Гомеле существует проблема – болезни конского каштана, вызванные нарушениями агротехники. Каштаны считаются среднеустойчивыми к почвенной засухе и энтомовам вредителям. Повреждаемость листовых пластинок воздушными загрязнителями составляет до 60 %, ослаблены 45 % посадок каштанов, 30 % обследуемых посадок каштанов в 2022 году ко времени написания статьи ликвидированы. Также выявлены инвазивные виды – робиния лжеакация, клен ясенелистный. Наибольший ущерб покрытия пешеходных зон был нанесен: корневой системой конского каштана, ясеня и клена; деревьями с диаметром 10–20 см (диаметр деревьев замерялся на высоте 1,3 м от уровня земли). Повреждения от корневой системы конского каштана были отмечены для деревьев диаметром более 20 см. Почти все повреждения были вызваны корнями диаметром более 10 см в диаметре.

Для определения величины горизонтального распространения корневых систем деревьев на исследуемой территории наиболее применимым является подход, основанный на оценке высоты и диаметра кроны дерева. Обычно размер корневой системы лиственных деревьев соотносится с объемом и диаметром кроны, но при исследовании были выявлены отклонения от средних значений до 3 раз в большую сторону. Радиус разрастания корней пород с диаметром кроны более 5 м примерно равен максимальной высоте дерева.

На развитие корневой системы влияют внешние условия (аэрация почвы, водный, температурный режим), а также приемы агротехники. Большое значение имеет и тип корневой системы: стержневая (вяз, сосна, ясень); мочковатая (береза, ива, липа); смешанная (рябина, клён, тополь). Наиболее благоприятные условия для роста поверхностных корней: смешанный тип корневой системы (стержневой корень развивается только в молодом возрасте, затем формируется поверхностная корневая система с мощными боковыми, горизонтальными корнями, уходящими далеко за пределы диаметра кроны и расположенными близко к поверхности почвы); высокий уровень грунтовых вод; аэрация грунтов.

Тротуарное покрытие в некоторых случаях может способствовать развитию корневой системы деревьев. Поверхностная корневая система деревьев, расположенная непосредственно под асфальтовым покрытием, может находиться в условиях, которые гораздо более благоприятны для их роста, чем те, в которых находятся более глубокие корни, так как температура может быть выше, а вода конденсируется, что делает почву особенно подходящей для роста корней. Трещины в покры-

тии повышают аэрацию почвы, что приводит к большему росту корней. В результате возникает взаимосвязь: рост корней приводит к разрушению дорожного покрытия, а разрушение покрытия способствует росту корней. Чем большую плотность имеет подстилающий грунт, тем выше вероятность того, что корни деревьев будут распространяться близко к поверхности, тем самым повреждая слои дорожного покрытия.

Для минимизации проблем, связанных с корневой системой деревьев и состоянием дорожного покрытия, необходимо собрать больше информации о повреждении дорожного покрытия в зависимости от вида дерева, его возраста, типа почвы, размера посадочной ямы, характеристик дорожного покрытия и развития корней. Такая информация может быть использована для улучшения выбора видов деревьев, методов их посадки, типов покрытия и режимов управления водно-температурным режимом, чтобы предотвратить или уменьшить ущерб, наносимый деревьями дорожному покрытию пешеходных зон и зон отдыха.

#### Список литературы

1 Беспалова, М. В. Эксплуатационные дефекты плиточного покрытия / М. В. Беспалова, А. Б. Индрилюнас // Проблемы безопасности на транспорте : материалы XII Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 160-летию Бел. ж. д. : в 2 ч., Гомель, 24–25 ноября 2022 / Бел. ж. д., Белорус. гос. ун-т трансп. ; под общ. ред. Ю. И. Кулаженко. – Гомель, 2022. – Ч. 2. – С. 13–15.

2 ТКП 45-3.02-69-2007. Благоустройство территорий. Озеленение. Правила проектирования – Введ. 2007-12-20. – Минск : Минстройархитектуры, 2008. – 20 с.

УДК 625.1

### ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ДИАГНОСТИКИ ВЕРХНЕГО СТРОЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ И ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА РАСПРЕДЕЛЕННОГО АКУСТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

*Д. И. БОЧКАРЕВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

*Н. Ю. ГУБЕНСКИЙ*

*Белорусская железная дорога, г. Минск*

Одной из важнейших задач при эксплуатации сложно нагруженных технических объектов ответственного (и стратегического) назначения, к которым относятся железнодорожный путь, мосты, путепроводы, эстакады и т. д., является обеспечение безопасности. В общем случае прочность элементов таких конструкций и их ресурс задаются на стадии разработки и проектирования. Однако воздействие знакопеременных нагрузок, коррозионно-активной среды, колебаний температуры и других эксплуатационных факторов, а также наличие в материале технологических или эксплуатационных дефектов существенно снижают срок службы.

Для предотвращения перехода конструкции в предельное состояние, возникшее по вышеперечисленным причинам, необходимо осуществлять неразрушающий контроль (далее – НК), причём желательно в режиме реального времени.

В процессе эксплуатации верхнего строения железнодорожного пути или искусственного сооружения происходят накопления в материале усталостных повреждений, которые на начальной стадии развития оперативно не могут быть обнаружены техническими средствами основных методов НК. Вопрос о безопасной эксплуатации таких элементов возможно решить только с использованием средств НК, чувствительных к развивающимся дефектам, поскольку традиционные методы и средства дефектоскопии направлены на выявление уже имеющихся дефектов. Следовательно, задача выявления растущих прогибов, трещин и нарушений проектного положения элементов объекта контроля (далее – ОК), в том числе находящихся на начальной стадии развития, представляется особенно актуальной. Решение данной задачи возможно посредством применения акустических методов НК.

Акустические методы НК подразделяются на две группы – активные и пассивные. Активные методы основаны на излучении, приёме и анализе упругих колебаний (акустических волн), пассивные – только на приёме и анализе волн, возникающих при образовании дефекта, источником которых служит сам контролируемый объект.

Характерным примером активного метода является ультразвуковой (далее – УЗ) контроль.

Согласно ГОСТ 18353–79 к пассивным акустическим методам относят:

- метод акустической эмиссии (далее – АЭ), позволяющий выявлять зарождающиеся дефекты и прогнозировать остаточный ресурс элементов сооружения, выработавших свой нормативный срок службы;

- вибрационный метод, анализирующий параметры вибрации какой-либо отдельной детали или узла (ротор, подшипники и др.) с помощью приёмников контактного типа;

- шумодиагностический метод, изучающий спектр шумов работающего механизма с помощью микрофонных приёмников;

- метод распределенного акустического зондирования (Distributed Acoustic Sensing – DAS).

Из рассмотренных методов наибольший интерес представляет метод DAS, реализуемый благодаря способности постоянно и непрерывно регистрировать величину акустического воздействия с помощью проложенного вдоль пути или пролётного строения искусственного сооружения оптоволокна, в которое на всём его протяжении посылаются импульсы, принимаемые фотодетектором. Вследствие увеличения величины прогиба, а также за счёт акустической вибрации кабеля, вызываемой движением подвижного состава, развивающихся поверхностных и глубинных дефектов происходит изменение отражения сигнала, что и фиксируется оборудованием и позволяет диагностировать дефекты и нарушения нормальной эксплуатации.

Контроль местоположения дефектов (сечений, имеющих превышение величины прогибов и отклонений от проектного положения) определяется рефлектометром по разности рефлектограмм и может проводиться с точностью 1–2 м на расстоянии до 40 км от рефлектометра и центрального обработчика.

Непрерывный анализ диагностической информации, формируемой на основе сигналов, воспринимаемых чувствительными элементами системы и несущих информацию о величине прогибов или отклонений от проектного положения элементов ОК, даёт возможность системе контроля технического состояния объективно оценивать опасность процессов, происходящих в деформируемом материале, и спрогнозировать разрушающую нагрузку и остаточный ресурс как отдельных элементов конструкции, так и всего сооружения, а также оперативно управлять движением. Это позволяет рассматривать путь или искусственное сооружение в качестве интеллектуального устройства, собирающего посредством системы контроля сведения о своём состоянии и оценивающего его в режиме реального времени, обеспечивая таким образом необходимый и достаточный уровень безопасной эксплуатации. Современная компьютерная техника, программное обеспечение, технологии сетевой и беспроводной связи делают реальным непрерывный дистанционный доступ к диагностической информации, что способствует анализу и обобщению получаемых данных как в рамках локальных, расположенных в наиболее неблагоприятных условиях участков, так и в масштабе всего ОК.

Для удовлетворения поставленным требованиям система диагностики должна обеспечивать следующие основные функции:

- измерение, обработку и представление с заданной степенью вероятности исходных данных, необходимых для оценки технического состояния (несущей способности);

- экстраполяцию полученных исходных данных в направлении принятой прогнозной координаты;

- расчёт несущей способности и остаточного ресурса по поступившей прогнозной информации, а также дополнительных сведений, характеризующих условия производства и текущего содержания;

- оценку состояния конструкции и возможных последствий развития дефекта с отработкой вариантов последствий по степени опасности;

- выбор оптимального варианта и принятие решения;

- в соответствии с принятым решением изменение режима работы (ограничение массы подвижного состава, скорости движения и осевой нагрузки) с целью выхода из аварийного состояния, сообщение о необходимости выполнения ремонтно-восстановительных работ, необходимости частичного или полного прекращения функциональной деятельности участка пути или искусственного сооружения, или объекта в целом;

- передачу информации о техническом состоянии пути или искусственного сооружения в эксплуатирующую организацию (центральную интеллектуальную систему управления) для принятия решения по дальнейшей эксплуатации или изменении её параметров.

Анализ технологий неразрушающего контроля, применение которых возможно для непрерывной дистанционной диагностики железнодорожного пути или искусственных сооружений (мостов, путепроводов, эстакад и т. д.), показывает высокую эффективность метода DAS, использующего волоконно-оптический кабель в качестве чувствительного элемента (датчика) для измерения акустического воз-



действия с высоким пространственным разрешением по всей длине приёмной системы, что оптимально подходит для объектов большой протяжённости.

Развитие и апробация рассмотренной выше технологии диагностики и мониторинга на основе метода DAS требует разработки соответствующих технических нормативных правовых актов. Данное направление создаст условия для комплексного системного подхода к диагностированию, оценке и прогнозированию технического состояния железнодорожного пути или искусственных сооружений (мостов, путепроводов, эстакад и т. д.), а значит, обеспечит их надёжность и безопасность в течение всего срока службы.

УДК 625.7/.8

## **АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕОСИНТЕТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ В КОНСТРУКЦИЯХ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД**

*А. В. БОЧКАРЕВ*

*Саратовский государственный технический университет, Российская Федерация*

*Д. В. МЕДВЕДЕВ, М. Ю. ГОРСКИЙ*

*Автономная некоммерческая организация «НИИ ТСК», г. Москва, Российская Федерация*

Поддержание в работоспособном состоянии сети автомобильных дорог является одной из важнейших государственных задач. Высокая стоимость ремонтно-восстановительных работ заставляет специалистов-дорожников искать способы увеличения межремонтного срока службы. Одним из перспективных направлений является использование в конструкции дорожных одежд современных геосинтетических материалов (ГМ). Основными задачами, которые могут быть решены в дорожном строительстве при помощи ГМ, являются: армирование слоев асфальтобетона и слоев оснований дорожных одежд, препятствование перемешиванию слоев минеральных материалов, не содержащих вяжущего, а также уменьшение эрозии на откосах, развивающейся вследствие воздействий окружающей среды. Широкому внедрению ГМ в практику препятствовало, во-первых, отсутствие, до последнего времени, общепризнанных стандартов на свойства геосинтетических материалов, предназначенных для использования в дорожном строительстве [1], а во-вторых, недостаточное, несмотря на усилия отдельных исследователей [2, 3], теоретическое обоснование эффективности применения ГМ.

Для решения обозначенных проблем силами «НИИ ТСК» был проведен эксперимент с применением современных ГМ в ходе капитального ремонта автомобильной дороги Рязань – Ефремов. В ходе работ на прямолинейном участке дороги вне зон разгонов и торможений были выбраны 12 стометровых участков, на которые были уложены ГМ для армирования асфальтобетонных слоев, полученные от 7 производителей. Армирующие материалы укладывались между выровненным старым асфальтобетонным покрытием и слоем усиления из нового асфальтобетона с соблюдением всех требований по технологии укладки [4]. Данные участки разделялись 50-метровыми контрольными участками, выполненными по традиционной технологии, без применения ГМ. В течение 2 лет проводился мониторинг состояния опытных участков для оценки эксплуатационных показателей и дефектов дорожных одежд: модуля упругости, интенсивности колееобразования и трещинообразования.

Результаты эксперимента показали, что на участках автодороги с использованием ГМ количество поперечных трещин на покрытии уменьшилось в 15 раз, а на контрольных – только в 8 раз, в сравнении с количеством трещин, которые были на этих участках до ремонта. Обнаружено статистически значимое увеличение общего модуля упругости дорожной одежды при использовании ГМ с прочностью на разрыв 40 кН/м и более. В то же время влияния ГМ на интенсивность колееобразования обнаружить не удалось; ни один из примененных ГМ не смог полностью устранить трещинообразование, а лишь способствовал уменьшению плотности трещин, появившихся за весь период мониторинга, в сравнении с контрольными участками.

Для объяснения результатов эксперимента было проведено математическое моделирование условий распространения трещин через слой усиления. Наблюдения и элементарные расчеты показывают, что ГМ, расположенный на нижней границе слоя усиления, не способен препятствовать образованию температурных трещин со стороны верхней границы этого слоя. Покажем, что слой ГМ способен затруднять прорастание отраженных трещин сквозь слой усиления, инициированных существующими трещинами в старых асфальтобетонных слоях.

Модель дорожной одежды включает следующие слои (сверху вниз): слой усиления из нового асфальтобетона, слой с геосинтетическим материалом, старый асфальтобетон и слой щебня, с толщинами, соответственно, 5 см, 2,5 мм, 19 см и 40 см. Асфальтобетон в обоих слоях представляется однородным линейно-упругим материалом, обладающим при 0 °С модулем упругости для статической нагрузки  $E_a = 1$  ГПа и коэффициентом температурного расширения  $\alpha = 25 \cdot 10^{-6}$  1/м. Слой старого асфальтобетона разделен на «блоки» сквозными вертикальными поперечными трещинами с раскрытием 5 мм, расположенными на расстоянии 2 м друг от друга; остальные слои трещин не имеют.

Геосинтетический материал, предназначенный для армирования асфальтобетонных слоев, имеет сложную структуру: как правило, он представляется комбинацией прямоугольной сетки из полимерных или стеклянных волокон с размером ячейки в диапазоне 2–5 см, предназначенной для несения силовой нагрузки, и сплошной тонкой синтетической ткани со специальной пропиткой, имеющей высокую адгезию к битумсодержащим материалам. В соответствии с методом конструктивной анизотропии [5], ГМ моделируется при помощи сплошного тонкого слоя, модуль упругости которого линейно уменьшается от максимального значения  $E_{\max}$  в срединной поверхности слоя к минимальным значениям  $E_a$  на его нижней и верхней поверхностях. Например, для ГМ с поверхностной плотностью 900 г/м<sup>2</sup>, модулем упругости волокон 70 ГПа и прочностью на разрыв 200 кН/м при удлинении 3,5 %, следует принять  $E_{\max} = 5$  ГПа.

Для численного моделирования с помощью метода конечных элементов выбирается участок продольного сечения дорожной одежды, левая вертикальная граница которого соответствует середине «блока» старого асфальта, а правая граница – середине трещины. Для всех слоев на левой границе и для первых двух слоев на правой границе требуется равенство нулю горизонтальных перемещений, на нижней поверхности слоя щебня полагаются нулевые вертикальные перемещения; остальные участки границ остаются свободными. При однородном уменьшении температуры всей конструкции сжатие «блока» старого асфальта приводит, в отсутствие слоя ГМ, к опасной концентрации напряжений в новом слое асфальта в районе вершины имеющейся трещины, что может привести к образованию и развитию новой трещины. Вычисления показывают, что при наличии слоя, содержащего высокопрочный ГМ с вышеуказанными прочностными параметрами, напряжения в конструкции перераспределяются – среднее растягивающее напряжение в новом слое асфальта в радиусе 1 см от вершины трещины уменьшается почти на 30 %, что значительно уменьшает вероятность «прорастания» старой трещины через новый асфальтобетонный слой.

#### Список литературы

- 1 **Медведев, Д. В.** Гармонизация норм и методов испытаний геосинтетических материалов в дорожных конструкциях / Д. В. Медведев, Ю. И. Калгин // Строительная механика и конструкции – 2023. – № 2 (37). – С. 108–120.
- 2 **Бусел, А. В.** Расчет армированных геосетками конструкций дорожных одежд нежесткого типа по критерию их температурной трещиностойкости / А. В. Бусел, А. И. Смыковский // Вестник ВГТУ. – 2005. – № 8. – С. 90–93.
- 3 **Мельникова, И. С.** Моделирование воздействия температуры и транспортных нагрузок на возникновение и развитие трещин в асфальтобетонных дорожных покрытиях / И. С. Мельникова // Наука и техника. – 2012. – № 4. – С. 44–52.
- 4 ОДМ 218.5.001-2009. Методические рекомендации по применению геосеток и плоских георешеток для армирования асфальтобетонных слоев усовершенствованных видов покрытий при капитальном ремонте и ремонте автомобильных дорог. – ФДА Росавтодор, 2010.
- 5 **Жгутов, В. М.** Метод конструктивной анизотропии для подкрепленных оболочек с учетом переменной жесткости ребер и различных свойств материалов / В. М. Жгутов // Глобальная энергия. – 2012. – № 3–2 (154). – С. 286–294.

УДК 625.7/.8

## РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПОВ СИСТЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОФИЛАКТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ

*Д. И. БОЧКАРЕВ, В. В. ПЕТРУСЕВИЧ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Анализ подходов к организации системы эксплуатации дорожной сети государств, имеющих ее наибольшую протяженность, показывает, что в США, а позже в Западной Европе, где темпы автомобилизации в течение многих лет были выше, чем в других странах, первыми столкнулись с проблемой несоответствия протяженности и состояния сети автомобильных дорог предъявляемым требованиям. Ответом стало создание и развитие системы управления состоянием покрытия (далее – СУСП).

Федеральная дорожная администрация США (FHWA) отмечает, что СУСП – это инструмент, который предусматривает определение оптимальной стратегии на различных уровнях управления и поддерживает покрытие на должном уровне работоспособности [1, с. 1–35; 2, с. 1–25].

СУСП в настоящее время продолжают развиваться, при этом основными направлениями их совершенствования являются: совершенствование, заключающееся в сборе данных и управлении ими, направлении расширения использования приборной базы, повышении точности и достоверности результатов за счет высокотехнологичных лазерных установок по измерению ровности, колеяности и несущей способности; расширение функций СУСП, заключающееся в интеграции с системами управления зимним содержанием, управления безопасностью движения, реагирования на стихийные бедствия, оценки качества построенных дорог и др.; улучшение надежности и достоверности моделей прогнозирования состояния покрытий за счет использования исторических данных о состоянии покрытия; совершенствование экономического анализа и методов оптимизации за счет отказа от упрощенных моделей и более широкого применения математических методов; совершенствование программного обеспечения систем управления.

Согласно ТКП 604–2017 [3, с. 3–15], ТКП 140–2015 [4, с. 7–8], СТБ 1566–2005 [5, с. 6–16] в Республике Беларусь по результатам диагностики и оценки состояния дорог выявляют участки, не соответствующие нормативным требованиям к их транспортно-эксплуатационному состоянию, а руководствуясь классификацией работ, выполняемых при капитальном и текущем ремонтах согласно [6, с. 3–11], технологиями выполнения работ согласно ТКП 094 [7] и ТКП 059.1 [8] и типовыми конструкциями дорожных одежд, определяют виды ремонтов.

Далее при назначении ремонтных мероприятий реализуются различные стратегии выполнения в зависимости от сроков, объемов финансирования и классификации ремонтов: стратегия первоочередных ремонтов; стратегия нормативных требований; поддерживающая стратегия; стратегия отсрочки ремонтов.

Назначение ремонтных мероприятий на автомобильных дорогах общего пользования производится на основании оценки их фактического транспортно-эксплуатационного состояния. Оценка и планирование ремонтных мероприятий осуществляется на основании материалов ежегодных сезонных осмотров. При этом вид ремонтного мероприятия устанавливается по выявленным несоответствиям фактических значений следующих параметров: прочность дорожной одежды, дефектность дорожного покрытия, ровность дорожного покрытия, глубина колеи, коэффициент сцепления шины с поверхностью покрытия. Классификация и вид работ, выполняемых при капитальном и текущем ремонтах, устанавливается согласно [6, с. 3–11].

При этом существующая методика не содержит мероприятий, направленных на предотвращение начавшихся и перспективных разрушений асфальтобетонного покрытия автомобильной дороги, которые возможно спрогнозировать, исходя из известных сроков их службы [6, с. 3–11].

Решение указанной задачи возможно с помощью системы организации профилактической обработки [9], направленной на увеличение межремонтных сроков эксплуатации асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог (рисунок 1).

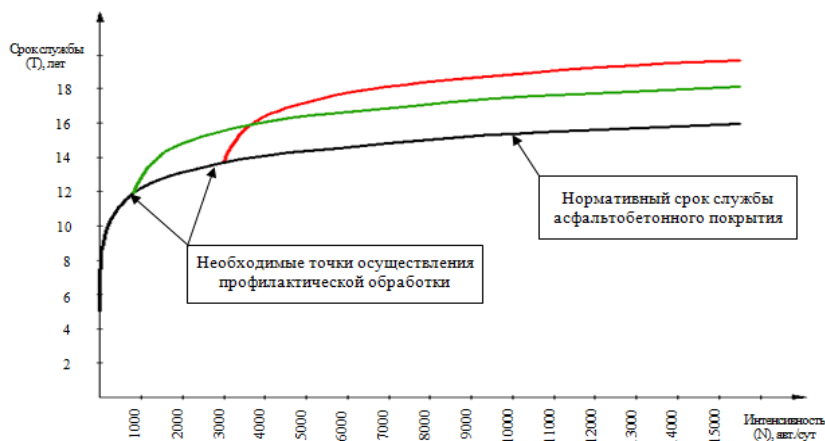


Рисунок 1 – Предполагаемое влияние системы организации профилактической обработки на срок службы асфальтобетонного покрытия

Интеграция системы организации профилактической обработки в систему планирования, учета, отчетности и непосредственно производственную деятельность в условиях хозяйственной самостоятельности подразделений, занимающихся непосредственно эксплуатацией дорожной сети, позволит наиболее полно раскрыть потенциал увеличения сроков службы (межремонтных периодов) дорожных покрытий и создать необходимый баланс стратегии развития в условиях существующих производственных технологий.

Таким образом, *система организации профилактической обработки* должна содержать следующие направления.

1 *Комплексная диагностика состояния асфальтобетонного покрытия автомобильной дороги*: осмотр с помощью технических средств дорожной сети региона; анализ эксплуатационного состояния покрытий.

2 *Подбор технологических режимов обработки асфальтобетонного покрытия автомобильной дороги*: подбор рецептур составов гидрофобных профилактических; выбор параметров обработки; настройка системы управления универсального распределителя;

3 *Выполнение обработки (распределения состава) по описанным ранее алгоритмам.*

Также стоит отметить, что экономическая эффективность от обработки асфальтобетонного покрытия СГП может быть с достаточной степенью точности определена по приведенной выше методике. Применение конкретных данных по организации планирования, учета, отчетности и непосредственно производственной деятельности в условиях хозяйственной самостоятельности подразделений, занимающихся эксплуатацией дорожной сети, позволит количественно определить рассматриваемые показатели, на основании анализа которых возможно экономическое обоснование увеличения сроков службы (межремонтных периодов) дорожных покрытий и создание необходимого баланса стратегии развития в условиях существующих производственных технологий.

#### Список литературы

1 **Flintsch, G.** Assessment of continuous pavement deflection measuring technologies / G. Flintsch, B. Ferne, B. Diefenderfer // Draft Final Report. SHRP 2 R06(F), Virginia Tech. – 2012. – P. 1–35.

2 **Lee, Ch.** Alligator cracking performance and life-cycle cost analysis of pavement preservation treatments / Ch. Lee, W. A. Nokes, J. T. Harvey // Technical Memorandum: UCPRC-TM-2007-08. – 2008. – P. 1–25.

3 ТКП 604–2017. Автомобильные дороги. Оценка эксплуатационного состояния и качества содержания. – Введ. 01.09.2017. – Минск : Белдорцентр, 2017. – 64 с.

4 ТКП 140–2015. Автомобильные дороги. Порядок выполнения диагностики. – Взамен ТКП 140-2008 (02191). – Введ. 01.03.2016. – Минск: Белдорцентр, 2015. – 68 с.

5 СТБ 1566–2005. Автомобильные дороги. Методы испытаний. – Введ. 01.07.2006. – Минск : БелдорНИИ, 2011. – 42 с.

6 Об установлении классификации работ по реконструкции, эксплуатации (содержанию и текущему ремонту), капитальному ремонту автомобильных дорог [Электронный ресурс] : постановление М-ва трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, 19 июня 2019 г., № 35 // Нац. правовой Интернет-портал Респ. Беларусь. – Режим доступа : <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=W21934301&p1=1>. – Дата доступа : 01.09.2023.

7 ТКП 094–2021. Автомобильные дороги. Правила устройства асфальтобетонных покрытий и защитных слоев. – Введ. 01.07.2021 (с отменой на территории Республики Беларусь ТКП 094–2012). – Минск, 2021. – 32 с.

8 ТКП 059.1–2020. Автомобильные дороги. Правила устройства. – Введ. 01.09.2020. – Минск : БелдорНИИ, 2020. – 76 с.

9 Состав гидрофобный профилактический ПРОТЕКТ-01 : Технические условия ТУ ВУ 192670194.002-2019. – Введ. 03.10.2019 – Гомель : БелГУТ, 2019. – 29 с.

УДК 625.1

## РЕКОНСТРУКТИВНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОВОЗНОЙ СПОСОБНОСТИ УЧАСТКА ЛУНИНЕЦ – СИТНИЦА БЕЛОРУССКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

*Н. В. ДОВГЕЛЮК, Е. М. МАСЛОВСКАЯ, В. С. ШАГУЛИН*  
*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Транспорт является одной из важнейших составных частей экономики каждой страны. Он с давних времен считается двигателем прогресса. Человек пользовался любыми подручными средствами с целью перевозки грузов и людей. После изобретения колеса, а позже и двигателей, человечество стало развивать различные средства передвижения – кареты, повозки, паровозы, парохо-

ды, самолеты и т. п. Благодаря чему у людей появилась возможность совершать поездки на огромные расстояния, преследуя разные цели.

Одной из составляющих единой транспортной системы является железнодорожный транспорт. Железные дороги наилучшим образом приспособлены для того, чтобы наиболее полно удовлетворять потребности общества в перевозке грузов и пассажиров.

Железнодорожный транспорт за более чем полуторавековой период своего существования доказал надежность, бесперебойность, безопасность, устойчивость к климатическим колебаниям и имеет хорошие экономические показатели. Все это делает наиболее приемлемым использование железных дорог в качестве транспортного обеспечения мировой системы хозяйства.

Значение железнодорожного транспорта определяется такими свойствами и особенностями, как удовлетворение транспортных потребностей народного хозяйства и населения, возможность сооружения эксплуатационных дорог в любом направлении, обеспечение устойчивых связей, достаточная высокая пропускная и провозная способность, независимость железнодорожного транспорта от времени года, времени суток, погодных условий, возможность создания удобной прямой связи между крупными предприятиями, что сокращает число дорогостоящих перевозок, способность перевозить разнообразные грузы и выполнять массовые перевозки с большой скоростью, относительно невысокая себестоимость перевозок.

Важную роль в повышении эффективности работы железнодорожного транспорта и в снижении экологической нагрузки на окружающую среду играет электрификация. Для тяги поездов на электрифицированных участках железных дорог используются электровозы. В качестве пригородного транспорта используются электросекции или электропоезда. Обычно используют однофазный переменный ток. При этом в качестве одного из проводников выступает рельсовый путь [1].

Электрификация железнодорожных линий направлена на повышение качества обслуживания пассажиров и конкурентоспособности на внутреннем и международном рынках транспортных услуг. Основными преимуществами электрификации являются: сокращение эксплуатационных расходов дороги, прежде всего, затрат на оплату энергоресурсов для тяги поездов; увеличение технической и маршрутной скоростей движения грузовых и пассажирских поездов, повышение весовых норм грузовых поездов; экологичность, снижение выбросов вредных веществ в атмосферу, уменьшение уровня загрязнения территорий депо и станций нефтепродуктами, снижение шумовой и вибрационной нагрузки от локомотивов; сокращение непроизводительных потерь пассажиров за счёт снижения транспортной усталости [2].

В настоящее время протяженность магистральных линий Белорусской железной дороги составляет 5,5 тыс. км, из них электрифицировано 23 %. На ее электрифицированных участках выполняется 25 % грузооборота и 30 % пассажирооборота [3].

Установлены особенности электрификации Белорусской железной дороги и обоснованная возможность электрификации участка Могилев – Орша – Витебск.

Участок пути ст. Лахва – ст. Ситница характеризуется высокой грузонапряженностью до 30 млн т·км на км в год. На участке имеет место пассажирское (6 пар поездов региональных линий, 3 пары – межрегиональных линий, по воскресеньям назначены дополнительные поезда), а также интенсивное грузовое (13 пар поездов в сутки) движение поездов.

На участке располагаются станции:

– ст. Лахва – промежуточная станция 5-го класса, закрытая для грузовых операций. Является разделительной станцией между двухпутным участком Лунинец – Лахва и однопутным Лахва – Микашевичи;

– ст. Ситница – внеклассная грузовая станция, обслуживает производителя гранитного щебня РУПП «Гранит» и другие предприятия г. Микашевичи и окрестностей. На ее долю приходится 15 % погрузки Белорусской железной дороги и 60 % погрузки Барановичского отделения. В год станция отгружает около 16–17 млн т груза. Среднесуточная погрузка строительных материалов, производимых РУПП «Гранит» может составлять 1005 вагонов и 878 вагонов с учетом цементовозов. Для увеличения пропускной способности участка Ситница – Лунинец планируется построить второй путь на участке между станциями Ситница – Лахва, что позволит увеличить пропускную способность данного участка с 36 до 70 пар поездов в сутки.

С введением новых мощностей, включая второй путь от Лахвы до Ситницы, Белорусская железная дорога обеспечит перевозку заявленных РУПП «Гранит» объемов щебня до 1050 вагонов ежесуточно, а в будущей перспективе – до 1300 вагонов в сутки [4].

В перспективном плане развития строительной отрасли страны намечено строительство Ситницкого горно-обогатительного комбината. Он будет состоять из трех технологических линий – шестой, седьмой и восьмой. Создание ГОК даст дополнительный объем выпускаемой продукции до 9 млн т в год, или 400 вагонов в сутки.

Кроме отправляемых поездов Ситницкого формирования, по участку проходят транзитные контейнерные поезда, составы с дизельным топливом, а также в малых объемах перевозятся калийные грузы. С учетом Ситницких маршрутов, станция Лунинец за 2021 год приняла из этого направления 4710 поездов и отправила 4510 поездов.

– разъезд Сенкевичи – располагается между станциями Лахва и Ситница и обеспечивает возможность скрещения встречных поездов, обгон поездов одного направления. Разъезд имеет короткие приемоотправочные пути, что затрудняет скрещение встречных поездов;

– ст. Микашевичи – промежуточная станция 4-го класса. Выполняются работы по погрузке и выгрузке вагонов с различными грузами (лес, цемент, отсев и др.).

Стоимость строительства второго пути требует на 32,8 % больше капиталовложений по сравнению с электрификацией и составляет около 1800 тыс. дол. за 1 км против 590 тыс. дол. Затраты на эксплуатационные расходы также меньше при электрификации.

Строительство второго пути позволит увеличить пропускную способность на 32 % по сравнению с электрификацией однопутного участка. На двухпутной линии участковая скорость движения увеличивается по сравнению с однопутной линией на 30–40 % и, соответственно, ускоряется доставка грузов и снижается время нахождения в пути пассажиров, уменьшается потребность в подвижном составе.

Двухпутный участок позволит пропустить до 30 пар дополнительных грузовых поездов в сутки или до 590 тыс. вагонов в год. Это обеспечит перевозку растущих объемов щебня до 1300 вагонов в сутки и дополнительных 400 вагонов в сутки после открытия Ситницкого горно-обогатительного комплекса.

С ростом растущих перевозок гранитного щебня и контейнерных перевозок заслуживает внимания вариант строительства второго пути с одновременным переводом линии на электрическую тягу. Это позволит создать высокую провозную способность наряду с низкой себестоимостью перевозок.

#### Список литературы

1 Негрей, В. Я. Электрификация Белорусской железной дороги – фактор повышения эффективности и качества ее работы / В. Я. Негрей, М. А. Масловская // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2017. – № 2. – С. 76–79.

2 Негрей, В. Я. Целесообразность электрификации участков железной дороги / В. Я. Негрей, М. А. Масловская // Вестник Украинского гос. ун-та ж.-д. трансп. – 2018. – № 62. – С. 96–104.

3 Формирование транспортной политики Республики Беларусь в едином экономическом пространстве / О. С. Булко [и др.] // Институт экономики НАН Беларуси. – Белорусская наука, 2014. – 194 с.

4 Довгелюк, Н. В. Реконструкция железных дорог : пособие / Н. В. Довгелюк, Г. В. Ахраменко, В. А. Вербило. – Гомель : БелГУТ, 2017. – 339 с.

УДК 625.1

## ИССЛЕДОВАНИЕ МЕЖПОЕЗДНЫХ ИНТЕРВАЛОВ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ

*Н. В. ДОВГЕЛЮК, Н. В. ПОПЛАВСКАЯ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

*П. Н. БАРАБОЛКИН*

*Белорусская железная дорога, г. Осиповичи*

При определении межпоездного интервала следует рассматривать поезд не как точку, а как тело, обладающее фиксированной массой и размерами. Под истинным интервалом между поездами в

пакете следует понимать расстояние между хвостом «убегающего» поезда и головой «догоняющего» в определенный момент времени. Поэтому определяются межпоездные интервалы при различной длине блок участков. Для определения оптимального интервала выдвигается идея использовать средства космической навигации, где будет непрерывно определяться интервал между поездами для выбора оптимального скоростного режима движения поезда.

Величина межпоездного интервала постоянно меняется при следовании по перегону, а т. к. рассчитанное значение закладывается в график движения поездов, то уже на этом этапе долговременного планирования эксплуатационной работы участков закладывается недоиспользование их пропускной способности. В рассмотренных примерах скорости обоих поездов принимаются равными. В реальной поездной обстановке они выравниваются крайне редко, т. к. в любой момент времени поезда находятся на разных участках перегонов, имея при этом различные скоростные режимы.

Сокращение интервала между поездами до определенных пределов при автоблокировке повышает пропускную способность как однопутных, так и особенно грузонапряженных двухпутных линий. Дальнейшее их снижение ограничивают условия движения при понижении скорости и входе поездов на станции. Прибывающий на станцию поезд вынужден заблаговременно снижать скорость. При малых межпоездных интервалах увеличение времени хода поезда из-за снижения скорости или остановки приводит к тому, что следующий за ним поезд снижает скорость уже на большем, чем первый, расстоянии от станции. Такая особенность движения по примыкающим к техническим станциям перегонам требует более частой расстановки проходных светофоров. Расстояние между сигналами должно быть не менее длины тормозного пути [1].

В настоящее время с целью повышения пропускной способности железной дороги осуществляется: постепенное удлинение главных и приёмootправочных путей на сортировочных, участковых и промежуточных станциях; реконструируются системы станционной электрической сигнализации; претерпевают изменения конструкции рельсовых цепей и изостыков [2].

При этом перегонные системы модернизируются только в части элементной базы. Проходные светофоры на перегонах расставлялись, исходя из требования ПТЭ о минимальном расстоянии между ними, которое должно быть не меньше тормозного пути и всегда не менее 1000 м. Компонировка перегонов в части разделения на блок-участки осталась неизменной, а ведь при проектировании была заложена определённая расчётом минимальная длина блок-участка. С точки зрения безопасности движения поездов по условиям торможения существующая система интервального регулирования обеспечивает главное – исключает возможность столкновения при следовании в потоке двух последовательно движущихся поездов, что способствует увеличению межпоездного интервала.

При разработке требований к системам интервального регулирования следует в первую очередь обеспечить безопасное движение поездов. Для выполнения этого требования необходимо обеспечить соблюдение минимального расстояния между последовательно движущимися поездами. Это расстояние формирует величину временного интервала в зависимости от скоростей движения обоих поездов. Временной интервал описывается непрерывной функцией трёх переменных

$$I = f(l, v_{уб}, v_{дог}), \quad (1)$$

где  $l$  – расстояние от хвоста «убегающего» и головы «догоняющего» поезда;  $v_{уб}$ ,  $v_{дог}$  – скорость «убегающего» и «догоняющего» поездов, соответственно.

При этом для обеспечения безопасного движения необходимо, чтобы  $l > S_m$  ( $S_m$  – минимально допустимое расстояние между хвостом «убегающего» и головой «догоняющего» поезда по условиям безопасного торможения).

Выполнение этого условия должно обеспечиваться непрерывно в процессе движения для каждой пары последовательно идущих поездов. Для двухпутного перегона при нормальной работе достаточно контроля всего одного параметра –  $S_m$ , который должен пересчитываться с заданной периодичностью.

При рассмотрении зависимости минимально допустимого расстояния между хвостом «убегающего» и головой «догоняющего» поезда по условиям безопасного торможения от внешних условий очевидно влияние достаточно большого числа факторов.

Тормозной путь  $S_T$  (в метрах) принимается равным сумме пути подготовки к торможению  $S_n$  и действительного пути торможения  $S_d$ :

$$S_n = 0,278v_0t_n, \quad (2)$$

$$S_d = \sum \frac{500(v_n^2 - v_k^2)}{\xi(1000V_p\varphi_{кр} + w_{0x} + i_c)}, \quad (3)$$

где  $v_0$  – скорость поезда в момент начала торможения, км/ч;  $t_n$  – время подготовки тормозов к действию, с;  $v_n, v_k$  – начальная и конечная скорости в расчётном интервале, км/ч;  $\xi$  – замедление поезда под действием удельной замедляющей силы (1 Н/кН), км/ч<sup>2</sup>;  $v_p$  – расчётный тормозной коэффициент поезда;  $\varphi_{кр}$  – расчётный коэффициент трения тормозных колодок в интервале скоростей;  $w_{0x}$  – основное удельное сопротивление движению поезда на холостом ходу в расчётном интервале скоростей, Н/кН;  $i_c$  – удельное сопротивление от спрямлённого (в профиле и плане) уклона, для которого производятся расчёты (при спуске значение со знаком минус), Н/кН.

При определении длины тормозного пути выделяются условно-постоянные и переменные параметры. К первым относят  $w_{0x}$  и  $i_c$ , ко вторым – остальные. В расчётной модели поезд описывается как точка, к которой прилагаются все силы. Она проводится с заданным временным интервалом  $\Delta t$  по спрямлённому профилю. Для каждого из интервалов определяются значения переменных параметров и рассчитываются значения пройденного тормозного пути  $\Delta S_t$  за время  $\Delta t$ . Общий тормозной путь определяется суммированием всех  $\Delta S_t$  за время торможения.

При отправлении со станции основанием для начала движения при трогании с места «догоняющего» поезда может служить освобождение «убегающим» стрелочной горловины, что легко определяется снятием шунтирования с последней по маршруту следования бесстрелочной секции. Ограничением по безопасности в момент движения по станционным путям должна служить разница скоростей двух поездов – для безопасного движения поездов попутного следования достаточно обеспечить условие «убегания»:  $v_{уб} > v_{дог}$ .

Интервал между поездами в пакете определяется по формуле

$$I = 0,06 \frac{L_p}{v_x} = 0,06 \frac{(l'_{бл} + l''_{бл} + l'''_{бл} + l'_n)}{v_x}, \quad (4)$$

где  $l'_{бл} + l''_{бл} + l'''_{бл}$  – длина первого, второго и третьего блок-участков м;  $l'_n$  – длина поезда, м;  $v_x$  – средняя ходовая скорость поезда, км/ч; 0,06 – коэффициент перевода размерности в м/мин.

При анализе результатов установлено, что при падении ходовой скорости происходит рост величины интервала. При этом резко падает существующая пропускная способность и возрастает потребность в локомотивах и поездных бригадах. Величина межпоездного интервала постоянно меняется при следовании по перегону, а т. к. рассчитанное значение закладывается в график движения поездов, то уже на этом этапе долговременного планирования эксплуатационной работы участков закладывается недоиспользование их пропускной способности.

#### Список литературы

1 Довгелюк, Н. В. Реконструкция железных дорог : пособие / Н. В. Довгелюк, Г. В. Ахраменко, В. А. Вербило. – Гомель : БелГУТ, 2017. – 339 с.

2 Государственная программа развития транспортного комплекса РБ на 2021–2025 годы.

УДК 622.234/24:504.61

### ВЛИЯНИЕ ПОДЗЕМНОГО ГОРИЗОНТАЛЬНОГО НАПРАВЛЕННОГО БУРЕНИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

С. Г. ДРОБОВ, М. А. ШАМОВА  
ОАО «ФэтСит», г. Гомель, Республика Беларусь

В условиях городской застройки и при реконструкции действующих предприятий, где в значительных объемах размещены подземные коммуникации (водопровод, канализация, водостоки, тепловые и кабельные сети) прокладка новых и замена старых подземных сетей открытым способом затруднена.



Открытый способ прокладки коммуникаций под железнодорожными и трамвайными путями, водными преградами, городскими улицами с интенсивным движением транспорта практически невозможен. В связи с этим за последние годы стали широко применять открытый и закрытый способы прокладки коммуникаций. Закрытый способ позволяет уменьшить объем земляных работ на 60–80 % и осуществлять строительство в зимних условиях без больших удорожаний. При закрытом способе возможно разрабатывать грунт и прокладывать коммуникации с помощью щитовой проходки, продавливания, прокола и горизонтального бурения.

На протяжении всей истории применения технологии горизонтального направленного бурения (далее ГНБ) для бестраншейного строительства подземных коммуникаций буровой раствор имеет репутацию источника вреда для окружающей среды.

Согласно актуальной нормативной документации, регламентирующей производство работ по технологии ГНБ, буровой раствор на 94–98 % состоит из пресной воды. На долю модифицированного бентонита – базового компонента бурового раствора, приходится лишь 2–6 % его объема, а суммарная доля всех специальных добавок, регулирующих параметры суспензии, не превышает 1 % (на практике используется еще меньше – от 0,1 до 0,5 %).

Например, аналоги бурового ксантана, применяемые для улучшения реологических характеристик бурового раствора, используются в пищевой промышленности в качестве загустителей. Они являются продуктом жизнедеятельности бактерий *Xanthomonas Campestris*. А полианионная целлюлоза является производным продуктом безвредной для окружающей среды целлюлозы. Вопросы могут возникнуть к синтетическому частично-гидролизованному полиакриламиду, который используется в ГНБ в качестве ингибитора активности глинистых частиц. Однако полиакриламиды используются при водоочистке на предприятиях водоснабжения и водоотведения, что косвенно доказывает их безопасность. Тем не менее так же, как и с модифицированными бентонитами, нам неизвестны конкретные исследования, которые подтвердили бы безопасность применения указанных полимеров.

В связи с этим получение достоверных данных, доказывающих безопасность для окружающей среды буровых растворов с типовыми компонентами в составе при производстве работ по технологии ГНБ, является актуальной задачей на современном этапе внедрения этой техники и технологии. Ее корректное решение позволит сделать обоснованный вывод, что причиной возможного снижения класса опасности бурового шлама может являться исключительно содержание вредных веществ в пересекаемых трассой бурения грунтах.

Результаты биотестирования бентонита безоговорочно свидетельствуют об абсолютной безопасности модифицированных бентонитов для окружающей среды – всем испытываемым растворам присвоен V класс опасности. Результаты биотестирования полимерных добавок показали, что даже в таких непростых условиях полимерные добавки в ГНБ абсолютно безопасны для окружающей среды.

По результатам проведенных исследований можно сделать экспериментально подтвержденный вывод о том, что модифицированные бентониты и полимерные добавки в ГНБ, независимо от концентраций (в рамках нормативно-технической документации), не представляют абсолютно никакой угрозы для экологии.

Традиционные открытые методы для прокладки и замены подземных коммуникаций негативно отличаются высоким уровнем загрязнения. А ведь перед строительной отраслью, которая потребляет большое количество ископаемого топлива, стоит задача – добиться сокращения выбросов в атмосферу.

В городских районах бестраншейная техника значительно уменьшает выбросы углекислого газа от строительных работ, минимизирует использование строительных машин и нарушение графика движения транспорта.

Во-первых, при бестраншейном методе значительно снижается потребление топлива, так как он позволяет избежать сбоев движения автотранспорта. Бестраншейные проекты предотвращают задержки и объезды, связанные с обычным подземным строительством в области инженерных коммуникаций. Это снижает количество потребляемого бензина, что, естественно, уменьшает и выбросы углекислого газа.

Во-вторых, бестраншейные участки работ и сами производят меньше выбросов. Они требуют минимального количества строительной техники и оборудования. Нет необходимости для проведения земляных работ: разрытия, засыпки, уплотнения и повторного асфальтного покрытия дорог, что значительно сокращает расход топлива.

Кроме того, бестраншейные работы, как правило, более эффективны, чем открытые способы, а это означает, что механизм работает более короткие временные периоды.

Если объединить экологические преимущества, получится, что бестраншейные методы строительства приводят к сокращению на 70–80 % выбросов парниковых газов, чем при открытом монтаже трубопроводов.

Бестраншейные проекты позволяют избегать и других форм загрязнения природы, типичных для открытых способов.

Очень часто при земляных работах (строительстве трубопроводов) происходит загрязнение почв. Кроме того, дождь и грунтовые воды могут привести к эрозии почв и возникновению стоков, загрязняющих ручьи, реки и коллекторы. Только минимальные нарушения поверхности земли при бестраншейных методах, позволяют избежать этих экологических ошибок.

Следует отметить, что бестраншейные методы отличаются отсутствием пыли на стройплощадке, которая может создать загрязнение воздуха и вредное воздействие на здоровье работников и местных жителей.

И наконец, тяжелая строительная техника создает шумовое загрязнение, нарушая покой жителей, школ, больниц и предприятий. Бестраншейный метод гораздо тише и имеет менее разрушительный процесс.

Можно с уверенностью заявить о том, что бестраншейный метод защищает природу, ведь деревья и их корневая система, как правило, остается без изменений, да и обитатели местной фауны остаются непотревоженными, сохраняется хрупкая экосистема прибрежных районов и водноболотных угодий. Избегаются разрушения и ущерб, который принесли бы раскопки строительной техникой.

Бестраншейные технологии могут также играть важную роль в защите исторически и экологически значимых деревьев, расположенных в городских парках и садах.

Бестраншейные методы, позволяющие избегать раскопок, также предотвращают и повреждение прилегающих коммуникаций и, следовательно, уменьшают экологические и экономические затраты на замену этой инфраструктуры. Так, например, прокладка траншеи вблизи асфальтовой дороги уменьшает ее продолжительность жизни по меньшей мере на 30 %, строительная техника может привести к повреждению структуры тротуаров. А интенсивное движение уменьшает продолжительность жизни объездной дороги, что принесет дополнительные расходы для муниципалитетов и местных органов власти.

#### Список литературы

1 Храменков, С. В. Технологии восстановления подземных трубопроводов бестраншейными методами : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности «Водоснабжение и водоотведение» направления подгот. дипломированных специалистов «Стр-во» / С. В. Храменков, В. А. Орлов, В. А. Харьков. – М. : Изд-во Ассоциации строит. вузов, 2004. – 237 с.

2 Технологическая карта на бестраншейную прокладку трубопроводов диаметрами 100–900 мм методом горизонтального направленного бурения с применением бурильной установки Ditch Witch JT Ditch Witch JT3020, 2020. – 128 с.

УДК 625.7

## АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПРОИЗВОДСТВА РАБОТ ПРИ РЕГЕНЕРАЦИИ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ

*Н. С. ЖАРИН*

*Дорожно-эксплуатационное управление № 57 РУП «Гродноавтодор», г. Ошмяны,  
Республика Беларусь*

*И. М. ЦАРЕНКОВА, И. А. ТОМЧУК, Е. Д. БЕРЕЗКИН*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомеля*

В Республике Беларусь важную роль играет автодорожная инфраструктура, которая представляет сложную технико-экономическую систему, в состав которой входят автомобильные дороги, элементы их обстановки и обустройства, объекты придорожного обслуживания, функционально обеспечивающие производственную деятельность, в том числе дорожную, и обслуживание сопутствующего движению потребностей пользователей автомобильными дорогами. Ее функционирование направлено на обеспе-

чение движения транспортных потоков по автомобильным дорогам на основе взаимодействия организаций в целях эффективного функционирования дорожной, автотранспортной и других отраслей экономики. Чем более развита придорожная инфраструктура автомобильной дороги, тем больше возможностей к восстановлению трудового ресурса у участников дорожного движения, а также более эффективному использованию рабочего времени у пассажиров, находящихся в пути [1]. В связи с этим автомобильные дороги решают важную инфраструктурную задачу, от которой зависит эффективность работы автотранспортного средства и удовлетворение потребностей передвигающихся в нем людей. Если первая часть цели подразумевает экономический эффект, то вторая часть затрагивает также социальную составляющую, в том числе создание определенной репутации как системы придорожного сервиса, так и страны.

По состоянию на 01.01.2023 года протяженность автомобильных дорог общего пользования насчитывает 86635 километров, из которых 15928 километров составляют республиканские дороги и 70707 километров – местные дороги [2]. При этом в 2023 году наблюдается значительный рост ямочности на многих направлениях дорожной сети.

Ежегодно заметно увеличивается транспортная нагрузка на дорожные конструкции и всё больше требует денежных вложений для поддержания их в нормативном состоянии. Автомобильные дороги необходимо содержать в соответствии с требованиями к их транспортно-эксплуатационному состоянию, соблюдать регламент при выполнении ремонтных работ. Существует достаточно большое количество известных технологий, позволяющих выполнять различные виды ремонтных работ. Это предоставляет возможности выбора наиболее рационального варианта при необходимости в быстром, качественном и экономически целесообразном в сложившейся ситуации виде ремонта.

Из-за скопления различных дефектов и несвоевременного ремонта дорога не может безопасно эксплуатироваться. В большинстве случаев выполнение ямочного ремонта нецелесообразно, т. к. квадратный метр ямочного ремонта стоит в восемь раз дороже, чем метр нового покрытия [3]. В такой ситуации наилучшим вариантом является полная замена покрытия автомобильной дороги. Для уменьшения затрат при производстве ремонтных работ хорошие результаты показывает технология ресайклинга.

При исследовании зарубежного опыта, расчете дорожных одежд, контроле качества, рассматривая ресайклинг, нужно не забывать о том, что это англоязычное название широкого спектра методов и технологий по восстановлению слоев дорожной одежды с максимально возможным использованием самого слоя. Целью ресайклинга является устранение дефектов, таких как трещинообразование, колейность, выбоины, окисление битума и др.

Для регенерации автомобильной дороги доступны три способа восстановления: первый, когда ремонт покрытия происходит прямо на дороге с применением специальной техники; второй способ – на заводе с использованием смесительных установок; третий способ – это комбинация двух предыдущих способов.

Суть трех методов одинакова в том, что перед началом регенерации необходимо на ремонтируемом участке дороги фрезеровать поверхность, в образовавшийся гранулят добавить новый материал и дополнительные связующие компоненты, затем полученную смесь укладывают на поверхность и уплотняют.

Различие заключается в том, что в первом способе все происходит на участке и используется специализированное звено техники. Ведущей машиной является ресайклер на колесном ходу. При втором способе фрезерованный материал доставляется на завод, где смесь приготавливается на заводе и укладывается на объекте асфальтоукладчиками. Третий способ – это комбинация двух способов, когда фрезерование, приготовление и укладку выполняет ресайклер на гусеничном ходу, который оборудован продольной двухвальной мешалкой.

Организация указанных процессов в соответствии с основными характеристиками используемых машин и механизмов заключается в следующем.

Как было отмечено ранее, в первом случае холодная регенерация осуществляется с помощью колесного ресайклера (рабочая ширина – 2438 мм, рабочая глубина – 500 мм; мощность двигателя – 500 кВт; общий вес – 33000 кг) совместно со специальной установкой для приготовления цементно-водной суспензии (производительность при смешивании – 1000 л/мин, объем бункеров для цемента – 25 м<sup>3</sup>, объем водяного бака – 11000 л, собственная масса – 25450 кг). При фрезеровании старого дорожного покрытия материал подается в рабочую камеру ресайклера, под давлением впрыскивается вяжущее и различные добавки. Смесь приготавливается в мобильной смесительной установке. Материал смешивается в определенных пропорциях. Колесный ресайклер толкает перед

собой мобильную смесительную установку. В случае применения комбинированного вяжущего в технологическую цепочку машин включается автобитумовоз. В этом случае по обогреваемой системе трубопроводов битум, разогретый до температуры (170–180 °С), в заданных пропорциях подается во вспенивающую камеру. Вспенивание обеспечивается водой, подаваемой одновременно с битумом. Вспененный битум посредством форсунок, установленных на обособленной рампе, расположенной во фрезерном барабане, подается в материал. После ресайклинга слой из полученной смеси предварительно уплотняется между колесами ресайклера катком, это необходимо для создания одинаковой плотности материала. Затем уложенный сырой материал профилируется автогрейдером, после чего окончательно уплотняется виброкатками. За свежеложенным основанием осуществляется уход путем розлива воды. Данный метод может захватывать 500–800 м. На полученное таким образом основание впоследствии укладываются слои покрытия из асфальтобетона.

По второму методу гранулят привозится на завод непрерывного действия. Технологический процесс включает в себя следующие технологические операции. Существующее асфальтобетонное покрытие фрезеруется при помощи дорожных фрез на заданную глубину, с погрузкой в автотранспорт. Самосвалы доставляют гранулят на складские площадки. На заводе производится смешение всех компонентов, согласно утвержденному рецепту, с высокой точностью дозирования. Готовую смесь транспортируют самосвалами на объект с выгрузкой в асфальтоукладчик и уплотняют катками.

По третьему методу используется ресайклер на гусеничном ходу. Технологический процесс схож с первым методом и имеет преимущества, обусловленные конструктивными особенностями ресайклера. В этом случае ресайклер играет роль завода и укладчика. На машине установлена продольная двухвальная мешалка с производительностью перемешивания до 6 м<sup>3</sup>/мин, а также фрезы с выдвижными барабанами шириной захвата от 2,8 до 4,2 м. Фрезерованный материал попадает в мешалку, где происходит его объединение с вяжущим. Оборудованная различными датчиками такая установка позволяет подобрать дозированную подачу вяжущих и воды. Приготовленная смесь перемещается из смесителя в камеру и распределяется шнеком. Раздвижной уплотнительный орган, расположенный в задней части машины, придает слою требуемый профиль. Для предварительного уплотнения он оборудован трамбующим брусом и вибратором. Вес машины 100 т, производительность в смену – 1500 м одной полосы.

#### Список литературы

1 Царенкова, И. М. Теоретическое обоснование необходимости модернизации автодорожной инфраструктуры // Горизонты экономики. – 2021. – № 4 (63). – С. 55–60.

2 РУП «Белдорцентр» подготовлены новые статистические данные о сети дорог в Республике Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://beldor.cent.r.by/2023/03/statistics2023/>. – Дата доступа : 15.09.2023.

3 В Беларуси больше не будут строить новые дороги – Минтранс [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://sputnik.by/20220208/v-belarusi-bolshe-ne-budut-stroit-novye-dorogi--mintrans-1060183526.html?ysclid=lmk2c85zhs840905972>. – Дата доступа : 15.09.2023.

УДК 625.72

## РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ НЕЖЕСТКИХ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД

*Е. М. ЖУКОВСКИЙ*

*Белорусский национальный технический университет, г. Минск*

Проектирование дорожных одежд, в том числе и нежестких, является весьма сложным процессом. При проектировании необходимо учитывать множество факторов, которые не связаны между собой, проявляющихся в синергии.

Разработка математической модели, которая бы позволила связать все процессы воздействия описанных выше факторов, невозможна по причине сложности их прогнозирования. Таким образом, пользуясь только аппаратом теории упругости, произвести расчёт дорожных одежд не представляется возможным. Поэтому в настоящее время наибольшее распространение получили механико-эмпирические (полуэмпирические) методы. В таком случае при анализе напряженно-деформированного состояния используются методы теории упругости, а также эмпирические зависимости между напряжениями и деформациями с параметрами внешней нагрузки. Особенностью проектирования дорожных одежд является назначение критериев эксплуатационных характеристик на конец расчётного срока службы [1].

Впервые необходимость учёта влияния воды на грунт при устройстве дорожных одежд была обоснована в XIX веке в начале строительства щебеночных покрытий. Так, Джон Макадам считал, что грунт может выдержать любую нагрузку, если он защищен от переувлажнения. Основным принципом таких дорожных одежд было создание плотной «щебеночной коры», защищавшей нижележащий грунт от поступления влаги. Значительный вклад в улучшение щебеночных покрытий был произведен во Франции, в частности в работах Антуана Реми Полонсо. Толщина слоя покрытия таких дорожных одежд определялась исходя из несущей способности грунта, прочности щебня и возможности его уплотнения [2].

Первые попытки учета влияния климата и действия колесной нагрузки при проектировании дорожных одежд в отечественной практике были предприняты Е. С. Головачевым во второй половине XIX века [3]. Они включали в себя рекомендации по продолжительности возведения земляного полотна различной высоты в различных климатических условиях, требования к минимальным высотам насыпей для различных грунтов в зависимости от его уплотнения, рекомендации по выбору материалов для щебеночного покрытия. Толщину слоя было предложено определять, корректируя стандартную толщину с учетом фактической пористости применяемого каменного материала. Данные попытки были основаны на опыте наблюдения за устроенными в Российской империи дорогами и носят эмпирический характер.

Методы проектирования дорожных одежд, используемые в начале XX века, были также основаны на несущей способности грунтов земляного полотна. Например, методики Харджера, Масачузетская, Доунса, А. И. Анохина, Бугаева и др. [4]. Основное допущение данных методов, что давление передается равномерно под углом  $45^\circ$  от неподвижного колеса без учета интенсивности движения. Данные методики носили строго эмпирический характер и были разработаны для конкретных условий строительства и эксплуатации дорог. При этом Г. Д. Дубелир [5] считал в целом невозможным расчёт на прочность дорожных одежд, а основным критерием выбора толщины назначался экономический.

*Отечественный опыт проектирования нежестких дорожных одежд.* Впервые необходимость учета интенсивности движения была обоснована в СССР в 1929 г. Н. Н. Ивановым и поддержана инженерами из Германии и США [6].

В дальнейшем, в результате исследований, проведенных в СССР в 1930–1940 гг. под руководством Н. Н. Иванова, была разработана методика проектирования нежестких дорожных одежд, отличительной особенностью которой являлся учёт состава и напряженности движения на дороге, влияния климата и гидрологических условий, требований к ровности дороги, характеристик подстилающих слоев [7]. Расчёт конструкций по данной методике осуществлялся по допускаемому прогибу на поверхности дорожной одежды на основании модуля деформации.

Данная методика получила свое развитие, и в последующем неоднократно уточнялась и дополнялась в инструкциях по проектированию дорожных одежд нежесткого типа различных лет. Значительный вклад в развитие методики проектирования нежестких дорожных одежд внесли А. М. Кривисский, М. Б. Корсунский, П. И. Теляев, П. Д. Россовский, Н. А. Пузаков, Ю. М. Васильев, В. Ф. Бабков, П. В. Горельшев, В. Д. Казарновский и др. Так, с 1973 года основным критерием проектирования дорожных одежд, вместо допускаемой деформации, является упругий прогиб дорожной конструкции. Кроме того, были уточнены и дополнены принципы учёта интенсивности и распределения транспортного потока.

В последующем положения данной методики получили развитие в национальных документах Беларуси, Украины, России, Казахстана, Узбекистана и др.

Совершенствованию методов проектирования и конструирования нежестких дорожных одежд в Республике Беларусь посвящены работы В. А. Веренько, В. Н. Яромко, В. В. Штабинского и др.

До 2008 года основными критериями расчета дорожных одежд являлись: для дорожной одежды в целом – упругий прогиб, осушение, морозостойчивость; для покрытий – растяжение при изгибе монолитных слоев, сдвигоустойчивость; по учёту интенсивности движения – среднесуточная. При этом были введены новые критерии расчёта нежестких дорожных одежд: для покрытий – температурная трещиностойкость, накопление остаточных деформаций (колеобразование), сдвиг; для слоев основания – сдвиг, накопление остаточных деформаций; для земляного полотна – сдвиг, накопление остаточных деформаций; по учёту интенсивности – суммарная за срок службы [8].

В качестве основного критерия для расчёта дорожных конструкций В. Н. Яромко предлагалось ввести показатель ровности, однако из-за недостаточной разработанности метода он не был включен в итоговый вариант ТКП 45-3.03-112-2008 [9].

В настоящее время согласно данным нормам приняты следующие этапы проектирования и расчета нежестких дорожных одежд:

- расчет дорожных одежд на прочность (основной расчет по допускаемому упругому прогибу);
- проектирование устройств по осушению дорожных одежд;
- обеспечение морозостойкости дорожных одежд и земляного полотна.

Учет транспортной нагрузки, ее интенсивности и величины осуществляется на этапе расчета по величине допускаемого упругого прогиба, который напрямую связан с модулем упругости на поверхности дорожной одежды.

В государствах, таких как Украина, Узбекистан, Казахстан, Российская Федерация и др., где правила проектирования нежестких дорожных одежд, как и в Беларуси, основаны на работах проф. Иванова, существенные отличия в их проектировании отсутствуют. Основное отличие заключается в особенностях дорожно-климатического районирования, а также значении коэффициентов, учитывающих распределение транспортных средств по полосам движения  $f_{пол}$ .

#### Список литературы

- 1 Арус, Н. Н. Обзор и анализ методов проектирования нежестких дорожных одежд для оценки их эффективности в современной международной практике [Электронный ресурс] / Н. Н. Арус, М. Г. Горячев // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. – 2021. – № 3 (29). – Режим доступа : <https://www.adi-madi.ru/madi/article/view/1032>. – Дата доступа : 15.09.2023.
- 2 Ковалев, Я. Н. Введение в инженерное образование. Автомобильные дороги : учеб.-метод. пособие / Я. Н. Ковалев. – Минск : Арт Дизайн, 2010. – 239 с.
- 3 Головачев, С. Е. Об устройстве земских дорог и отношении их к железным путям для развития производительности России / С. Е. Головачев. – Киев : Тип. И. и А. Давиденко, 1870. – 200 с.
- 4 Дорожное дело : учеб. руководство для Автомобильно-дорожн. вузов / А. И. Анохин [и др.]. – М., Л. : Гострансиздат, 1933. – 747 с.
- 5 Дубелир, Г. Д. Эксплуатация автогужевых дорог / Г. Д. Дубелир, Г. Ф. Захаров, Б. И. Тиль. – Л. : Гострансиздат, 1934. – 478 с.
- 6 Иванов, Н. Н. К вопросу о выборе и определении толщины дорожных одежд / Н. Н. Иванов // Транспорт и дороги города. – 1936. – № 4. – С. 17–20.
- 7 Выбор конструкций дорожных одежд (Теория прочности и методы расчета) / под ред. Н. Н. Иванова, А. М. Кривиского; НКВД СССР, Гл. упр. шоссежных дорог «ДорНИИ». – М. : Дориздат, 1943. – 68 с.
- 8 Яромко, В. Н. О совершенствовании методов расчета нежестких дорожных одежд / В. Н. Яромко // Строительная наука и техника. – 2007. – № 2. – С. 25–32.
- 9 Яромко, В. Н. Отечественный и зарубежный опыт конструирования и расчета дорожных одежд нежесткого типа : обзор. информ. / В. Н. Яромко. – Минск : БелдорНИИ, 2007. – 65 с.

УДК 625

## СОВРЕМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ И УЛИЦ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ

*А. В. КОРОНЧИК, Е. М. ЖУКОВСКИЙ*

*Белорусский национальный технический университет, г. Минск*

Процесс образования дефектов в виде ям на дорожных покрытиях представляет собой сложное взаимодействие между структурными слоями, выполненными из асфальтобетона, и агрессивными условиями в период зимы. Зимний сезон характеризуется высокой активностью атмосферных факторов, которые оказывают существенное воздействие на состояние дорожной инфраструктуры. Образование и развитие ям и трещин на дорогах негативно сказывается на безопасности дорожного движения, так как водители вынуждены выполнять дополнительные маневры, что повышает риск дорожных происшествий.

Исходя из наблюдений, существует непреложная связь между неблагоприятными атмосферными условиями и появлением дефектов на дорожных покрытиях. В случае обнаружения таких дефектов требуется оперативное вмешательство и реакция со стороны дорожных служб с целью обеспечения безопасности движения.

Традиционный метод аварийного ремонта включает в себя последовательный технологический процесс, в рамках которого специализированные бригады и машины проводят работы по подготовке рабочей зоны в соответствии с предварительно разработанным планом, а затем восстанавливают поврежденное покрытие с использованием специализированных ремонтных материалов. В холодное время года для эффективного ремонта применяются асфальтобетонные смеси специального типа с повы-

шенным содержанием битума и минерального порошка, которые подогреваются до высоких температур, позволяя проводить ремонт даже при низких температурах. Однако такие работы требуют значительных ресурсов в виде специальной техники и являются трудоемкими. В более благоприятные времена года (весной и осенью) предпочтительно использование традиционных горячих асфальтобетонных смесей, идентичных тем, которые применяются в конструктивных слоях дорожных покрытий.

Для решения проблемных участков дорожных покрытий проведен анализ научных исследований и предложений на рынке доступных материалов для проведения ремонтных работ. Использование органоминеральных смесей, смесей типа «patch» и «сделай сам», или смесей с использованием эмульсии [1, 2] не обеспечивает существенных преимуществ при зимних ремонтах и имеет некоторые недостатки, а использование сухих смесей, затворяемых водой [3], невозможно в условиях низких температур окружающей среды.

Авторы предлагают применение специализированных смесей, которые позволяют значительно ускорить процесс устранения дефектов на дорожных покрытиях и восстановить их структурную и техническую целостность. В условиях ограниченного времени и большого объема планируемых работ необходимо достичь высокой эффективности при минимальных затратах, что требует внедрения новых материалов.

При разработке данного материала основное внимание уделялось обеспечению его применимости в разнообразных погодных условиях, исключая необходимость предварительной подготовки места для ремонта, такой как высушивание выбоины, очистка и предварительная обработка. Технология устранения дефектов включает в себя заполнение их ремонтным материалом с избытком для последующего уплотнения. Этот процесс может включать в себя прокатку материала, а окончательное уплотнение достигается под действием движущегося транспорта [4].

Базовыми компонентами данного материала являются минеральные материалы и нефтяной шлам. Для достижения заданных характеристик конечного продукта требуется использование специальных добавок, которые улучшают адгезию и обеспечивают однородность смеси. Полученная смесь готова к применению и не требует предварительного перемешивания. Использование таких смесей имеет важное значение с точки зрения экологической безопасности, так как позволяет решить проблемы утилизации нефтяного шлама.

Следует отметить, что данный материал представляет собой временное решение и не способен выдерживать долгосрочное воздействие высокой транспортной нагрузки, а также многократные циклы замораживания и оттаивания. Следовательно, его использование рекомендуется в экстремальных условиях, когда необходимо обеспечить безопасность движения и предотвратить дальнейшее разрушение дорожного покрытия до его замены горячим асфальтобетоном. Материал, который был использован, может быть повторно использован как добавка при приготовлении новых партий для будущего ремонта.

Важно отметить, что данный материал обладает уникальными свойствами, которые не могут быть сравнены с асфальтобетоном, и, следовательно, технические нормативные и правовые документы, применяемые к асфальтобетону, не могут быть применены к данной смеси.

Основной характерной чертой рассматриваемого материала является его неспособность к работе в условиях сопротивления деформациям на изгиб с сохранением стабильной прочности на сжатие и раскол при широком диапазоне температур. Это свидетельствует о том, что данный материал, в отличие от материалов, связанных вязкими веществами, обладает изотропными свойствами.

На сегодняшний день основным направлением для улучшения качества универсальных композитных материалов является создание нанонаполненных композитов. Эти материалы содержат наполнитель, изготовленный с использованием нанотехнологий. Нанотехнологии применяются для обеспечения равномерного распределения и полного смешивания ультрамелких частиц наполнителя в микрогибридных композитах (наночастицы размером от 0,02 до 0,07 мкм). Эти исследования помогут привести к созданию модифицированных нанонаполнителем микрогибридных композитов.

В заключение авторами рекомендуется применение данного материала с целью обеспечения безопасности дорожного движения, в основном в зимних условиях, так как он является технически доступным и простым в использовании для различных организаций. Материал обладает устойчивостью к условиям хранения, может быть герметично упакован, не слеживается, и, следовательно, имеет преимущества по сравнению с другими аналогичными материалами. Использование этого материала не исключает проведение полноценного ремонта с использованием традиционных асфальтобетонных смесей для восстановления монолитности и целостности покрытия. Таким образом, достигается обеспечение безопасности на дорожных участках за счет предотвращения дальнейшего разрушения существующих выбоин.

## Список литературы

- 1 **Альаддесс, М. Х.** Инновационные технологии ямочного ремонта с применением холодной асфальтобетонной смеси и эмульсий / М. Х. Альаддесс // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2014. – № 3 (16). – С. 38–43. – EDN TDXEЕВ.
- 2 **Баландина, Т. В.** Современные способы ямочного ремонта автомобильных дорог и городских улиц с асфальтобетонным покрытием / Т. В. Баландина, А. В. Рудых // Молодежный вестник ИрГТУ. – 2016. – № 2. – С. 2. – EDN WALQAZ.
- 3 **Шевченко, В. А.** Составы и свойства сухой строительной смеси для ремонта автодорог с органической добавкой «эмульбит» / В. А. Шевченко, Л. А. Иванова, И. Я. Богданов // Журнал Сибирского федерального университета. Сер.: Техника и технологии. – 2010. – Т. 3, № 2. – С. 243–248. – EDN MЕНGKZ.
- 4 Современный ремонтный материал для устранения ямочности на дорожных покрытиях / Е. М. Жуковский [и др.] // Минск – Шанхай – Чанчунь: стратегия прорывного сотрудничества : сб. материалов науч.-практ. конф. (Минск, 21 апреля 2022 г.) / Белорусский национальный технический университет. – Минск : БНТУ, 2022. – С. 122–124.

УДК 625.042.3

## ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЗИМНИХ ЛЕСОВОЗНЫХ ДОРОГ С ДЛИТЕЛЬНЫМ СРОКОМ ЭКСПЛУАТАЦИИ

*К. В. ЛАДЕЙЩИКОВ, С. А. ЧУДИНОВ*

*Уральский государственный лесотехнический университет, г. Екатеринбург*

Недостаточная плотность лесных дорог для колёсного транспорта сдерживает развитие лесной отрасли как в Российской Федерации, так и в Республике Беларусь. Плотность и протяжённость лесных дорог, включая лесовозные, необходимо увеличивать, сроки вывозки древесины из леса надо продлевать и приближать к круглогодичным.

Лесные дороги – это целый комплекс инженерных и технических сооружений, который включает в себя дорожное полотно, водопропускные сооружения, производственные инфраструктуры для ремонта и содержания дорог. Лес образован совокупностью живых организмов (биотой) и неживой (абиотической) средой их обитания. Почва является важной средой жизни на Земле, она сформировалась последней (после воды и воздуха), так как для ее формирования необходимо было наличие первых двух сред, а также воздействие живого. Почва включает три физические фазы: твердое вещество, жидкость и воздух или газ.

В определённые времена года (весна, лето, осень) лесная почва находится в естественном «жизненном» цикле, на определённой глубине (до 0,5 м от поверхности) имеет низкую плотность и является не проходимой для колёсной техники.

Поэтому заготовку и интенсивный вывоз древесины из леса производят зимой по промёрзшей почве.

Промёрзший существующий грунт служит основанием зимней дороги. В качестве покрытия используется снег, который уплотняется под утепляющим влиянием окружающего воздуха и транспортных средств (снежно-ледяное покрытие). Лучшим покрытием зимней лесовозной дороги является лёд.

Сегодня актуальной является задача продления срока эксплуатации зимней лесовозной дороги. Эта задача усложняется тем, что в конце зимы, начале весны естественный источник тепла на нашей планете (Солнце) начинает поднимается к зениту и максимально воздействовать на поверхность Земли, включая трассы лесных дорог.

Естественное «сооружение» в лесу, которое может заблокировать влияние прямых солнечных лучей и отсрочить прогрев поверхности зимней дороги, увеличивая срок её эксплуатации – это сами растущие деревья, которые в ясную солнечную погоду образуют на поверхности дороги тени [1].

Тень – это пространственное оптическое дневное явление в безоблачную погоду в виде спроецированной на поверхность тёмной области от какого-либо предмета, в нашем случае от деревьев. Хвойные деревья способны образовывать большие теневые пятна. Солнечные лучи от Солнца «перехватываются» частями деревьев: кроны, ствола и т. д. [2].

Учитывая изложенное, при планировании лесовозной дороги зимнего действия на карте определяются лесной массив, где будут вестись заготовительные работы, существующие сети автомобильных дорог, включая лесовозные, и оптимальные направления транспортировки лесоматериала.



лов, на которых срок эксплуатации лесовозных автомобильных дорог будет более продолжительным [3].

Первым мероприятием определяют географические координаты участка заготовки (например, центральная точка лесного массива), для Свердловской области РФ – это северная широта и восточная долгота, измеряемые в градусах, минутах и секундах (при необходимости упрощения расчётов их можно перевести в дробные градусы).

Для дальнейшего наглядного примера и расчёта, примем географические координаты города Екатеринбург.

Географические, округлённые до минут, координаты центра города Екатеринбурга, северная широта –  $56^{\circ}50'$ ; восточная долгота –  $60^{\circ}35'$  (в переводе в дробные градусы это  $56,83^{\circ}$  и  $60,58^{\circ}$ ).

Для определения направления и времени распространения теней от временно сохранённых деревьев, быстроты и точности расчётов, включая визуализацию, удобно использовать существующий у архитекторов программный пакет ArchiCad используемый для расчётов и визуализации инсоляции.

Вычерчивание и планирование направления трассы выполняется стандартными инструментами в полуавтоматическом режиме, по геодезической подоснове (съёмке местности) при использовании масштаба.

Настройку параметров Солнца необходимо начинать с «дальней» вкладки (или предварительно настроив и расположив нужные иконки на видном месте): Вид → Параметры 3D-вида → Параметры 3D-проекции → Солнце... → Расположение проекта. С ручным или автоматическим вводом координат (ручной ввод для мест лесозаготовок предпочтительнее) и ручным вводом часового пояса (GMT, среднее солнечное время в Королевской обсерватории в Гринвиче, истинный полдень для Екатеринбурга GMT+5, – 13:00 местного времени на 2023 год).

Далее на вкладке «Солнце...» указать дату и время. Дата определяется с учётом максимально-возможного желаемого срока эксплуатации дороги, так как положение естественного источника тепла на нашей планете (Солнце) и его влияние увеличивается каждый день (начиная от зимнего солнцестояния до летнего солнцестояния), а тени от преград (деревьев) становятся всё короче. Время необходимо выставлять на полдень, так как в любой день в полдень самые короткие тени от преград (на примере Екатеринбурга +1 к Гринвичу).

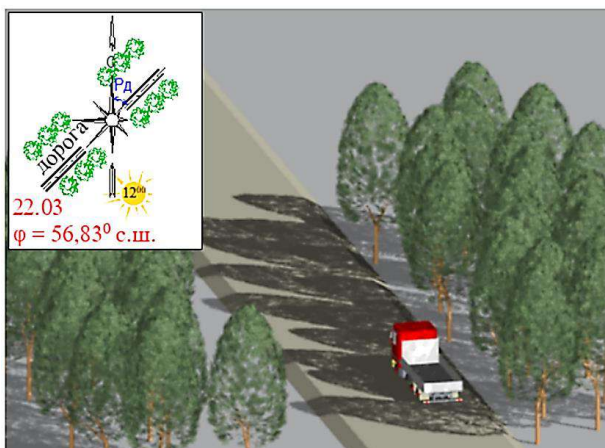


Рисунок 1 – Направление дороги юго-запад – северо-восток, полдень

Прокладывать трассу следует с учётом её максимального перекрытия тенью от высоких преград (деревьев), что позволит на 30 дней продолжительнее эксплуатировать её в зимний период [3] (рисунок 1).

Программный пакет ArchiCad – это эффективный инструмент, с помощью которого можно быстро, точно и наглядно воспроизвести распространение теней от преград на трассу дороги и определить наиболее оптимальный путь, обеспечивающий максимально длительный срок эксплуатации лесовозных автомобильных дорог.

#### Список литературы

- 1 Чудинов, С. А. Увеличение сроков эксплуатации зимних лесовозных дорог при блокировании солнечных лучей / С. А. Чудинов, К. В. Ладейщиков // Состояние и перспективы развития лесного комплекса в странах СНГ : сб. ст. II Междунар. науч.-техн. конф. в рамках Международного молодежного форума по лесопромышленному образованию (Лес-Наука-Инновации-2022), Минск, 06–09 декабря 2022 года / Белорусский государственный технологический университет. – Минск, 2022. – С. 78–82.
- 2 Чудинов, С. А. Особенности организации транспортировки лесоматериалов по зимним лесовозным дорогам / С. А. Чудинов, К. В. Ладейщиков // Логистические системы в глобальной экономике. – 2023. – № 13. – С. 155–159.
- 3 Чудинов, С. А. Способы прокладки трасс зимних лесных дорог с длительным сроком эксплуатации / С. А. Чудинов, К. В. Ладейщиков // Лесоэксплуатация и комплексное использование древесины : материалы V Всерос. науч.-практ. конф. / ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий им. акад. М. Ф. Решетнёва». – Красноярск, 2023. – С. 88–92.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕОМЕТРИИ ПРУЖИННЫХ ПРУТКОВЫХ КЛЕММ ПРОМЕЖУТОЧНОГО РЕЛЬСОВОГО СКРЕПЛЕНИЯ СБ-3 С ЦЕЛЬЮ ОПТИМИЗАЦИИ ИХ КОНСТРУКЦИИ

А. С. ЛАПУШКИН

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Важную роль в работе промежуточного рельсового скрепления выполняют элементы, осуществляющие функцию прижатия рельса к шпале. От их надежности зависит стабильность геометрии рельсовой колеи, что прямо влияет на безопасность движения. Многообразие существующих конструкций промежуточных рельсовых скреплений обусловлено их многофункциональностью, а постоянное совершенствование подвижного состава определяет появление новых конструкций. Изменения ходовых частей создают новые условия работы элементам узла скреплений, поэтому особую важность процедуре совершенствования дает отклик системы после внесенных изменений. При этом выбор более рациональных форм конструкций можно начать с определения зависимостей, задающих геометрическую форму элемента.

Поиск зависимости, образующей геометрическую форму, применительно к рельсовому скреплению СБ-3 можно осуществить на примере геометрии оси клеммы пружинной прутковой.

К клемме предъявляются особые требования по безопасности, определенные Техническим регламентом таможенного союза ТР ТС 003/2011 «О безопасности инфраструктуры железнодорожного транспорта», поэтому важно, чтобы новые решения геометрической формы не создавали нарушений данных требований.

На первом этапе после проведения измерений координат расположения оси клеммы в характерных точках (рисунок 1) составляется координатная модель (таблица 1) в декартовых координатах и переводится в полярную систему.

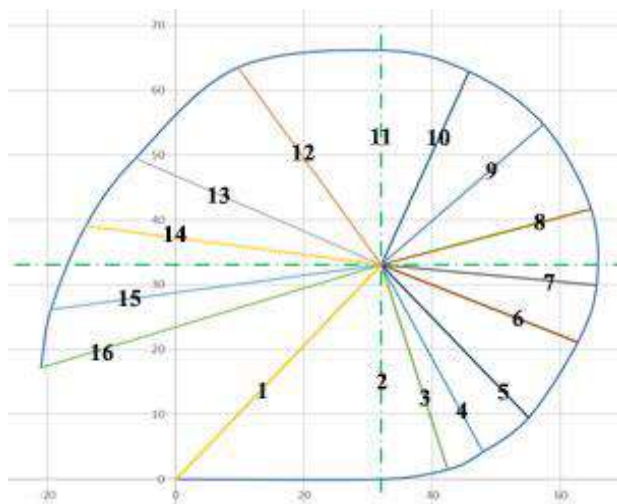


Рисунок 1 – Линия геометрической оси клеммы СБ-3 с указанием направляющих векторов

Таблица 1 – Координатная модель пружинной прутковой клеммы

№ вектора	Декартовы координаты				Полярные координаты			
	Координата $X_1$	Координата $Y_1$	Координата $X_2$	Координата $Y_2$	Длина, мм	Градусы	Минуты	Секунды
1	0	0,000	32	33,0545	46	44	4	16,846314
2	32	0,000	32	33,0545	46,01	18	16	10,523853
3	42,425	1,476	32	33,0545	33,05	10	33	3,840831
4	47,888	4,179	32	33,0545	33,25	15	37'0	4,949819
5	55,070	9,528	32	33,0545	32,96	24	19	18,446349
6	62,683	21,129	32	33,0545	32,95	15	54	18,236697
7	65,623	29,915	32	33,0545	32,92	20	1	0,616823
8	64,767	41,640	32	33,0545	33,77	25	53	47,182143
9	57,321	54,741	32	33,0545	33,87	24	41	25,582559
10	45,721	62,844	32	33,0545	33,34	24	24	48,686427
11	32,183	66,109	32	33,0545	32,806	36	33	3,835122
12	9,716	63,464	32	33,0545	33,06	30	32	32,343691
13	-6,226	49,457	32	33,0545	37,70	15	51	35,294182
14	-14,004	39,000	32	33,0545	41,60	14	58	54,378387
15	-19,393	26,181	32	33,0545	46,38	9	3	8,684901
16	-20,976	17,191	32	33,0545	51,85	29	15	30,551902

В декартовых координатах не в полной мере представляется возможным произвести описание зависимости. Возможность разделить на части исследуемую кривую позволяет подобрать уравнение функции только лишь на каждый участок, однако в этом случае будет необходимо принимать допущения на точки сопряжения этих участков.

Для более точного определения функции криволинейного изгиба следующим действием полученные точки аппроксимируются в полярных координатах. Таким образом, производится подбор наиболее подходящей под описание функции.

В результате проведения процедуры аппроксимации формула геометрической оси пружинной клеммы имеет следующий вид

$$r = -80 \sin\left(\frac{\rho}{4} + 3\right) + 22. \quad (1)$$

Геометрическая форма пружинной прутковой клеммы и график полученной функции (формула 1) в полярных координатах представлены на рисунке 2.

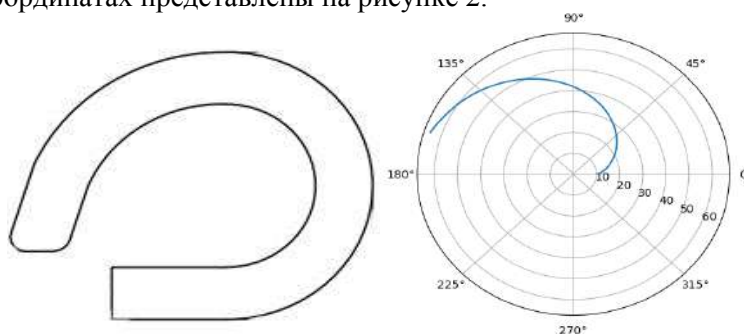


Рисунок 2 – Сопоставление геометрической формы клеммы и графика полученной функции

В дальнейшем, оптимизируя полученную функцию, можно претендовать на снижение напряжений в наиболее опасных сечениях клемм при их изготовлении.

УДК 625.1

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ И БЕСПЕРЕБОЙНОСТИ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ В МИНСКОМ МЕТРОПОЛИТЕНЕ

*К. С. МАЛАЩЕНКО*

*«МИНСКМЕТРОПРОЕКТ», Республика Беларусь*

*Н. В. ДОВГЕЛЮК, И. В. МАРТЫНОВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Метрополитен представляет собой один из видов городского пассажирского транспорта. Его станции предназначены только для посадки и высадки пассажиров и располагаются друг от друга на расстоянии от 1 до 2 километров. Конечные станции имеют путевое развитие для оборота и отстоя подвижного состава. Через каждые 6–8 км на линии сооружаются промежуточные станции с путевым развитием для диспетчерского регулирования движения, возможности оборота состава на промежуточной станции или постановки неисправного состава на тупиковый путь [1].

При достаточно развитой сети метрополитен является основным видом городского пассажирского транспорта. Для удовлетворения потребности населения в перевозках и получения пропускной способности до 40–50 пар поездов в час линии метрополитена оснащаются комплексом технических средств [2].

Особая роль в обеспечении мобильности городов отводится метрополитену. Первоначально линии метро строили, чтобы разгрузить улицы больших городов; в настоящее время метрополитены фактически стали основным структурообразующим элементом современного города, на основе которого строится политика обеспечения мобильности населения.

Метрополитен является самым эффективным видом городского пассажирского транспорта с точки зрения потребления энергии и занимаемых площадей. Расчеты французских специалистов показали, что для перевозки 50 тыс. пассажиров в одном направлении при использовании метрополитена требуется коридор шириной 9 м, автобусов – 35 м, личных автомобилей – 75 м. Реализация в метрополитене механизма возврата электроэнергии при торможении (рекуперация) обеспечивает ощутимую экономию электроэнергии. Метрополитены играют ведущую роль при интеграции транспортной, градостроительной и социальной политики, вместе определяющих уровень мобильности.

Интеграция отдельных видов транспорта в единый комплекс способствует совершенствованию и упрощению тарифной системы для всех операторов. Наряду с этим внедрение бесконтактных смарт-карт, которыми оплачивается проезд на разных видах транспорта, и развитие автоматизированных систем информирования пассажиров до и во время поездки способствуют привлекательности и удобству пользования общественным транспортом. Бесперебойная работа этих сервисов возможна только при эффективной координации работы операторов, которые в этом процессе метрополитенов играют ведущую роль [3].

Среди видов городского транспорта метрополитен находится на острие внедрения инновационных технологий, направленных на надежность эксплуатационной работы и упрощение технического обслуживания. Например, внедрение системы автоматического ведения поездов без машиниста приводит к росту производительности труда, повышению уровня безопасности и регулярности движения.

С целью обеспечения безопасного и бесперебойного движения поездов с установленными скоростями и интервалами в метрополитенах применяются такие системы, как СЦБ, устройство контроля проникновения в тоннель – УКПТ, контроль технического состояния мониторинга за нагревом букс – КТСМ и устройство контроля схода подвижного состава и волочащихся деталей – УКСПС.

Устройства СЦБ, при которых все изменения показаний сигналов на междустанционном перегоне регулируются подвижным составом автоматически, называются автоблокировкой. Автоблокировка в сочетании с электрической централизацией на станциях обеспечивает безопасность движения поездов как по перегонам, так и станциям, одновременно сокращая время на сношения при движении поездов и на приготовление стрелок (при заделке маршрута).

В современных системах электрической централизации и автоблокировки применяются исключительно световые сигналы (светофоры), дающие одинаковые показания и днём, и ночью. Это создает единую систему сигнализации и наилучший световой эффект, особенно удобные в условиях метрополитена, где количество сигналов сравнительно велико.

Помимо автоблокировки в метрополитенах применяется комплекс устройств, образующих систему сигнализации АЛС-АРС. АЛС-АРС – автоматическая локомотивная сигнализация с автоматическим регулированием скорости, которая обеспечивает подачу сигнальных показаний в кабину моторвагонного подвижного состава, непрерывный контроль за соблюдением скоростного режима, а также осуществляет автоматическое торможение в случае превышения разрешенной скорости до допустимой на данном участке пути; в случае неисправностей рельсовых цепей при нахождении состава перед запрещающим показанием светофора и при превышениях скорости без подтверждения восприятия торможения машинистом поезда обеспечивает полную остановку поезда.

Устройства УКПТ (устройство контроля проникновения в тоннель) предотвращают несанкционированный проход посторонних лиц в тоннели метрополитена. Эта система представлена системой лазеров, устанавливаемых в пределах станции, а также устройств, монтируемых на служебные двери. В случае открытия служебной двери или пересечения лазера при включенной системе происходит срабатывание сигнализации, что, в свою очередь, оповещает сотрудников метрополитена о несанкционированном проникновении на служебный объект.

Система КТСМ представляет собой набор датчиков, которые контролируют физическое состояние подвижного состава, например нагрев букс, наличие волочащихся деталей и т. д. Данная система в Минском метрополитене представлена исключительно на Зеленолужской линии.

УКСПС – устройство контроля схода и волочения деталей подвижного состава, контролирует нижний габарит подвижного состава. Состоит из специальной металлической рамки, которая сбивается при нарушении габарита, и схемы, воспринимающей размыкание контура рамки. К устройствам контроля схода подвижного состава относятся датчики, токопроводящие планки и перемычки, контрольные приборы и кабели СЦБ. Датчики УКСПС устанавливаются перед станцией на расстоянии, обеспечивающем остановку поезда у входного светофора при нарушении их работы,

как правило, служебным торможением. На двухпутных линиях датчики УКСПС устанавливаются только для движения по правильному пути.

При автоматической блокировке с трехзначной сигнализацией датчики УКСПС устанавливаются на втором участке приближения к станции на расстоянии от предупредительного светофора, обеспечивающем восприятие машинистом изменения показания предупредительного светофора при нарушении датчика УКСПС последним скатом хвостового вагона или выступающими за пределы габарита подвижного состава по низу свисающими частями хвостового вагона. Это расстояние должно быть не менее максимальной длины обращаемого на участке подвижного состава с добавлением 200 м с учетом времени переключения показания предупредительного светофора и времени его восприятия машинистом.

Рассмотренные мероприятия по гражданской обороне обеспечивают безопасный и бесперебойный пропуск поездов в Минском метрополитене.

#### Список литературы

1 СН 3.03.05-2020. Метрополитены = Метрапалітэны : строительные нормы Республики Беларусь : утв. М-вом архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь 16.11.20 № 88 : введ. с отменой ТКП 45-3.03-115-2008 (02250). – Минск : Минстройархитектуры, 2021. – IV. – 84 с.

2 СН 2.01.01-2022. Основы проектирования строительных конструкций = Асновы праектавання будаўнічых канструкцый : строительные нормы Республики Беларусь : утв. М-вом архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь 30.06.22 № 65 : взамен СН 2.01.01-2019. – Минск : Минстройархитектуры, 2022. – IV. – 60 с.

3 ВСН 127-91. Нормы по проектированию и производству работ по искусственному понижению уровня подземных вод при сооружении тоннелей и метрополитенов : Минтрансстрой СССР. – Изд. офиц. – М. : Проект.-технол. ин-т трансп. стр-ва, 1992. – 98 с.

УДК 625.025.2

## РАЗВИТИЕ СИСТЕМЫ ВЕДЕНИЯ ПУТЕВОГО ХОЗЯЙСТВА БЕЛОРУССКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

*Н. В. МАМСИКОВ, Н. Н. КРАВЧЕНКО, Е. В. НИКИТИН*

*Белорусская железная дорога, г. Минск*

*Т. А. ДУБРОВСКАЯ, П. В. КОВТУН*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В настоящее время перед путевым хозяйством Белорусской железной дороги стоит острая необходимость принятия кардинальных мер, направленных на повышение эффективности его работы. Это обусловлено определенными внешними и внутренними факторами, которые оказывают значительное влияние на работу путевого хозяйства на текущем этапе.

С целью приведения в соответствие современным требованиям эксплуатации железнодорожного пути и снижения затрат на его содержание требуется переход на новую систему административного деления. Из-за нехватки контингента работающих существующая система не позволяет в полной мере выполнять основные виды путевых работ с соблюдением всех этапов технологического процесса, что, в свою очередь, влияет на безопасность производственного процесса и, как следствие, приводит к нарушениям в работе технических средств.

Практика ОАО «РЖД» показывает, что функции проверки пути и устранения обнаруженных неисправностей целесообразно разделить, так как одной из первостепенных задач в текущем содержании железнодорожного пути являются периодические осмотры и проверки железнодорожного пути, включая рельсовое и стрелочное хозяйства, искусственные сооружения, земляное полотно и другие путевые устройства. Каждая бригада на своем рабочем отделении осуществляет весь комплекс работ по текущему содержанию железнодорожного пути. Это влияет на качество выполнения работ, так как значительную часть времени устранение неисправностей выполняется в отсутствие бригадира пути, который в этот период занят осмотром пути. Для этого целесообразно ввести на эксплуатационном участке контролеров по проверке пути, освободив от постоянного выполнения этих функций мастеров дорожных и бригадиров пути.

Для реализации этих подходов приказом Начальника Белорусской железной дороги была утверждена Концепция развития путевого хозяйства Белорусской железной дороги на 2022–2030 годы [1], которая включает основные ориентиры развития, направленные на обеспечение безопасности движения поездов, повышение уровня планирования и рационального распределения ресурсов, разделение

функций контроля и содержания железнодорожного пути, снижение трудоемкости выполняемых работ и среднесписочной численности работников путевого хозяйства за счет внедрения нового СПС, улучшение системы контроля и повышения надежности работы железнодорожного пути и др.

В рамках Концепции пересмотрено Положение о системе ведения путевого хозяйства Белорусской железной дороги СТП БЧ 56.388-2022, утвержденное приказом от 14.05.2022 № 370НЗ [2], в котором пересмотрена классификация железнодорожных путей с учетом существующей грузонапряженности, а также планирование ремонтов железнодорожных путей исходя из фактической потребности с введением новых промежуточных работ по текущему содержанию железнодорожного пути.

Изменения в подходах назначения ремонтов железнодорожного пути в зависимости от конкретных условий эксплуатации железнодорожного пути положительно скажется на экономической составляющей содержания железнодорожного пути в части периодичности ремонтов и применяемых материалов верхнего строения пути. Реализация Концепции в совокупности с правильной организацией труда повысит уровень текущего содержания железнодорожного пути и обеспечит качественный перевозочный процесс. При этом необходимо соблюдать технологические процессы и требования безопасности производства работ, обеспечивая равнозначную нагрузку на руководителей среднего звена.

Распределение дистанции пути на участки, околотки и рабочие отделения производится при помощи приведенной длины, которая учитывает разницу в трудоемкости содержания различных категорий пути и стрелочных переводов, то есть она позволяет сделать их равновеликими по трудоемкости содержания. Машинизированное содержание железнодорожного пути в зависимости от грузонапряженности участка позволяет увеличить приведенную длину.

На направлениях с малыми и средними размерами движения, где конструкция железнодорожного пути состоит из бесстыкового или звеньевоего пути на железобетонных шпалах, рельсов Р-65 новых или старогодних, в том числе отремонтированных, а также имеющих автотракторную технику для доставки персонала, рабочего инструмента и материалов к местам производства работ, такие околотки могут не делиться на рабочие отделения, а иметь одну или максимум две путевые бригады во главе с дорожным мастером или освобожденным бригадиром пути. В функции таких бригад входит проведение осмотров и проверок пути, выполнение неотложных и первоочередных работ.

Путевые бригады преимущественно будут базироваться на железнодорожных станциях, тем самым сокращая количество бытовых, кладовых помещений и пунктов обогрева, что, в свою очередь, приведет к сокращению эксплуатационных затрат на их содержание и позволит улучшить сохранность товарно-материальных ценностей.

Руководит всеми бригадами пути на рабочих отделениях дорожный мастер околотка, который несет ответственность за безопасность движения поездов на околотке, является материально ответственным лицом и непосредственно подчиняется начальнику участка.

Для выполнения планово-предупредительных работ на участке создают укрупненную механизированную бригаду во главе с дорожным мастером и одним или двумя бригадирами пути. Дорожный мастер несет ответственность за своевременность и качество планово-предупредительных работ, безопасность движения поездов при производстве работ, охрану труда.

При дефиците рабочей силы укрупненная бригада для планово-предупредительных работ может создаваться одна на дистанцию или на несколько участков.

В зимний период укрупненные бригады направляются на снегоборьбу или на их основе организуются дополнительные бригады по неотложным работам.

На узловых околотках, обслуживающих внеклассные и станции 1-х, 2-х классов, могут организовываться бригады по содержанию стрелочных переводов и рельсовых цепей.

В функции начальника участка входит общее руководство текущим содержанием пути на участке. Он контролирует работу дорожных мастеров и бригадиров пути, организует планово-предупредительные и неотложные работы, несет ответственность за безопасность движения поездов, охрану труда, за исправность и надежность состояния пути и устройств.

Численность путевых бригад на рабочих отделениях определяется исходя из требуемой (нормативной) численности необходимых для обеспечения основных технологических процессов, которые невозможно заменить машинизированным способом.

Неотложные работы, для выполнения которых требуется бригада численностью больше, чем бригада на рабочем отделении (замена остродефектных рельсов, крестовин, рихтовка пути и дру-

гие), производятся либо совместно несколькими малыми бригадами, либо укрупненной бригадой по указанию начальника участка.

Результаты расчета контингента работающих согласно Концепции развития путевого хозяйства Белорусской железной дороги на 2022–2030 годы позволяют сделать выводы о том, что переход на новое административное деление дистанции целесообразен. Это практически то количество квалифицированного персонала, которое оптимизируется при новом административном делении и укомплектование контролерами пути можно произвести освободившимися мастерами дорожными и бригадами пути.

Все это в совокупности с правильной организацией труда повысит уровень текущего содержания железнодорожного пути и обеспечит качественный перевозочный процесс.

#### Список литературы

1 Концепция развития путевого хозяйства Белорусской железной дороги на 2022–2030 гг. – Введ. 28.12.2022 № 404Н. – Минск : Белорусская железная дорога, 2021. – 16 с.

2 СТП БЧ 56.388-2022. Положение о системе ведения путевого хозяйства Белорусской железной дороги. – Введ. 20.06.2022. – Минск : Белорусская железная дорога, 2022. – 30 с.

3 Об утверждении нормативов численности работников, занятых текущим содержанием пути и искусственных сооружений : приказ. – Введ. 01.10.2017 – Минск : Белорусская железная дорога, 2017. – 24 с.

4 Правила технической эксплуатации железной дороги в Республике Беларусь : утв. М-вом трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь 25.11.2015. – Минск, 2016. – 190 с.

УДК 625.717

## МОНИТОРИНГ ИСКУССТВЕННЫХ ПОКРЫТИЙ ЛЕТНОГО ПОЛЯ АЭРОДРОМОВ ГОСУДАРСТВЕННОЙ АВИАЦИИ

*С. В. МИНАЕВ, Д. Ю. МЯГКОВ*

*Белорусская государственная академия авиации, г. Минск*

Качественное состояние аэродромных покрытий как один из факторов безопасности полетов воздушных судов достигается комплексом мероприятий, направленных на поддержание и восстановление первоначальных эксплуатационных свойств покрытий. Постоянный мониторинг покрытий летного поля позволяет не допустить появления дефектов и повреждений на «здоровом» покрытии и предупредить их появление после ремонта.

Прежде чем приступить к рассмотрению характерных повреждений аэродромных покрытий, целесообразно четко разделить понятия «дефект» и «повреждение».

Дефект – несоответствие конструкций установленным параметрам, нормативным требованиям, проекту.

Повреждение – это разрушение конструкции вследствие проявления дефекта. Например, перекосы штырей в температурных швах бетонных покрытий – это дефект конструкции, а разрушение (растрескивание) бетона в зоне температурного шва из-за перекоса штырей – это повреждение.

Таким образом, дефекты конструкций возникают вследствие ошибок проектирования, а также вследствие нарушения технологии производства работ. Повреждения аэродромных покрытий проявляются в процессе эксплуатации и являются следствием проявления дефекта.

Различного рода повреждения аэродромных покрытий происходят в результате действия на них эксплуатационных нагрузок и природно-климатических факторов. Процессы повреждения развиваются непрерывно, проходя условно несколько стадий – от незаметных для невооруженного глаза дефектов до разрушений, представляющих серьезную опасность для воздушных судов.

Для выявления дефектов и повреждений производится техническая диагностика покрытия, которая изучает и устанавливает признаки и причины повреждения отдельных элементов аэродромных покрытий.

Виды диагностики покрытий:

– визуальный осмотр (выявляются видимые дефекты и повреждения конструкций: трещины, отколы углов и кромок плит, шелушение, выбоины и т. п.; используются простейшие приспособления и инструменты);

– инструментальный контроль (выявляются скрытые дефекты и повреждения, которые не могут быть обнаружены визуально);

– инженерный анализ (производится сбор, хранение, выдача информации по итогам диагностики предыдущих объектов).

Согласно требованиям нормативных правовых актов два раза в год, весной и осенью, производится осмотр и оценка состояния аэродромных покрытий. Осмотр производится силами личного состава аэродромно-эксплуатационного подразделения.

Выявленные неисправности аэродромных покрытий необходимо своевременно устранять. Систематические работы по текущему содержанию аэродрома увеличивают срок его службы.

Результаты осмотра оформляются в журнале технического состояния аэродромных покрытий (в таблице 1 приведены наиболее распространенные виды дефектов искусственных аэродромных покрытий и причины их появления).

Таблица 1 – Виды дефектов искусственных аэродромных покрытий и причины их появления

Виды дефектов	Причины появления
Трещины	Усадка бетона, температурные колебания, сверхдопустимые нагрузки при эксплуатации, недопустимые деформации основания
Разрушение кромок плит	Неравномерные нагрузки по площади покрытия, пучение грунта, температурные напряжения, нарушение технологии строительства, механические повреждения при очистке швов
Отколы углов плит и сколы бетона	Производственные дефекты, вымывание основания, нарушение требований к устройству деформационных швов
Шелушение (разрушение верхнего слоя покрытия)	Нарушение технологии строительства, замерзание свежесуложенного бетона, гидрологические и климатические условия, воздействие струй реактивных двигателей, воздействие агрессивных жидкостей, химических реагентов
Вертикальное смещение плит	Деформация основания, недопустимые эксплуатационные нагрузки
Коробление плит	Ошибки при проектировании, отсутствие свободы горизонтального перемещения.

Анализ выявленных в ходе осмотра повреждений искусственных покрытий взлетно-посадочных полос аэродромов государственной авиации Республики Беларусь (результаты которого отражены в таблице 2) позволяет сделать вывод о возможных причинах их появления:

- некачественное строительство покрытия;
- эксплуатация покрытий воздушными судами с полетной массой, превышающей расчетную;
- переувлажнение основания вследствие неисправности дренажно-водосточной системы;
- динамические воздействия от колес шасси авиационной техники;
- динамические и температурные воздействия от газовых струй авиационной техники;
- нарушения правил содержания;
- несвоевременный или низкого качества текущий ремонт покрытия;
- неправильное использование тепловых машин при удалении гололедных образований.

Таблица 2 – Результаты осмотра искусственных покрытий взлетно-посадочных полос аэродромов государственной авиации

Наименование дефекта	Объемы дефектов по аэродромам Барановичи/Мачулищи/Лида			
	2020 год	2021 год	2022 год	2023 год
Шелушение по всей плите	42/2454/1801	42/3659/1939	230/3013/1912	574/2666/1947
Сколы кромок и углов	174/-/776	221/265/1461	570/257/1307	701/646/1314
Очаговое шелушение, раковины, выбоины	314/10958/-	512/3501/-	716/3443/-	1130/2850/-
Оголение арматуры	-	-/133/-	-/113/-	-
Поверхностные и усадочные трещины	34/-/212	68/201/216	354/201/216	713/189/216
Разрушение верхнего слоя	42	42	181	181
Сквозные трещины	18/-/24	40/-/26	-/-/26	-/132/26
Просадка плиты		-/7/-	-/7/-	-/9/-
Уступы смежных плит	-/-/10	-/14/10	-/14/31	-/18/35
Количество плит ПАГ, подлежащих замене	-	-	-	-
ВСЕГО дефектных плит	624/13429/2823	897/7780/3652	2051/7048/3492	2631/7759/3538
ВСЕГО плит	3432/14270/8340	3432/14270/8340	3432/14270/8340	3432/14270/8340
Процент дефектных плит	18,2/94,1/34	26,1/54,52/44	59,8/49,4/42	76,7/54,37/42



Таким образом, проведенный мониторинг позволит осуществлять качественную подготовку аэродрома к эксплуатации в зимний период.

#### Список литературы

- 1 Горецкий, Л. И. Эксплуатация аэродромов : учеб. для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Транспорт, 1986. – 280 с.
- 2 Эксплуатация аэродромов : учеб. пособие / Д. Ю. Мягков [и др.]. – Минск : ВА РБ, 2021. – 273 с.

УДК 625.17

## АЛГОРИТМ РАСЧЕТА КОНТИНГЕНТА МОНТЕРОВ ДЛЯ СОДЕРЖАНИЯ ПУТЕВЫХ ОБЪЕКТОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

*В. А. МУСИЛОВИЧ, О. В. ОСИПОВА*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

*Н. Н. КРАВЧЕНКО*

*Белорусская железная дорога, г. Могилев*

В настоящее время активно развивается автоматизация в путевом хозяйстве. В дистанциях пути применяются автоматизированные системы регистрации «окон» АС «Окна», регистрации предупреждений поездам АС «Пред» и др. Автоматизирована система оценки состояния рельсовой колеи по показаниям путеизмерительных вагонов [1]. Внедрена автоматизированная система комплексной диагностики объектов инфраструктуры АСКД-И «ЭКСПЕРТ» и ПГРК УРРАН «Управление развитием рисков и анализ надежности [2, 3]. Рассматриваются возможности по созданию автоматизированной системы текущего содержания железнодорожного пути. Актуальным направлением является автоматизация инженерных расчетов в путевом хозяйстве. На данный момент расчет численности работников, занятых текущим содержанием пути и искусственных сооружений на Белорусской железной дороге выполняется преимущественно ручным способом, что является весьма трудоемким процессом.

Расчет численности работников, занятых текущим содержанием пути и искусственных сооружений производится в соответствии с приказом № 235Н «Об утверждении нормативов численности работников, занятых текущим содержанием пути и искусственных сооружений» от 28.07.2017 [4]. Нормативы численности разработаны на основе применяемых методических и нормативных документов, технологической документации, рабочих инструкций, фотохронометражных наблюдений, статистических данных. При разработке нормативов численности обработка исходных данных производилась методами корреляционного и регрессивного анализа, в качестве показателей, характеризующих взаимосвязь величин, использовался коэффициент корреляции Пирсона и коэффициент ранговой корреляции Спирмена.

На первом этапе разработки автоматизированной программы составляется алгоритм расчета численности работников, занятых текущим содержанием главных путей. В первую очередь определяется значение нормативной численности работников, занятых текущим содержанием главных путей, которое выбирается из таблицы № 1 «Нормативы численности работников, занятых текущим содержанием главных путей» приказа [5] в зависимости от конструкции пути, класса пути и грузонапряженности. Для этого путь необходимо разделить на участки с одинаковыми показателями грузонапряженности, класса и конструкцией верхнего строения пути (ВСП).

Грузонапряженность ( $G$ ) вводится в численном виде в млн т·км бр. на 1 км в год. Класс пути ( $K_n$ ) выбирается из значений 1, 2, 3, 4, 3-4, 5. Конструкция ВСП характеризуется следующими показателями: конструкция пути ( $t_n$ ), длина рельса (плети) ( $l_p$ ), тип рельс ( $t_p$ ), тип шпал ( $t_{ш}$ ), тип скрепления ( $t_c$ ), тип балласта ( $t_6$ ) и протяженности участка ( $l_y$ ).

Конструкция пути ( $t_n$ ) определяется двумя значениями: «звеньевой» и «бесстыковой». При выборе конструкции пути ( $t_n$ ) = звеньевой необходимо ввести длину рельса ( $l_p$ ), которая выбирается из значений «12,5 м» и «25 м». При выборе конструкции пути ( $t_n$ ) = бесстыковой необходимо ввести среднюю длину плети ( $l_n$ ), которая вводится в численном значении в метрах. Тип рельс ( $t_p$ ) выбирается из значений «Р50», «Р65» и «Р75». Тип шпал ( $t_{ш}$ ) определяется значениями «железобетонные»

и «деревянные». При типе шпал ( $t_{ш}$ ) = железобетонные тип скрепления ( $t_c$ ) может выбираться из значений «КБ», «СБ» и «Другое». При типе шпал ( $t_{ш}$ ) = деревянные тип скрепления ( $t_c$ ) может быть выбран из значений «До» и «Другое». Тип балласта ( $t_б$ ) принимается из значений: «щебеночный», «гравийно-песчаный», «гравий карьерный» и «песчаный». В конце вводится протяженность участка ( $l_y$ ), которая является развернутой длиной в км.

После ввода вышеперечисленных данных производится расчет нормативной численности работников, занятых текущим содержанием главных путей. Расчет нормативной численности производится в следующей последовательности:

1 Определение конструкции пути ( $t_n$ ). Производится сортирование значений нормативов, так как при различных типах конструкции пути ( $t_n$ ) имеются разные численные показатели нормативов численности. При любом из двух значений («звеньевой» и «бесстыковой») типа пути ( $t_n$ ) имеется 5 классов пути (1-й, 2-й, 3-й, 4-й, 3–4-й).

2 Определение класса пути ( $K_n$ ). После определения конструкции пути ( $t_n$ ), значения нормативов сортируются по значению класса пути ( $K_n$ ) и грузонапряженности.

3 Определение грузонапряженности ( $G$ ). Грузонапряженность ранжируется показателями: до 1, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 70, 80 и выше. Если значения заданной грузонапряженности не равны заданным показателям, то значение норматива определяется путем интерполяции известных значений.

После определения норматива численности работников, занятых содержанием главных путей ( $N_{н.гл}$ ), его значение умножается на протяженность участка ( $l_y$ ). Это произведение даст значение численности работников, занятых содержанием главных путей ( $N_{ч.гл}$ ). Данное действие будет иметь следующий математический вид:

$$N_{ч.гл} = N_{н.гл} l_y. \quad (1)$$

Для последующего упрощения ввода данных все заданные характеристики при расчете численности работников, занятых текущим содержанием главных путей, при необходимости будут использоваться в дальнейших расчетах, что позволит избежать повторного ввода этих характеристик.

По такому же алгоритму определяется численность монтеров пути на текущее содержание приемоотправочных путей (3–4-го класса).

Норматив численности работников пути, занятых текущим содержанием станционных, подъездных и прочих путей (5-го класса) определяется по таблице № 2 [5]. Норматив численности зависит от значений класса пути ( $K_n$ ), типа шпал ( $t_{ш}$ ), типа балласта ( $t_б$ ) и типа рельс ( $t_p$ ). По аналогии с формулой (1) численность работников, занятых текущим содержанием станционных, подъездных и прочих путей ( $N_{ч.ст}$ ) определяется произведением значений норматива численности ( $N_{н.ст}$ ) и длины участка ( $l_y$ ).

Определение нормативной численности работников, занятых содержанием стрелочных переводов, производится в соответствии с таблицей № 3 «Нормативы численности работников, занятых текущим содержанием стрелочных переводов» [5]. Норматив зависит от показателей значений грузонапряженности ( $G$ ), класса пути ( $K_n$ ), типа рельсов ( $t_p$ ) и наличия централизации ( $t_{пер}$ ). Далее определяется численность работников ( $N_{ч.сп}$ ), занятых текущим содержанием стрелочных переводов, путем произведения количества стрелочных ( $n_{сп}$ ) на норматив численности ( $N_{н.сп}$ ).

Кроме того, необходимо учесть конструктивные и эксплуатационные факторы с помощью введения поправочных коэффициентов  $K_3$  из таблицы № 5 приказа [5]. В итоге общая численность монтеров пути на текущее содержание пути и стрелочных переводов будет рассчитываться как сумма вышеперечисленных значений

$$N = N_{ч.гл} K_3^{гл} + N_{ч.ст} K_3^{ст} + N_{ч.сп} K_3^{сп}, \quad (2)$$

где  $K_3^{гл}$ ,  $K_3^{ст}$ ,  $K_3^{сп}$  – поправочные коэффициенты на условия эксплуатации для главных, станционных и прочих путей и стрелочных переводов.

#### Список литературы

- 1 СТП БЧ 56.361-2017. Система диагностики и оценки состояния объектов инфраструктуры Белорусской железной дороги. Эксплуатационно-технические требования и требования к проведению работ по диагностике сооружений железнодорожного пути : утв. приказом зам. Нач. Бел. ж. д. от 06.04.2017 № 388НЗ. – Минск, 2017. – 30 с.
- 2 Методика расчета, оценки и прогноза предотказного состояния рельсовой колеи : утв. Распоряжением ОАО «РЖД» от 31.07.2014 г. № 1777р. – 22 с.
- 3 Автоматизированная система комплексной диагностики железнодорожной инфраструктуры (АСКД-И) «ЭКСПЕРТ» / Акционерное общество «Научно-производственный центр информационных и транспортных систем». – 2015. – 29 с.

4 Об утверждении нормативов численности работников, занятых текущим содержанием пути и искусственных сооружений : приказ Бел. ж. д. от 28.07.2017 № 235Н.

5 СТП БЧ 56.388-2022. Положение о системе ведения путевого хозяйства Белорусской железной дороги : утв. приказом зам. Нач. Бел. ж. д. от 14.05.2022 № 370НЗ. – Минск, 2022. – 30 с.

УДК 624.154.5:691.32

## ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ НАСЫПИ МИНИМАЛЬНОГО ОЧЕРТАНИЯ ИЗ УСЛОВИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ЕЕ ОТКОСОВ

*А. Н. НЕВЕЙКОВ*

*Государственное предприятие «Институт “Белжелдорпроект”», г. Минск, Республика Беларусь*

*А. В. ЛУКАСЕВИЧ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Устройство земляного полотна входит в перечень объектов, подлежащих подтверждению соответствия требованиям безопасности ТР ТС 003/2011 [1]. В соответствии с данным техническим регламентом «выбранные проектировщиком (разработчиком) конструкции объектов технического регулирования настоящего технического регламента должны быть безопасны в течение назначенного срока службы и (или) до достижения назначенного ресурса, в течение назначенного срока хранения, а также должны выдерживать воздействия и нагрузки, которым они могут подвергаться в процессе эксплуатации». Таким образом, при проектировании и строительстве земляного полотна необходимо обеспечить требуемый уровень его надежности по прочности, устойчивости и деформативности от движения поездов в течение срока эксплуатации при минимальных затратах, максимальном сохранении ценных пахотных земель и минимальном ущербе окружающей среде. Этим требованиям удовлетворяет проектирование насыпи минимального очертания.

Проектирование земляного полотна железных дорог в Республике Беларусь осуществляется с учетом требований ТКП 45-3.03-163-2009 «Железные дороги. Земляное полотно. Правила проектирования» [2] и СНБ 3.03.01-98 «Железные дороги колеи 1520 мм» [3].

Пробелом отмеченных ТНПА является то, что проектировщик, по сути, не отвечает за принятые проектные решения по земляному полотну, применяя типовые решения, отраженные в ТНПА, что совершенно недопустимо, так как не требуется их дополнительное обоснование расчетами по устойчивости, прочности, допустимым осадкам. Это создает неопределенность в проектировании и противоречит требованиям безопасности [1], как будет показано ниже. Такой подход к проектированию нуждается в пересмотре, и все проектные решения по земляному полотну должны подкрепляться расчетами. Однако согласно ТНПА этого не требуется. При однородном грунте, отсутствии сложных инженерно-геологических условий и подтопления, высоте насыпи или глубине выемки до 12 м проектировщик обязан принять следующую крутизну откосов, укрепленных посевом трав [2, 3]:

- для дренирующих грунтов (крупнообломочные грунты, пески крупные и средние) – 1:1,5;
- пески мелкие и пылеватые – 1:1,5 при высоте откоса до 6 м; 1:1,75 в нижней части откоса (высота до 6 м) и 1:1,5 в верхней части откоса (высота от 6 до 12 м);
- глинистые грунты – 1:1,75 при высоте откоса до 6 м; 1:2 в нижней части откоса (высота до 6 м) и 1:1,75 в верхней части откоса (высота от 6 до 12 м).

В иных случаях, а также при применении указанных выше однородных грунтов с повышенным их влагосодержанием требуется индивидуальное проектирование земляного полотна [2, 3].

Нами выполнены проверочные расчеты устойчивости откосов насыпи из дренирующих грунтов под однопутную железную дорогу с крутизной откосов 1:1,5 и шириной основной площадки 6,6 м в программах «SLIDE-БАЛТПРОЕКТ», «ГЕО5-УСТОЙЧИВОСТЬ ОТКОСА», «ГЕО5-МКЭ». Насыпь принята сложенной из песков крупных с характеристиками  $\gamma_1 = 18,1 \text{ кН/м}^3$ ;  $\varphi_1 = 36^\circ$ ;  $c_1 = 1 \text{ кПа}$ ;  $E = 38 \text{ МПа}$ . Основанием насыпи приняты пески мелкие с характеристиками  $\gamma_1 = 18,5 \text{ кН/м}^3$ ;  $\varphi_1 = 32^\circ$ ;  $c_1 = 2 \text{ кПа}$ ;  $E = 28 \text{ МПа}$  и уровнем грунтовых вод на 2 м ниже подошвы насыпи. При расчетах варьировали высоту насыпи от 4 до 12 м с шагом по высоте 1 м для определения высоты насыпи, при которой не обеспечены требования нормативных документов в части коэффициента устойчивости.

Расчет устойчивости насыпи земляного полотна осуществляли по первому предельному состоянию – несущей способности. В процессе расчета определяли наиболее опасную поверхность обрушения. Устойчивость откосов считали обеспеченной, если расчетный коэффициент устойчивости  $K_{уст}$  превышает его нормативное значение  $K_S$  ( $K_{уст} \geq K_S$ ), установленное ТНПА. При нарушении данного условия необходимо принять решение о перепроектировании очертаний земляного полотна или о разработке вариантов армирования откосов или основания насыпи. Для эксплуатационного периода на основное сочетание нагрузок с учетом применяемых методов расчета по прочностным характеристикам грунта значение  $K_S$  в зависимости от категории дороги принимали от 1,1 (IV категория дороги) до 1,25 (скоростные и грузонапряженные дороги). При расчетах насыпей с высоким уровнем динамического воздействия (в расчетах не рассматривали), сооружаемых из мелких и пылеватых песков и супесей, значение  $K_S$  должно быть не менее 1,25 и необходимо учесть динамический коэффициент [1].

В программе «SLIDE-БАЛТПРОЕКТ» расчет ведется классическим методом предельного равновесия по круглоцилиндрическим поверхностям скольжения, которые строятся по трем точкам, меняющим свое положение на основной площадке, на основании за подошвой и внутри поперечника. Расчет в программе выполняется по гипотезе наклонных сил взаимодействия между элементами призмы обрушения.

В программе «ГЕО5-УСТОЙЧИВОСТЬ ОТКОСА» расчет устойчивости откосов ведется классическими методами предельного равновесия грунтов. Для расчета по круглоцилиндрическим поверхностям скольжения в программе выбирали метод Шахунянца как наиболее консервативный и основной метод по полноте и точности учета факторов для расчета устойчивости откосов железнодорожных насыпей [2].

Программа «ГЕО5-МКЭ» основана на методе конечных элементов и предназначена для моделирования и анализа широкого спектра геотехнических задач. При расчете устойчивости программа уменьшает заданные значения угла внутреннего трения  $\phi_1$  и удельного сцепления  $c_1$  грунта и прослеживает тот момент, когда произойдут нарастающие пластические деформации в откосе и потеря его устойчивости. В результате расчёта получали коэффициент устойчивости, который соответствует классическим методам.

В проведенных расчетах на устойчивость нагрузку от подвижного состава и верхнего строения пути принимали по первой группе предельных состояний в соответствии с действующими ТНПА [2]. Для временной нагрузки была принята эквивалентная равномерно распределённая расчетная нагрузка на ширине 2,7 м, равная 90 кПа. Этой величине соответствует погонная предельная нагрузка на одну рельсовую колею 210–220 кН/м. Расчетная постоянная нагрузка от веса рельс, железобетонных шпал и балластного слоя была принята равномерно распределенной на ширине 4,6 м, равной 20 кПа.

Во всех расчетных программах при принятых одинаковых исходных данных получены несколько отличающиеся коэффициенты устойчивости откосов. Различия в коэффициентах объясняются применяемыми методами расчета и точностью настроек детализации в них, в том числе и при автоматическом разбиении при расчете. Из результатов расчета следует, что устойчивость насыпи обеспечена, но полученные расчетами коэффициенты устойчивости откосов насыпи с уклоном 1:1,5 при принятых для устройства насыпи дренирующих грунтах и нагрузках не соответствуют требованиям ТНПА [2]:

- при высоте насыпи 5 м и более для скоростной и особо грузонапряженной категории дороги, а также для насыпей с высоким уровнем динамического воздействия ( $1,20 < K_{уст} < K_S = 1,25$ );
- при высоте насыпи 9 м и более для I и II категорий дорог ( $1,15 < K_{уст} < K_S = 1,2$ );
- при высоте насыпи 12 м и более для III категорий дорог ( $1,1 < K_{уст} < K_S = 1,15$ ).

При проектировании насыпи из недренирующих песчаных грунтов, учитывая изложенные выше результаты для дренирующих грунтов, следует ожидать несоответствие коэффициентов устойчивости откосов требованиям нормативных документов при меньших высотах насыпи.

Таким образом, подход ТНПА [2, 3] с применением типовых решений нуждается в пересмотре, а все проектные решения по земляному полотну насыпей рекомендуется обосновывать расчетами.

#### Список литературы

- 1 ТР ТС 003/2011. О безопасности инфраструктуры железнодорожного транспорта. – Минск : Госстандарт, 2012; БелГИСС, 2012. – 35 с.
- 2 ТКП 45-3.03-163-2009. Железные дороги. Земляное полотно. Правила проектирования. Введ. 2009-12-07. – Минск : Минстройархитектуры, 2010. – 99 с.
- 3 СНБ 3.03.01-98. Железные дороги колеи 1520 мм. – Минск : Минстройархитектуры, 1998. – 26 с.

## УВЕЛИЧЕНИЕ СКОРОСТЕЙ ДВИЖЕНИЯ ПЕЗДОВ НА ПОЛИГОНЕ БЕЛУРУССКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРЮГИ

*Е. В. НИКИТИН*

*Белорусская железная дорога, г. Гомель*

*П. В. КОВТУН*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В современных экономических реалиях для повышения конкурентоспособности железнодорожного транспорта и выполнения требований клиентов к сокращению времени нахождения в пути как грузов, так и пассажиров требуется повышение скорости движения железнодорожных составов.

В мировой практике существует четыре типа направления повышения скоростей:

– первый тип – использование подвижного состава на магнитных подушках, что подразумевает строительство новой магистрали и новой инфраструктуры;

– второй тип – смешанная высокоскоростная дорога, где высокоскоростной состав может двигаться как по вновь построенной инфраструктуре, так и по модернизированным участкам пути;

– третий тип – традиционная смешанная модель, которая позволяет некоторым обычным поездам использовать инфраструктуру высокоскоростной линии;

– четвертый тип – полностью смешанная модель, которая предполагает совместное использование как скоростных, так и грузовых поездов на объектах инфраструктуры.

Обобщив многолетний зарубежный опыт проектирования и эксплуатации железнодорожного транспорта, несмотря на различия социально-экономических, геологических, топографических, демографических условий в разных странах, видна целесообразность двух способов решения проблемы повышения скорости:

– организации скоростного движения на существующих линиях;

– строительства и ввода в эксплуатацию специализированных высокоскоростных магистралей.

Белорусская железная дорога пошла по первому варианту как менее затратному. При этом увеличение пропускной способности можно добиться реализацией таких организационных мероприятий, как:

– увеличение размера тяговых плеч;

– уменьшение станционных и поездных интервалов;

– сокращение времени на выполнение технологических операций;

– работа со сборными поездами.

Можно решить задачу увеличения пропускной способности и реализацией технических мероприятий, таких как:

– применение передовых конструкций и элементов железнодорожного пути;

– путевое развитие станций, развитие входных-выходных горловин станции;

– укладка второго и третьего пути на перегоне для скрещения и обгона поездов;

– использование двухпутных вставок на перегоне для безостановочного скрещения поездов;

– переход на микропроцессорную централизацию;

– модернизация средств связи;

– усиление мощности тягового электроснабжения и тяговых подстанций;

– ввод в эксплуатацию современного подвижного состава.

Одним из важнейших хозяйств, от которого зависит работоспособность всей железной дороги, является путевое хозяйство. От его состояния, мощности устройств в значительной степени зависят пропускная способность дороги, безопасность и допускаемые скорости движения поездов.

Техническое состояние объектов путевого хозяйства железнодорожной инфраструктуры, нормы проектирования и содержания позволяют реализовывать скорости движения до 160 км/ч. Тем не менее на отдельных направлениях имеются «барьерные места», ограничивающие скорости движения подвижного состава.

Таковыми «барьерными местами» в путевом хозяйстве в том числе являются:

– кривые участки пути;

– искусственные сооружения;

– стрелочные переводы в горловинах станций с движением поездов на боковой путь.

Эти «барьерные места» не позволяют в полной мере использовать ресурс элементов железнодорожного пути с целью реализации максимально допустимых скоростей движения.

В ходе мониторинга технических характеристик верхнего строения железнодорожного пути на примере участка Гомель – Василевичи были установлены причины снижения скоростей движения поездов вплоть до 40 км/ч, что отрицательно влияет на время нахождения поезда в пути.

Таковыми местами стали:

– кривые участки пути: 294–295-й км перегона Центролит – Прибор (100 км/ч), 359–360-й км перегона Бабичи – Василевичи (110–100 км/ч), 364–365-й км входной горловины станции Василевичи (80 км/ч);

– большой мост через реку Днепр, имеющий ограничение скоростного режима до 100 км/ч;

– стрелочные переводы в четной и нечетной горловине станции Гомель (четная система) и Центролит, нечетная горловина станции Прибор, четная горловина станции Якимовка и Ребуса.

Для устранения «барьерных мест», которыми являются стрелочные переводы, наиболее перспективным техническим мероприятием, с нашей точки зрения, является применение в пути одиночного обыкновенного стрелочного перевода марки 1/18. Применение таких стрелочных переводов позволит повысить скорость движения поездов до 80 км/ч.

Как известно, электрификация Белорусской железной дороги направлена на увеличение провозной и пропускной способностей железной дороги. Одним из этапов электрификации Гомельского отделения Белорусской железной дороги является электрификация участка Гомель – Калинковичи. Также надо учесть, что реализация мероприятия по укладке стрелочных переводов марки типа 1/18 будет наиболее эффективна до проведения работ по электрификации рассматриваемого направления.

В ходе более углубленного анализа экспликации стрелочных переводов, уложенных на станциях направления Гомель – Калинковичи, было установлено, что в главном ходу эксплуатируются обыкновенные стрелочные переводы проектов 1740, 2433, 2768, 53103. Согласно главе 6 «Нормы допускаемых скоростей движения по стрелочным переводам» приказа от 29 сентября 2020 года № 763НЗ «Нормы допускаемых скоростей движения подвижного состава по железнодорожным путям колеи 1520 (1524) и 1435 мм на Белорусской железной дороге», конструкционная скорость по прямому направлению выше указанных стрелочных переводов составляет 140 км/ч, а на боковой – 50 км/ч. Действующая скорость [2] – 40 км/ч.

Повышение скоростей движения до 50 км/ч на таких «барьерных местах» четной горловины станции Центролит, нечетной горловины станции Прибор, четной горловины станции Якимовка и Ребуса возможно без финансовых вложений. Также повышение скоростей до 50 км/ч можно выполнить на всех стрелочных переводах и приёмо-отправочных путях станций, где осуществляется безостановочный пропуск поездов не только по направлению Гомель – Калинковичи, но и повсеместно на Белорусской железной дороге.

Внедрение предлагаемых мероприятий не требует дополнительных капиталовложений.

#### Список литературы

1 Об утверждении Правил технической эксплуатации железной дороги в Республике Беларусь : постановление М-ва транспорта и коммуникаций Респ. Беларусь от 52 ноября 2015 г. № 25.

2 Об установлении допускаемых скоростей движения поездов на Белорусской железной дороге : приказ Белорусской железной дороги от 2 июля 2013 г. № 231Н. – Минск, 2013.

3 Об утверждении Норм допускаемых скоростей движения подвижного состава по железнодорожным путям колеи 1520 (1524) и 1435 мм на Белорусской железной дороге : приказ от 29 сентября 2020 г. № 763НЗ. – Минск, 2020.

4 Прокудин, И. В. Организация переустройства железных дорог под скоростное движение поездов : учеб. пособие для вузов ж.-д. трансп. / И. В. Прокудин, И. А. Грачёв, А. Ф. Колос ; под ред. И. В. Прокудина. – М. : Маршрут, 2005. – 716 с.

УДК 625.172:656.073.235

## ОСОБЕННОСТИ СОДЕРЖАНИЯ ПУТЕЙ НЕОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИ КОНТЕЙНЕРНЫХ ПЕРЕВОЗКАХ

*О. В. ОСИПОВА, Т. А. ДУБРОВСКАЯ, С. А. БИНДЮК*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

*А. Р. ПРОКОПЕНКО*

*ОАО «Беларуськалий», г. Петриков*

На современном этапе железнодорожные перевозки продолжают развиваться, хотя и имеются определенные трудности. В силу ряда причин идет переориентация направления грузовых перево-

зок на дальние расстояния, например, в Китай, республики Средней Азии. Ввиду неоднородности груза, многократных перегрузок, использования различных видов транспорта целесообразно применение контейнерных перевозок.

Контейнерные перевозки имеют ряд преимуществ:

- гибкость в выборе транспортного средства, так как контейнеры могут быть загружены на железнодорожные платформы, на автоприцепы или суда;
- транспортировка больших объемов грузов за меньшее время, так как не требуется штучная перегрузка из полувагонов или вагонов в грузовые автомобили или суда;
- защита груза от повреждений и погодных условий при транспортировке;
- увеличение грузоподъемности транспортных средств и уменьшение количества упаковки;
- экологическая эффективность.

Однако для осуществления контейнерных перевозок требуется наличие специального оборудования (грузоподъемных кранов) для загрузки и разгрузки контейнеров. Кроме того, в связи с увеличенной длиной фитинг-платформ под контейнеры и, соответственно, массы груза повышаются требования к подвижному составу и путевому развитию грузовых фронтов (уклоны профиля, план линии, состояние элементов железнодорожного пути).

В связи с выходом на новые рынки сбыта и необходимостью отгрузки готовой продукции новым способом с помощью контейнеров возникла необходимость переустройства путевого развития ОАО «Беларуськалий» Петриковского рудоуправления под требования контейнерных перевозок.

Открытое акционерное общество «Беларуськалий» является одним из крупнейших производителей и экспортеров калийных удобрений в мире. По данным Международной ассоциации удобрений, на его долю приходится пятая часть мирового объема производства калийных удобрений. ОАО «Беларуськалий» функционирует на базе одного из крупнейших в мире Старобинского месторождения калийных солей, открытого в 1949 году. Освоение этого месторождения началось в 1958 году со строительства Первого Солигорского калийного комбината, первая очередь которого была введена в эксплуатацию в декабре 1963 года. В 1965 году был введен в эксплуатацию Второй, а в 1969 году – Третий Солигорские комбинаты. В 1970 году они были объединены в один комбинат «Беларуськалий», который в 1975 году был преобразован в ПО «Беларуськалий». В 1979 году в состав предприятия также вошел Четвертый Солигорский калийный завод. В 2001 году ПО «Беларуськалий» преобразовано в Республиканское унитарное предприятие Производственное объединение «Беларуськалий», а в 2010 году РУП ПО «Беларуськалий» преобразовано в открытое акционерное общество «Беларуськалий». Для организации железнодорожных перевозок готовой продукции все рудоуправления объединяет управление железнодорожных перевозок.

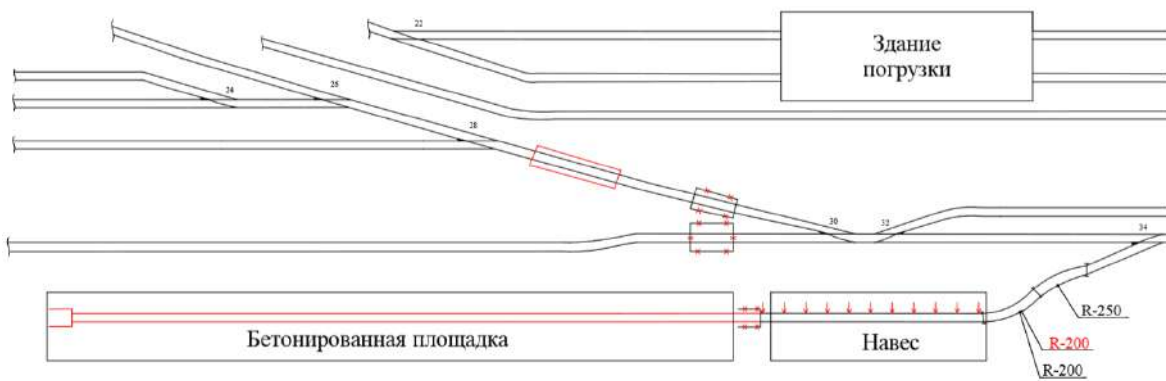
При анализе путевого развития Петриковского рудоуправления было принято решение о переустройстве пути № 19 для возможности отгрузки продукции новым способом. В данном случае учитывалось наличие бетонированной площадки и подкранового пути с козловым краном. При разработке вариантов переустройства выделили два основных:

1 Первый вариант представляет собой изменение радиусов S-образной кривой, находящейся за стрелочным переводом № 34, с 250 м на 200 м. Это обеспечит положение переустраиваемого пути в плане с соблюдением габарита в пространстве под навесом и относительно подкранового пути.

2 Второй вариант обеспечивает сохранение радиусов 250 м в S-образной кривой, находящейся за стрелочным переводом № 34, с условием изменения угла поворота второй кривой. Это приведет к изменению ее положения в плане и необходимости проведения рихтовки пути длиной 64 метра, находящегося за кривой.

В результате технико-экономического сравнения был принят вариант № 2 (рисунок 1) по следующим причинам:

- во-первых, не требуется устройство новых кривых участков пути. Это экономически не выгодно и при текущем содержании пути влечет за собой дополнительные работы и затраты;
- во-вторых, радиус кривых не уменьшается. Это обеспечивает безопасность движения при проходе фитинговых платформ. При текущем содержании кривые участки не будут подвергаться быстрому износу упорного рельса, что приведет к уменьшению затрат на содержание данных участков;
- в-третьих, перенос регулируемого технологического проезда подразумевали все варианты по переустройству пути. Данный технологический проезд подлежит демонтажу с путей № 20 и № 16 и устройство его в другом месте на пути № 16 под углом 60° к оси пути шириной 17,5 м. Также подсчитана ведомость объемов строительных и монтажных работ для принятого варианта.



№ пути	Плательское значение	Наименование точки
19	ПК 4+33,00	Тупиковый упор
22	ПК 38+56,70	ЦСП-24
16	ПК 38+19,10	ЦСП-26
11	ПК 37+47,65	ЦСП-22
16	ПК 37+10,60	ЦСП-28
16	ПК 2+50,00	Регулирующий геологический проезд
20, 16	ПК 2+2,45	Регулирующий геологический проезд
19	ПК 1+93,12	Тупиковый упор
19	ПК 1+88,65	Бетонная платформа (новый уклад)
16	ПК 36+34,50	ЦСП-30
16	ПК 36+27,75	ЦСП-32
19	ПК 1+04,85	Начало проектирования Рельсового пути
19	ПК 0+82,41	БУ 2
19	ПК 0+81,80	БУ 2
19	ПК 0+48,99	БУ 1
19	ПК 0+15,33	ЦСП-34
19	ПК 0	Н.Р.Р. СП-34

Рисунок 1 – Переустройство путей необщего пользования под контейнерные перевозки Петриковского рудоуправления

Для реализации данного переустройства разработана технология производства путевых работ. Согласно графику производства работ по укладке пути № 19 поэлементно требуется 14 дней. При этом потребуются переукладка железнодорожного переезда на другой путь и устройство тупикового упора.

Таким образом, переустройство путевого развития разгрузочной площадки Петриковского рудоуправления позволит предприятию получить экономическую выгоду от контейнерных перевозок с учетом новой конъюнктуры рынка и логистики перевозок.

#### Список литературы

- 1 Путьские аспекты контейнерных мультимодальных перевозок / П. В. Ковтун [и др.] // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2023. – № 1 (46). – С. 69–75.
- 2 ТКП 45-3.03-163-2009. Железные дороги. Земляное полотно. Правила проектирования. – Введ. 2010-05-01. – Минск : М-во archit. и стр-ва Респ. Беларусь, 2010. – 99 с.
- 3 СНБ 3.03.01-98. Железные дороги колеи 1520 мм. – Введ. 1998-08-01. – Минск : М-во archit. и стр-ва Респ. Беларусь, 1998. – 26 с.

УДК 539.4

## ЗАМКОВОЕ БЫСТРОРАЗЪЕМНОЕ СОЕДИНЕНИЕ МОДУЛЬНОГО БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

О. М. ОСТРИКОВ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

А. А. РЮМЦЕВ, В. О. ОСТРИКОВ

Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого, Республика Беларусь

Проведенный обзор существующих устройств замковых соединений, используемых в гидравлике и в технологической оснастке, позволил выявить наиболее удачные технические решения, такие как цанговое быстроразъемное соединение, быстроразъемные соединения для гидравлики и пневматики, быстроразъемное соединение – камлок. Стоит отметить возможность быстрого закрепления/открепления модулей данными устройствами, однако ряд особенностей монтажа элементов модульного беспилотного летательного аппарата (МБЛА) и требования к малому габариту устройства,



а также требования надежности соединения при вибрациях, надлежащей жесткости соединения и аэродинамические законы ограничивают возможность применения данных решений в устройстве замка МБЛА.

Целью данной работы стала разработка замка для быстроразъемного соединения модулей МБЛА различного назначения.

Замковое быстроразъемное соединение предназначено для соединения модулей беспилотного летательного аппарата (БЛА) и должно соответствовать следующим требованиям: позволять быстро и прочно присоединять модули к аппарату и разъединять их без разрушения замка; надежно фиксировать модули относительно друг друга, исключая относительные смещения модулей; выдерживать вибрации и удары, возможные при падении аппарата. МБЛА представляет собой конструктор, в котором основными сборочными единицами являются однотипные модули, несущие в себе различное по функционалу оборудование. Объем внутреннего пространства модуля, а значит, тип и габариты встраиваемого в него оборудования, зависит от габаритов и конфигурации замкового соединения. Таким образом, дополнительным требованием к параметрам замка будет ограниченная в направлении оси фюзеляжа аппарата длина, а также аэродинамические критерии, которым должен соответствовать корпус МБЛА. Вес замкового соединения должен быть минимальным из соображений увеличения грузоподъемности аппарата. Большое количество соединяемых модулей влияют на снижение общей жесткости конструкции аппарата. Способом ее повышения может быть увеличение жесткости соединения отдельных модулей, что также является необходимым условием в конструкции замкового соединения.

Предлагаемая конструкция замкового соединения МБЛА имеет вид, представленный на рисунке 1. Конструкция крепежного замка имеет основание 1, представляющее собой двухступенчатый диск. Меньшая по диаметру ступень разделена на три части с шагом, достаточным для такого поворота диска 2, насаженного на эту ступень, чтобы кулачки 3 диска 2, расположенные в зазорах между элементами этой ступени, имели достаточное для закрепления/открепления модуля перемещение. На торце большей по диаметру ступени с другой ступени выполнены отверстия, в которые вставлены штифты 4, выполняющие роль упоров для пружин 5, поворачивающих диск 2 против часовой стрелки. Также на торце большей по диаметру ступени в зазорах между элементами второй ступени выполнены три оси 6, на которых устанавливаются кулачки-сухарики 7, контактирующие с кулачками 3 диска 2. В кулачках 7 имеются отверстия треугольной формы. За счет пружин 8, расположенных в этих отверстиях, которые с одной стороны давят на стенку отверстия, а с другой контактируют с упорами в виде штифтов 9, также расположенных в зоне отверстия и жестко закрепленных на торцевой поверхности ступени основания 1 большего диаметра, кулачок 7 стремится к раскрытию соединения. Скольжение диска осуществляется по цилиндрической поверхности ступени основания 1 меньшего диаметра и по торцу его второй ступени.

Кулачки 3, выполненные на диске, и кулачки-сухарики 7 имеют эвольвентную поверхность контакта, обеспечивающую при рабочем взаимодействии постоянство направления нагрузки раскрытия крепления по радиусу диска, возникающей при вибрациях и ударах.

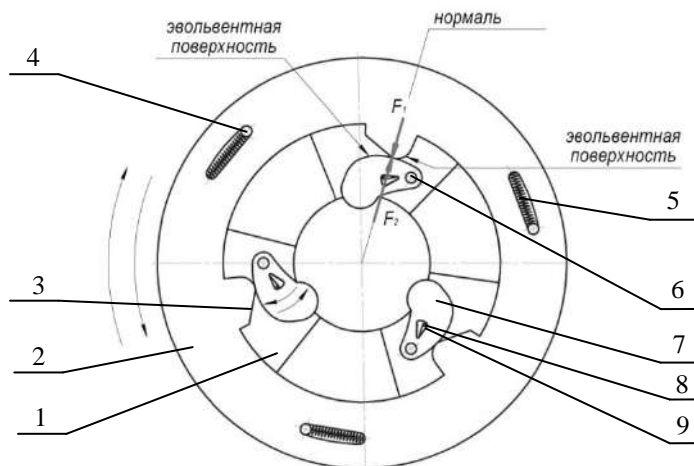


Рисунок 1 – Замок модуля с действующими в нем силами и с направлениями движения его частей, указанными стрелками

Для введения крепежного элемента присоединяемого модуля в замок необходимо повернуть против часовой стрелки его диск 2. При повороте диска замка по часовой стрелке расположенные в его отверстиях пружины 5 сжимаются. Тогда под действием сил пружин 9, установленных в кулачках-сухариках 7, раскроется отверстие для присоединяемого модуля. Затем в открытое отверстие вставляется крепление присоединяемого модуля, которое имеет цилиндрические пазы по окружности (рисунок 2). После отпущения диска он поворачивается в обратном направлении посредством пружин 5, расположенных в его отверстиях, и кулачки 3, выполненные на его поверхности, прижимают кулачки-сухарики 7 к крепежной части присоединяемого модуля, при этом происходит надежное закрепление модуля, обеспечиваемое большой площадью контакта поверхностей крепежных элементов, а также за счет того, что раскрывающая сила от вибраций и внешних нагрузок будет всегда направлена по радиусу диска, ввиду свойств эвольвенты, по форме которой выполнены поверхности кулачков 3 диска 2 и кулачков-сухариков 7, что уберет соединение от раскрытия.

Процесс закрепления/открепления модуля представлен на рисунке 3.



Рисунок 2 – Крепежный элемент присоединяемого модуля

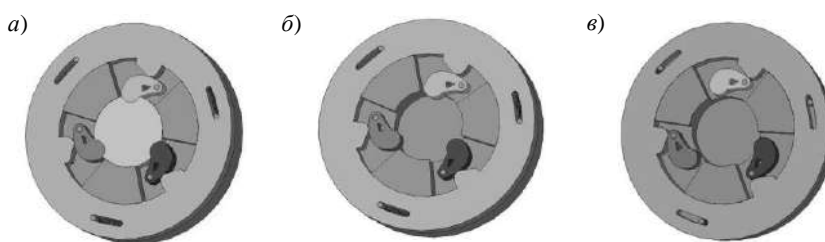


Рисунок 3 – Замок модуля:

*а* – замок модуля в закрытом состоянии при соединении двух модулей;  
*б* – замок в раскрытом состоянии; *в* – замок в закрытом состоянии

Таким образом, разработан крепежный механизм, способный производить быстрое закрепление/открепление модулей МБЛА, обеспечивающий надежное крепление, виброустойчивость, прочность и жесткость соединения модулей за счет эвольвентных контактирующих поверхностей кулачков диска и кулачков-сухариков, которые входят в пазы крепежного элемента присоединяемого модуля.

УДК 625.7/.8

## АНАЛИЗ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРОФИЛАКТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

*В. В. ПЕТРУСЕВИЧ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Способность асфальтобетона противостоять погодно-климатическим факторам и транспортным нагрузкам во многом зависит от размера пор, плотности структуры и водоотталкивающих характеристик поверхности. Эти показатели можно улучшить, используя различные технологические процессы обработки поверхности асфальтобетонного покрытия. Примером альтернативных технологических процессов является обработка покрытий и поверхностей различными профилактическими и гидрофобными составами.

Так, в авиации производят обработку фюзеляжей воздушных судов противообледенительными жидкостями. В зависимости от присутствия или отсутствия загустителя и его концентрации, данные гидрофобные композиции делятся на I, II, III, IV типы. Состав жидкостей I типа включает в себя один из видов гликоля (моноэтиленгликоля, диэтиленгликоля, пропиленгликоля), антикоррозийные присадки и поверхностно-активные вещества для обеспечения достаточных смачивающих свойств. В состав жидкостей II, III, IV типов дополнительно входит органический загуститель [1, с. 70–77]. Недостатками данных композиций для обработки автодорог является малое время защитного действия (так, для I типа оно не превышает двух десятков минут, для II, III, IV типов может составлять до нескольких часов), а также высокая стоимость.

Кроме того, известна водоотталкивающая композиция, содержащая гидрофильную смесь хлористого натрия в виде остаточной соли от производства глицерина и минерального песка и/или лавовой муки и гидрофобного вещества, обожженного перлита и измельченного жесткого пенополиуретана. При этом количество хлористого натрия в мелкозернистой смеси составляет более 50 %, в смесь дополнительно вводят добавку соли, окиси или гидроокиси щелочноземельных или нещелочных металлов во влажном состоянии, которую совместно с остаточной солью от производства глицерина измельчают [2]. Недостатками данной композиции являются невысокие водоотталкивающие свойства, а также невозможность увеличения коэффициента сцепления.

Пропиточный состав ASP Chem-Crete (Словакия) представляет собой специальную смесь окисленной битумной эмульсии, модифицированной при помощи состава на основе силикона с высоким содержанием влаги, и прочих компонентов на органическом растворителе [3]. Преимущество данного материала в том, что он имеет низкую вязкость по сравнению с существующими битумными герметиками и разжиженным битумом. Кроме того, он содержит активные вещества, которые позволяют ему глубоко проникать в капилляры и поры асфальтового покрытия. Из недостатков стоит отметить высокую стоимость пропиточного состава и то, что он быстро твердеет.

В линейке продукции компании «НОВА-брит» (Россия) представлен ряд различных защитных материалов, таких как проникающий пропиточный состав «БРИТ ПП-1», защитно-восстановительные составы «БРИТ ЗВС-В» и «БРИТ ЗВС-Р» [4]. Проникающий пропиточный состав «БРИТ ПП-1» – это прозрачный раствор кремнийорганических соединений и реологических модификаторов в органическом растворителе.

Пропитка BORNIT-Асфатоп (BORNIT-Werk Aschenborn GmbH, Германия) представляет собой готовую битумную смесь на основе модифицированной полимерами специальной битумной смеси и растворителей с минеральными добавками. BORNIT-Асфатоп не схватывается на водонепроницаемом покрытии, а также требует предварительного увлажнения при использовании в условиях высоких температур. Перед использованием пропитка требует тщательного перемешивания из-за того, что плотности различных компонентов пропитки значительно отличаются друг от друга [5].

Стоит также рассмотреть пропитки асфальтобетонные «САНАД» и «ДОРСАН» (ООО «РостЭС-ЮГ», Россия), которые предназначены для защиты асфальтобетонного покрытия [6]. Данные составы после нанесения на поверхность дорожного полотна и полного отверждения образуют тонкое мембранное покрытие, которое и препятствует проникновению воды и защищает от ультрафиолетового и инфракрасного солнечного излучения. Из основных недостатков стоит отметить высокую стоимость, быструю скорость отверждения составов (до 3 часов) и зависимость их от погодноклиматических факторов (работы по нанесению проводят в сухую погоду при температуре окружающей среды не ниже +5 °С).

Пропиточные составы RECLAMITE (катионная эмульсия нефтяных масел и смол) и CRF (катионная эмульсия, состоящая из нефтяных масел и смол, а также небольшого содержания тяжелых фракций битума) (компания BAV, США – Россия), согласно заявлениям производителя, служат для восстановления и омолаживания асфальтобетонных покрытий [7]. Основное отличие CRF от RECLAMITE заключается в глубине проникновения в поры обрабатываемого покрытия (состав CRF проникает в структуру асфальтобетона на меньшую глубину) и дополнительном использовании минерального материала (состав CRF после высыхания поверхности и распада эмульсии должен быть обработан песком с нормой расхода 2–2,5 кг/м<sup>2</sup>).

Жидкий битум с сильными адгезивными свойствами и высоким коэффициентом непрозрачности BIGUMA Fertigschlamme L (Dortmunder Gubasphalt GmbH&Co, Германия), согласно данным производителя, может осуществлять после нанесения герметизацию пористой поверхности асфальтобетонного покрытия [8].

Пропиточный состав ПАРАГОН Аасфальтовит/LAS-320 (Paragon Group, Россия) разработан на основе эмульсии и не содержит минеральный материал. Может быть применен для защиты от разрушения всех видов асфальтобетонных поверхностей [9].

Для придания асфальтобетону способности противостоять агрессивному влиянию погодноклиматическим факторам и транспортным нагрузкам необходима разработка новых технологий, которые бы, проникая в объем материала и заполняя микротрещины и дефекты покрытия, оказывали профилактическое воздействие от начавшегося разрушения и одновременно с этим улучшали эксплуатационные характеристики асфальтобетонного покрытия. Из вышеизложенного следует, что

улучшить физико-механические и эксплуатационные свойства асфальтобетона можно путем использования профилактических композиций. В связи с этим актуален поиск нового состава, предпочтительно полученного из отходов или вторичных продуктов производства, обладающего гидрофобизирующими свойствами. Одним из вариантов является использование в профилактическом составе нефтешлама (шлам очистки емкостей) [10–11].

#### Список литературы

- 1 ГОСТ Р 54264–2010. Воздушный транспорт. Система технического обслуживания и ремонта авиационной техники. Методы и процедуры противообледенительной обработки самолетов. Общие требования. – Введ. 2012-07-01. – М. : Стандартинформ, 2020. – 16 с.
- 2 Способ изготовления водоотталкивающей мелкозернистой смеси для дорожных покрытий : пат. RU 2013430 / А. Г. Маннесманн. – Опул. 30.05.1994.
- 3 Защитный пропиточный состав ASP Chem-Crete [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://bavcompany.ru/catalog/materials/arkhiv-materialov/asp/>. – Дата доступа : 22.03.2022.
- 4 Компания ООО «Нова-БРИТ» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.brit-r.ru/about-the-company/>. – Дата доступа : 22.03.2022.
- 5 БОРНИТ Асфатоп [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.aeroplan-spb.ru/aeroprogram/95-fs>. Найдено по адресу: <http://www.aeroplanspb.ru/aero-program/122-asfator>. – Дата доступа : 22.03.2022.
- 6 Компания ООО РостЭС-ЮГ [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://rostes-iug-doroga.ru/> – Дата доступа : 22.03.2022.
- 7 Российско-американская компания BAV [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://bavcompany.ru/catalog/materials/propitki-dlya-asphalt/>. – Дата доступа : 11.04.2022.
- 8 Официальный представитель на территории России компании Dortmund Gubasphalt GmbH&Co [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [product/biguma-fertigschlamme-l/](http://product/biguma-fertigschlamme-l/). – Дата доступа : 11.04.2022.
- 9 Paragon Group [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [www.paga-gonggroup.ru](http://www.paga-gonggroup.ru). – Дата доступа : 11.04.2022.
- 10 Гидрофобный состав для профилактической обработки асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог : пат. № а 20180114: МПК 7Е 01С 14/24 / Д. И. Бочкарев, В. В. Петрусевич. – № а 20180114; заявл. 23.03.2018.
- 11 Петрусевич, В. В. Исследование влияния состава гидрофобного профилактического «ПРОТЕКТ-01» на физико-механические свойства материалов асфальтобетонных покрытий / В. В. Петрусевич // Наука и техника. – 2023. – № 4 (22). – С. 294–300.

УДК 625.151

## РЕСУРСНЫЙ ПОДХОД К АНАЛИЗУ СОДЕРЖАНИЯ СТРЕЛОЧНЫХ ПЕРЕВОДОВ

В. В. РОМАНЕНКО

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Путевое хозяйство Белорусской железной дороги (БЖД) по состоянию на 01.01.2023 года обеспечивает эксплуатацию более 12 тысяч стрелочных переводов. Планом реализации Концепции развития путевого хозяйства БЖД [1] предусмотрено планирование ремонтной программы на основании новых подходов, например, установления расчетного межремонтного срока от срока службы железобетонных шпал как элемента верхнего строения пути с наибольшим ресурсом эксплуатации.

Ежегодно доля путей и стрелочных переводов на деревянном основании сокращается. Однако даже на главных и прямо-отправочных путях 3635 переводов (54,5 %) в настоящее время уложены на деревянных брусьях. Предприятием ОАО «Борисовский шпалопродиточный завод» (БШПЗ) изготавливается деревянная шпалопродукция, которая предназначена для одиночной замены негодных шпал и одиночной или комплексной замены переводных брусьев (рисунок 1).

С целью повышения эффективности работы путевого комплекса и сокращения эксплуатационных расходов в рамках реализации [1] в дистанциях пути (ПЧ) организовано проведе-

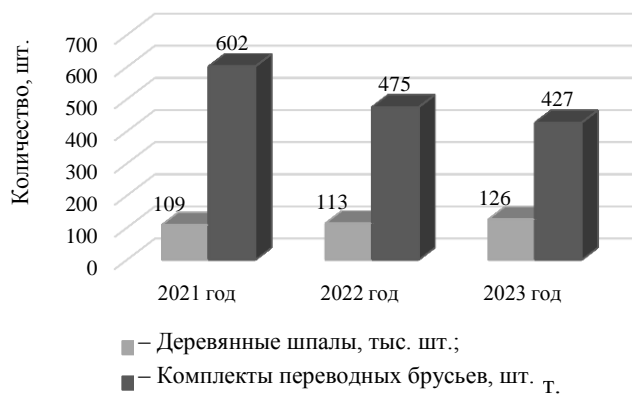


Рисунок 1 – Реализация шпалопродукции БШПЗ для применения на БЖД

ние апробации новых подходов по организации работ текущего содержания железнодорожного пути, одним из которых является усиление стрелочного хозяйства.

Сохранность подрельсового основания в течение установленного срока службы стрелочных переводов в случае применения деревянных переводных брусьев зачастую становится невозможной из-за появления в древесине трещин и загнивания, в результате чего геометрия рельсовой колеи перестает быть стабильной. Сплошная комплексная замена переводных брусьев выполняется в рамках работ по смене стрелочного перевода блоками, однако срок службы металлических рельсовых элементов намного дольше срока службы деревянных брусьев, поэтому в рамках текущего содержания пути приходится выполнять работы по одиночной смене переводных брусьев.

Трудовые затраты на одиночную смену переводных брусьев стрелочного перевода типа Р65 и Р50 с маркой крестовины 1/11 и 1/9 на щебеночном балласте (ГНВ № 75) составляют для одного бруса: подстрелочного – 107,29 чел·мин, промежуточного – 123,31 чел·мин, подкрестовинного – 149,35 чел·мин, закрестовинного – 142,12 чел·мин. Для стрелочного перевода типа Р65 марки 1/11 [2] количество брусьев: подстрелочных составляет 21 шт., промежуточных – 33 шт., подкрестовинных – 11 шт. и закрестовинных – 20 шт. С учетом количества брусьев затраты труда на один перевод составят 10807,57 чел·мин (180,13 чел·ч), при штатном контингенте монтеров пути на околотке 10 чел. и продолжительности рабочего дня 8 ч:  $180,13 : 10 = 18,013$  ч, т. е.  $18,013 : 8 = 2,25$  раб. дн., а с учетом необходимости пропуска поездов по участку работ продолжительность составит порядка трех рабочих дней. Таким образом, для выполнения всего комплекса работ необходимо задействовать весь контингент околотка на три дня, а при необходимости выполнения неотложных работ в данный период необходимо будет привлечь рабочих с других околотков.

Для сокращения трудовых ресурсов и времени закрытия движения поездов по стрелочному переводу в ПЧ с 2022 года ведутся работы по комплексной перекладке стрелочных переводов с деревянного на железобетонное основание. Переход на железобетонное основание позволит сократить объемы работ не только по смене брусьев и шпал, но и регулировке ширины рельсовой колеи, выправке стрелочного перевода в плане, продольном профиле и по уровню.

Организацию комплексных мер по сокращению расходов на содержание стрелочных переводов рассмотрим на примере Молодечненской дистанции пути Минского отделения (ПЧ-9) БЖД.

Ежегодно в дистанции заменяются стрелочные переводы, а также в рамках реализации программы внедрения ресурсосберегающих технологий производится перекладка старогодных стрелочных переводов с главных на приемо-отправочные и с приемо-отправочных на малодеятельные станционные пути. В 2022 году на станции Полочаны стрелочный перевод № 12 на деревянном основании (Д № 12) был заменен однотипным стрелочным переводом на железобетонном основании (ЖБ № 12). После снятия Д № 12 был выполнен ремонт металлических элементов и смена деревянного основания новым железобетонным (ЖБ № 12).

Согласно Приказу № 5Н на 2023 год на станции Воложин планируется замена стрелочного перевода № 6 на деревянном основании (Д № 6) однотипным, изъятым со станции Полочаны и отремонтированным ЖБ № 12. Эксплуатируемый Д № 6 имеет износ металлических элементов не превышающий предельные значения для 3-й группы годности, что обуславливает возможность его дальнейшей перекладки на других участках.

Техническое состояние деревянного подрельсового основания эксплуатируемого Д № 6 находится в состоянии, частично удовлетворяющем условиям пропуска поездов с установленными скоростями. С учетом эксплуатации примыкающих к Д № 6 путей на железобетонных шпалах целесообразно и сам стрелочный перевод переложить на железобетонное основание (рисунок 2).

Каждый из этапов по смене стрелочных переводов выполняется в «окно» с применением укладочного крана УК-25СП, что позволяет организовать работы в течение 6 часов 30 минут. При этом монтеры пути будут заняты не в течение 3 рабочих дней (как в случае одиночной смены брусьев), а в течение 6,5 часов. Непосредственно смена подрельсового основания будет выполняться на производственной базе другими рабочими, что позволяет не задействовать на эти работы монтеров пути околотка. После диагностики металлических элементов проводятся наплавка крестовины, которая будет выполняться не в «окно» (на действующем переводе), а на производственной базе.

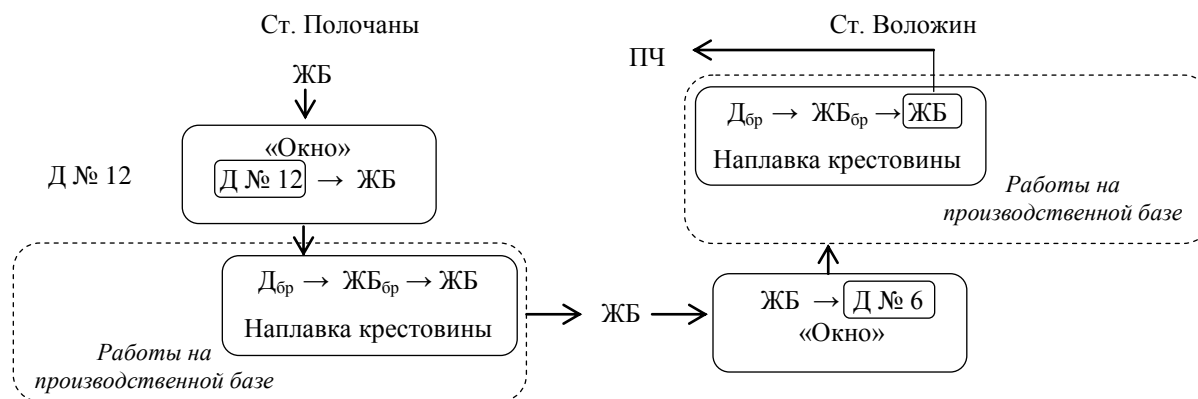


Рисунок 2 – Схема комплексных мер по переводу стрелочных переводов с деревянного основания на железобетонное

Стоимость комплекта деревянных брусьев выше стоимости комплекта железобетонных, при этом срок службы железобетонных брусьев в разы больше деревянных. Старогодние железобетонные брусья с путей более высокого класса возможно перекаладывать на пути более низкого класса с меньшей грузонапряженностью и скоростями движения, где эти брусья будут эксплуатироваться до полного исчерпания ими ресурса.

Преимущества такого подхода организации путевых работ очевидно, оно ведет к снижению трудовых затрат на текущее содержание и, как следствие, повысит качество технического состояния стрелочных переводов и предотвратит введение ограничений скорости движения поездов.

#### Список литературы

- 1 Об утверждении Концепции развития путевого хозяйства Белорусской железной дороги на 2022–2030 гг. : утв. приказом Нач. Бел. ж. д. от 28.12.2021 № 404Н. – Введ. 2021-12-28. – Минск : Белорусская железная дорога, 2021. – 16 с.
- 2 Типовые технически обоснованные нормы времени на работы по текущему содержанию пути : утв. приказом Нач. Бел. ж. д. от 08.04.2020 № 129 Н. – Введ. 2020-08-01. – Минск : Белорусская железная дорога, 2015. – 299 с.

УДК 004.946

## ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАК СРЕДСТВО ОПИСАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

*В. В. РОМАНЕНКО*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

*А. А. ГОЛИК, С. О. БАЛОБАН, Н. С. КОЛЕНЧИКОВ*

*Белорусская железная дорога, г. Осиповичи*

Для принятия решения о возможности изготовления составных деревянных шпал требуется проведение исследования, которое предполагает экспериментальное исследование реальных образцов. Такое исследование, несомненно, занимает важное место в процедуре внедрения новой конструкции шпал в производство, однако даже на первоначальной стадии требует материальных затрат. Одним из первоначальных вариантов практического эксперимента для получения предварительных данных о возможности либо невозможности изготовления и дальнейшего использования составных шпал в качестве подрельсового основания, а также конкретизирования способа проведения эксперимента может быть моделирование.

Моделирование является одним из методов теоретических исследований, который включает проектирование необходимых процессов или систем путем построения и изучения их моделей, а также использование этих моделей для определения характера поведения и предположительных характеристик исследуемой системы [1]. Моделирование возможно в системах трехмерного автоматизированного проектирования (САПР), например программного комплекса Autodesk Inventor, которые разрабатываются для исполнения различных инженерных задач.

Функции, которые возможно исполнить с помощью Inventor, позволяют создавать полнофункциональные электронные 3D-макеты изделий и сборок, а также реализовать на них необходимые технические системы и управляющие параметры. При этом процесс выполнения компьютерного

моделирования должен совпадать с предполагаемыми этапами (технологическим процессом) изготовления. Инструментальные средства Inventor обеспечивают полный цикл конструирования, в процессе которого при создании 3D-модели составной деревянной шпалы из отдельных элементов реализуется процедура обеспечения взаимосвязи соответствующих размеров друг с другом для последующей точной сборки общей конструкции в целом.

Рассматриваемая модель предполагает продольное сращивание трех элементов между собой без дополнительного крепления соединением типа «ласточки хвост», состоящего из «шипа», входящего в «паз» (рисунок 1).

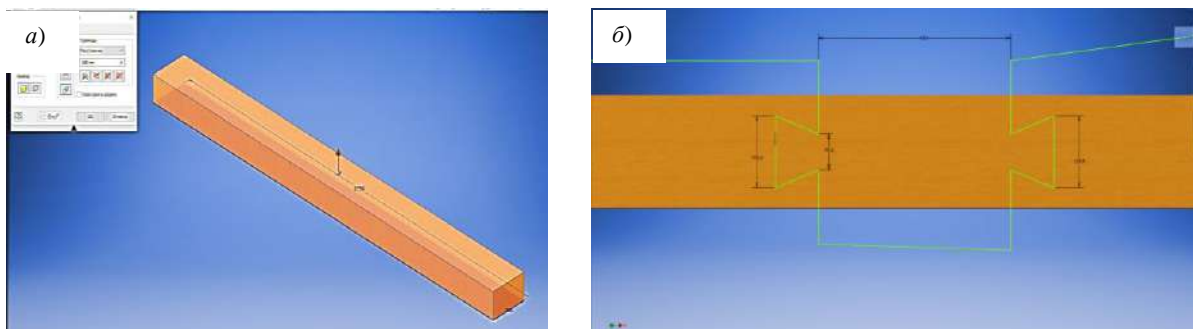


Рисунок 1 – Создание модели составной деревянной шпалы из цельных брусков:  
а – модель цельнобрусковой шпалы I типа; б – проектирование соединений

Определение соответствия отдельных элементов на различных частях составной конструкции шпалы базируется на том, как детали узла должны располагаться в сборках, а именно, размер «паза» должен соответствовать размеру «шипа». Технологии конструирования Inventor позволяют определить пространственное расположение и размеры деталей автоматически, при этом точность размеров каждой детали соединения определяется непосредственно в сборках на основе того, как детали соединения стыкуются друг с другом (рисунки 2 и 3).

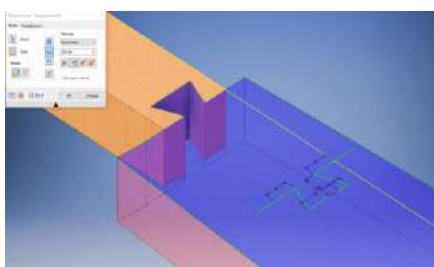


Рисунок 2 – Моделирование крайних блоков

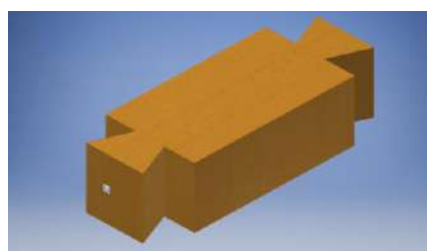


Рисунок 3 – Моделирование среднего блока

Деревянные шпалы для железных дорог изготавливают из сосны либо ели 1, 2, 3-го сортов, соответственно, модели необходимо придать свойства материала [2]. В САПР материалы представляют собой комбинации различных характеристик, которые имитируют природный материал. Выбираются физические компоненты (обладают характеристиками самого материала) и компоненты представлений модели (обеспечивают визуальную реализацию материала, например цвет, текстуру и т. п.).

При разработке 3D-модели деревянной шпалы значения механических показателей, например, модуль Юнга, коэффициент Пуассона и модуль сдвига по каждой из осей  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ , соответствуют материалу «сосна».

С использованием САПР кроме создания цифровых прототипов будущих конструкций возможно проводить инженерный анализ моделей. Программный комплекс Autodesk Inventor содержит среду прочностного анализа элементов, который базируется на методе конечных элементов, позволяет реализовать проверку моделей без испытания опытных образцов.

Имитация технологического процесса изготовления и поведения шпалы в процессе ее эксплуатации для прогнозирования поведения модели под действием различных сил предоставляет возможность решения задачи по выдерживанию конструкцией нагрузки в конкретных условиях ее эксплуатации. В процессе создания модели составной шпалы было исполнено:

- создание 3D-модели согласно размерам деревянной шпалы I типа;
- выбор материала конструкции, в том числе его прочностные и физические характеристики;

– формирование схемы нагружения рельсового узла транспортной нагрузкой;  
– определение параметров расчетной сетки для модели составной шпалы;  
– прочностной расчет с анализом схемы нагружения, в результате которого программа не выдала предупреждений о превышения прочностных пределов, что говорит о возможности конструкции выдержать нагрузку от подвижного состава без потери надежности. Таким образом, можно предположить, что модель является адекватной и возможно переходить к практическим экспериментам (рисунки 4 и 5).



Рисунок 4 – Изготовление крайних элементов с выпиливанием «паза»



Рисунок 5 – Составление крайнего и среднего элементов после их выпиливания

#### Список литературы

- 1 Сембина, Г. К. Моделирование как средство проектирования сложных систем / Г. К. Сембина // Механика и технологии. – 2015. – № 1 (47). – С. 94–100.
- 2 ГОСТ 78-2014. Шпалы деревянные для железных дорог широкой колеи. Общие технические условия. – Введ. 2016-03-01. – Минск : Государственного комитета по стандартизации Респ. Беларусь, 2016. – 18 с.

УДК 625.144.2

### ВОПРОСЫ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ КРИВОЛИНЕЙНЫХ УЧАСТКОВ

*В. В. РОМАНЕНКО*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

*А. Б. КАПИТОНЕЦ*

*Белорусская железная дорога, г. Минск*

*В. Д. МАКАРЕВИЧ*

*Белорусская железная дорога, г. Орша*

Оценка состояния геометрического положения рельсовой колеи – предмет изучения результата сложных механических процессов, которые происходят на пути при воздействии на него подвижного состава. Горизонтальные составляющие силового воздействия подвижного состава на путь разделяются на поперечные и продольные, первые из которых стремятся сдвинуть рельсошпальную решетку (РШР) в плане, а вторые – относительно балласта вдоль оси пути. Боковое давление вызывается поворотом состава при вписывании его в криволинейные участки, особенно это присуще кривым малого радиуса. Изменение геометрии рельсошпальной решетки положения относительно своей оси в плане приводит к появлению так называемых углов в плане.

Диагностика состояния пути в плане при его текущем содержании ведется либо при помощи путеизмерительных вагонов, либо ручным способом. На Белорусской железной дороге (БЖД) принят способ измерения стрел изгиба, измеренных от середины хорды длиной 20 м в точках через 10 м [1].

При сходе подвижного состава в кривой измерение стрел изгиба согласно [2] требуется производить от середины хорды длиной 20 либо 10 метров, при этом допуски на содержание регламентируют результаты, полученные только при измерении от середины хорды длиной 20 м.

Кривизна отступления угла в плане изменяется бессистемно, поэтому измерение одного и того же участка хордами разной длины могут дать различные результаты. По измеренной величине стрелы изгиба определяется радиус кривой, соответственно, различные результаты могут исказить расчетную величину радиуса.

Геометрические параметры рельсовой колеи должны обеспечивать безопасное движение колесных пар и минимизировать их силовое воздействие на путь. Так как полностью ликвидировать си-



ловое воздействие подвижного состава на путь невозможно, а даже минимальное воздействие способно изменить геометрию рельсовой колеи, в криволинейных участках постоянно происходят отклонения от кривизны, которые необходимо постоянно оценивать и мониторить.

Для оценки состояния геометрии рельсовой колеи при текущем содержании, а также после транспортных происшествий и событий, связанных с нарушением безопасности движения поездов, основными параметрами являются:

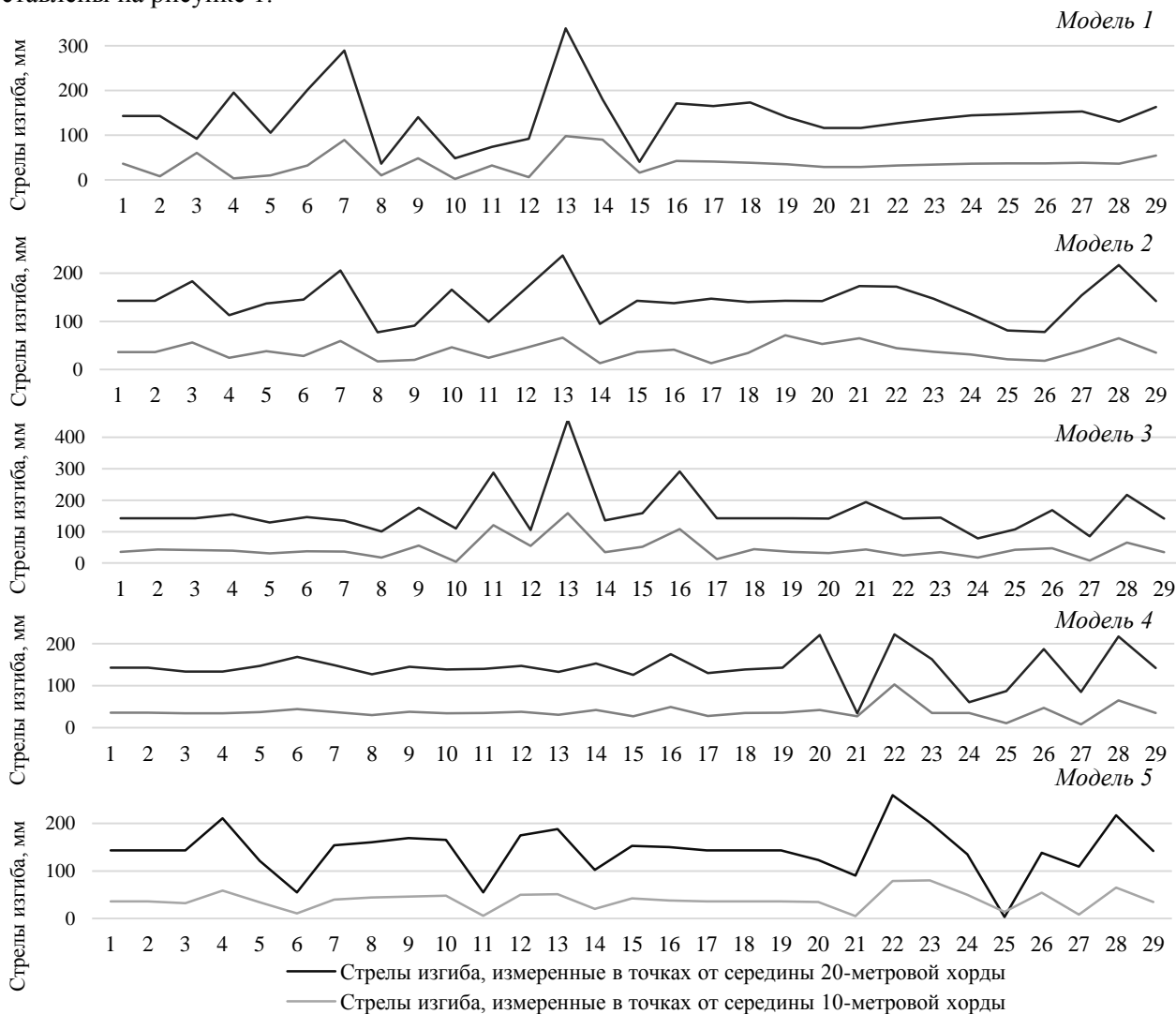
- линия прямая, круговая кривая, переходная кривая;
- характеристика кривой: радиус, длина переходной кривой, величина возвышения наружного рельса.

Промеры стрел изгиба, полученные при так называемой съемке, позволяют выявить нарушения кривизны и выполняются по наружной нити кривой. Для съемки кривая разбивается на участки длиной 10 м (при величине хорды  $a = 20$  м) и 5 м (хорда  $-a = 10$  м), в каждой из этих точек измеряется стрела изгиба  $f$  – перпендикуляр от середины хорды до внутренней грани наружной нити кривой.

По результатам съемки кривой определяются разности в смежных стрелах изгиба  $\Delta f$ , а также радиус кривой в каждой измеренной точке как  $R = 8a^2 : f$ .

Для теоретического исследования были смоделированы пять кривых радиусом 350 м посредством системы автоматизированного проектирования и черчения AutoCAD. Каждая модель характеризуется наличием отступлений случайного характера, а именно: только внутрь кривой либо наружу, частично внутрь, частично наружу.

Для каждой модели выполнена съемка кривой от середины хорды длиной 20 и 10 м, соответственно в точках через 10 и 5 м. В результате были измерены стрелы изгиба  $f_{10}$  и  $f_{20}$ , которые представлены на рисунке 1.



В идеально правильной кривой, при отсутствии даже незначительных отклонений, конфигурация кривизны будет одинаковой не зависимо от того, каким образом выполняются измерения. Анализ графиков позволяет установить несовпадение порядка изменения кривизны, а именно:

- в модели 1: в точке 3 изменение кривизны зафиксировано в разные стороны; на участке 12–15 для промера с хордой 20 м зафиксирован более «острый» угол, а также *s*-образная кривизна;
- в модели 2 – для промера с хордой 20 м на участке 23–28 выявлено более резкое изменение кривизны;
- в модели 4 – на участке 19–23 наблюдается несовпадение изменения кривизны;
- в модели 5 – на участке 23–26 зафиксирован более «острый» угол с изменением сторонности кривизны.

Таким образом, при оценке измерений от хорды 10 метров изменения кривизны не совпадают с измерениями от хорды 20 метров, что говорит о необходимости дополнительного анализа иных параметров, так как невозможно гарантировать приоритетности измерений одного из способов.

#### Список литературы

- 1 СТП 09150.56.010-2005. Текущее содержание железнодорожного пути. Технические требования и организация работ : утв. приказом Нач. Бел. ж. д. от 29.06.2006 № 221 Н. – Введ. 2006-07-01. – Минск : Белорусская железная дорога, 2006. – 290 с.
- 2 Приказ 370 Н. Об организации работы по обеспечению безопасности движения и эксплуатации железнодорожного транспорта на Белорусской железной дороге : утв. приказом Нач. Бел. ж. д. от 29.11.2021. – Введ. 2022-01-01. – Минск : Белорусская железная дорога, 2021. – 160 с.

УДК 625.142.4

### ОЦЕНКА ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ ПО ИЗГОТОВЛЕНИЮ СОСТАВНЫХ ДЕРЕВЯННЫХ ШПАЛ

*В. В. РОМАНЕНКО, П. В. КОВТУН*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

*А. О. ВЛАСЕНКО*

*Белорусская железная дорога, г. Минск*

Подрельсовое основание на Белорусской железной дороге (БЖД) представляет собой железобетонные и деревянные шпалы, железобетонные и деревянные переводные и мостовые брусья. Распределение полигона деревянного и железобетонного основания в зависимости от сферы применения представлено [1] на рисунке 1.



Рисунок 1 – Распределение подрельсового основания по состоянию на 01.01.2023 года:  
а – на главных путях; б – на станционных путях; в – на путях необщего пользования

Всю деревянную продукцию, применяемую в качестве подрельсового основания, для нужд БЖД производит ОАО «Борисовский шпалопропиточный завод» (БШПЗ). Для изготовления шпал БШПЗ приобретает лесоматериалы (сосна либо ель 1, 2, 3-го сортов) в виде бревен длиной от 5,5 до 6,0 метров диаметром от 26 см и более.

Согласно [2] шпалы изготавливают трех типов, от которых зависят размеры поперечного сечения. Длина шпалы для всех типов составляет 2,75 м, таким образом, из бревна возможно изготовить две шпалы длиной 2,75 м, при этом остатки бревен отсутствуют либо незначительны по величине.

В отличие от шпал, переводные брусья имеют размеры по длине от 3,0 до 5,5 м с шагом 0,25 м, поэтому после их нарезки остаются остатки с каждого пиловочного бревна. В зависимости от нарезаемого бруса длина остатков варьируется от 2,5 до 0,25 м, которые в свою очередь не могут быть использованы для изготовления цельнобрусковой шпалопродукции согласно нормативам, установленным [3] (рисунок 2).

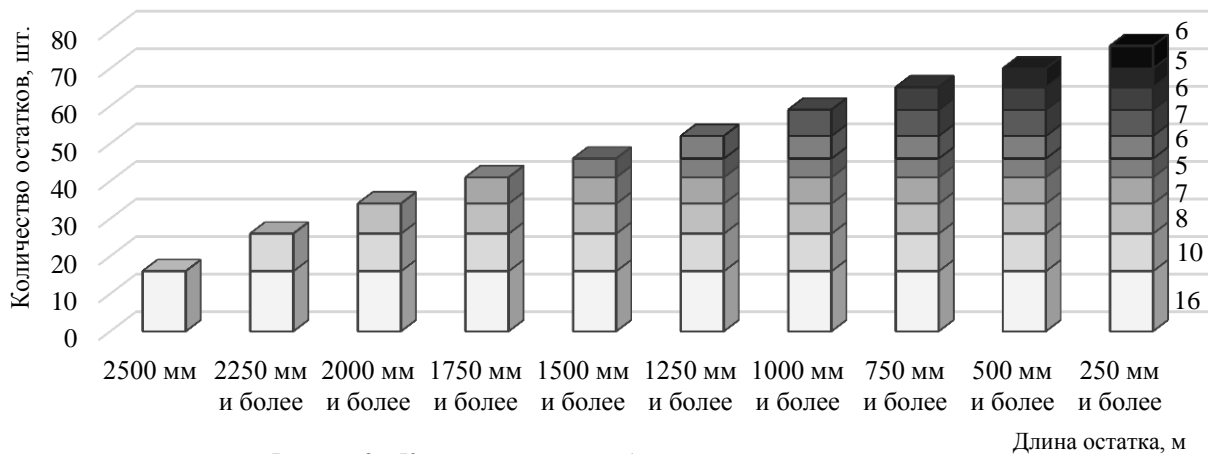


Рисунок 2 – Количество остатков брусьев соответствующей длины

Так как образующиеся остатки бревен нельзя использовать в качестве цельнобрусковых шпал, рассматриваются решения по изготовлению составных деревянных шпал с продольным соединением элементов (сращиванием), например, соединением типа «ласточкин хвост» (рисунок 3).

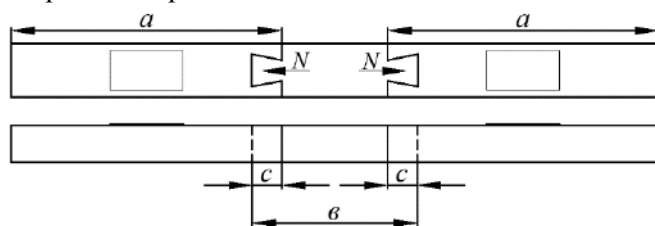


Рисунок 3 – Схема проектного решения составной деревянной шпалы

Это сращивание является одним из самых прочных, образуя замок шип-паз.

Для равномерного распределения нагрузки на балластную призму и земляное полотно от крайних элементов (см. рисунок 3, размер  $a$ ) они должны быть изготовлены симметрично относительно оси рельса. Расстояние от оси рельса до торца

шпалы, с учетом расстояния между осями рельсов 1600 мм, составит  $2750 - 1600 = 1150 : 2 = 575$  мм, соответственно длина элемента –  $a = 575 \cdot 2 = 1150$  мм.

Наряду с разработкой проектных решений по определению возможных схем по изготовлению составных деревянных шпал, одной из решаемых задач является определение оптимальных размеров элементов для возможности применения максимального объема остатков. Длина крайних элементов является постоянной, а длина среднего будет зависеть от длины элемента соединения (см. рисунок 3, размер  $b$ ).

При размере  $c = 150$  мм и менее длина среднего элемента будет составлять от 700 до 750 мм, в случае если  $c$  превышает 150 мм – длина среднего элемента увеличится и составит более 750 мм. Согласно рисунку 2 имеются остатки размеров 750, 1000 мм и т. д. с шагом 250 мм, использование элементов с размером  $b > 750$  мм сократит возможные объемы применяемых остатков.

Максимальное использование остатков позволит сократить расходы древесины на изготовление деревянной шпалопродукции. Поэтому целесообразно рассматривать вариант соединения, при котором  $b \leq 750$  мм.

Крайние элементы размером 1150 мм возможно выпилить из остатков длиной 1250 мм и более, согласно рисунку 2:

– количество остатков длиной 1250 мм и более:  $16 (2500 \text{ мм}) + 10 (2250 \text{ мм}) + 8 (2000 \text{ мм}) + 7 (1750 \text{ мм}) + 5 (1500 \text{ мм}) + 6 (1250 \text{ мм}) = 52$  шт.;

– остаток длиной 2500 мм возможно использовать для изготовления двух элементов длиной 1150 мм, таким образом, количество крайних элементов увеличивается  $52 + 16 (2500 \text{ мм}) = 68$  шт.

Средний элемент размером 750 мм возможно выпилить из остатков длиной 750 мм и более, а именно, согласно рисунку 2:

– количество остатков длиной 750 мм и более:  $7 (750 \text{ мм}) + 6 (1000 \text{ мм}) = 13$  шт.;

– после обрезки из остатка длиной 2250 элемента длиной 1150 мм ( $2250 - 1150 = 1100$  мм) остатки возможно использовать для изготовления среднего элемента, таким образом:  $13 + 10$  (2250 мм) = 23 шт.;  
– аналогично при остатке  $2000 - 1150 = 850$  мм, таким образом:  $23 + 8$  (2000 мм) = 31 шт.

При таком варианте применения остатков брусьев после изготовления одного комплекта переводных брусьев для стрелочного перевода возможно изготовить:  $68 : 2 = 34$  крайних элементов и 31 средний элемент, т. е. 31 составную шпалу.

При наличии в остатках трещин, отколов и подобных дефектов, делающих их применение невозможных в пределах 10 % количество составных шпал составит  $31 - 10 \% = 28$  шт., при 20 % –  $31 - 20 \% = 25$  шт.

Ежегодно БШПЗ изготавливает для нужд БЖД в среднем порядка 500 комплектов стрелочных переводов, при этом количество составных шпал составит  $31 \cdot 500 = 15\,500$  шт./год, при снижении на 10 и 20 % соответственно:  $15\,500 - 10 \% = 13\,950$  шт./год и  $15\,500 - 20 \% = 12\,400$  шт./год.

Применение составных шпал предполагается на малоделятельных станционных путях и необщего пользования для эксплуатации в качестве подрельсового основания, а также для разрядки «кустов» негодных шпал.

Иные размеры элементов сечения за счет сокращения возможности применения остатков длиной 750 мм позволяет уменьшить возможные объемы изготовления составных деревянных шпал.

#### Список литературы

1 Итоги работы путевого хозяйства в 2022 году и задачи на 2023 год : отчет гос. объединения «Белорусская железная дорога». – Минск : Белорус. железная дорога, 2023. – 16 с.

2 ГОСТ 78-2014. Шпалы деревянные для железных дорог широкой колеи. Общие технические условия. – Введ. 2016-03-01. – Минск : Государственный комитет по стандартизации Респ. Беларусь, 2016. – 18 с.

3 СТП 09150.56.010-2005. Текущее содержание железнодорожного пути. Технические требования и организация работ : утв. приказом Нач. Бел. ж. д. от 29.06.2006 № 221 Н. – Введ. 2006-07-01. – Минск : Белорусская железная дорога, 2006. – 290 с.

УДК 625.7/.8

## УСТРОЙСТВО ДВУХСЛОЙНОГО ЦЕМЕНТОБЕТОННОГО ПОКРЫТИЯ ИЗ БЕТОНОВ РАЗНЫХ МАРОК ПРИ КАПИТАЛЬНОМ РЕМОНТЕ ДОРОГИ ОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ

*К. А. РЫЖОВ*

*Филиал Гомельский дорожный отдел ГП «Белгипродор», Республика Беларусь*

Многие участки автомобильных дорог общего пользования в Беларуси согласно требованиям ТНПА нуждаются в капитальном ремонте. Основным материалом покрытия существующих дорог с высокой интенсивностью движения является асфальтобетон. Общепринятые подходы к конструированию дорожных одежд при капитальном ремонте предполагают фрезерование покрытия, устройство выравнивающего слоя и одного или нескольких слоев усиления. Однако возможно использование и других решений [1, 2]. Использование цементобетона при восстановлении работоспособности нежестких дорожных одежд позволит повысить срок службы до следующего капитального ремонта в два раза и расширить номенклатуру технологических процессов, реализуемых дорожниками. Второй аспект сопряжен с некоторыми трудностями: отсутствие в отрасли достаточного количества мобильных или полустационарных цементобетонных заводов и бетоноукладочного оборудования. Вместе с тем при ремонте в больших городах, имеющих заводы крупнопанельного домостроения, первая проблема может быть решена достаточно просто – поставщиком цементобетонной смеси станет предприятие родственной отрасли. А вот приобретение бетоноукладчиков и машин для отделки бетонного покрытия требует тщательного анализа экономической эффективности в средне- и долгосрочной перспективе.

Существенным недостатком на этапе сравнения строительной стоимости асфальто- и цементобетонных покрытий является стоимость  $1 \text{ м}^2$  готового покрытия. Часто это сравнение оказывается не в пользу цементобетонного покрытия, так как его толщина обычно существенно превышает толщину асфальтобетонного при равной расчетной нагрузке. Этот недостаток нивелируется впоследствии продлением срока службы. А на этапе строительства можно рассмотреть снижение стоимости цементобетонного покрытия за счет использования разнопрочных бетонов, в том числе и потому, что условия работы жесткого покрытия различаются в характерные периоды года [3].

Для условий Гомельского района капитальный ремонт с использованием цементобетона возможен на многих участках. Например, на участке дороги Р–30 протяженностью 6100 м, расположенном непосредственно у границы г. Гомеля.

Существующее покрытие потребует фрезерования с целью ликвидации значительных неровностей, возникших в период эксплуатации. После этого устраивается технологический (выравнивающий) слой, предназначенный для выравнивания покрытия в продольном и поперечном направлении, а также создания возможности перемещения плит покрытия при изменении температуры. Технологический слой устраивается из асфальтобетона горячего мелкозернистого пористого по [4] толщиной 6 см. При определении толщины плиты используется соответствующий ТНПА [5]. Возможны следующие варианты:

1 Покрытие – тяжелый бетон по СТБ 2221 с минимальным проектным классом прочности на сжатие В27,5 и на растяжение при изгибе В<sub>т</sub>3,6 толщиной 20 см.

2 Покрытие устраивается из цементобетона методом сращивания слоёв. Верхний слой из тяжелого бетона с минимальным проектным классом прочности на сжатие В27,5 и на растяжение при изгибе В3,6 – 6 см. Нижний слой из тяжелого бетона с минимальным проектным классом прочности на растяжение при изгибе В2,8 – 16 см.

Различие в толщине слоев (20 и 22 см) объясняется снижением средневзвешенного модуля упругости двухслойного покрытия за счет применения менее прочного бетона в нижнем слое. Потенциальной возможностью увеличения прочностных показателей бетонов для нижних слоев без значительного увеличения строительной стоимости можно назвать дисперсное армирование углеродными, базальтовыми или иными прочными волокнами.

Результаты расчета стоимости устройства однослойного цементобетонного покрытия и двухслойного по методу сращивания из разнопрочных бетонов на участке автомобильной дороги III технической категории протяженностью 6,1 км, расположенном в Гомельском районе, представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнение затрат на устройство вариантов цементобетонного покрытия

В рублях

Затраты	Устройство однослойного покрытия	Устройство двухслойного покрытия из разнопрочных бетонов
Общая стоимость	1 986 269,85	1 845 837,16
Стоимость материалов	1 795 735,65	1 664 321,51
Заработная плата рабочих	68 445,98	72 452,84
Эксплуатация машин и механизмов (включая заработную плату машинистов)	19 327,85	29 062,81
Транспортировка материалов	72 760,37	80 011,01

Разница в общей стоимости между рассмотренными вариантами составляет 7,6 % в пользу двухслойного покрытия. При возросших затратах на оплату труда рабочих и машинистов, а также эксплуатацию машин, обусловленных использованием двух бетоноукладчиков одновременно, и увеличении транспортных затрат, вызванных различием в толщине покрытия, снижение стоимости материалов на 7,9 % это компенсирует. Расчет эффективности чувствителен в основном к стоимости цементобетонных смесей, и итоги сравнения вариантов могут быть иными в зависимости от отпускных цен различных поставщиков материалов.

#### Список литературы

1 Александров, Д. Ю. Оптимальные сочетания в конструкциях дорожных одежд асфальто- и цементобетона / Д. Ю. Александров // Вести Автомобильно-дорожного института. – 2016. – № 2 (19). – С. 32–39. – EDN YLMMQT.

2 Александров, Д. Ю. О перспективе применения технологии WHITETOPPING при капитальном ремонте автомобильных дорог Республики Беларусь / Д. Ю. Александров, В. П. Бураков // Архитектура, строительство, транспорт : материалы Междунар. науч.-практ. конф. (к 85-летию ФГБОУ ВПО «СибАДИ»), Омск, 02–03 декабря 2015 года. – Омск : ФГБОУ ВПО «Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (СибАДИ)», 2015. – С. 8–12. – EDN VMRQZD.

3 Рыжов, К. А. Цементобетонные покрытия из разнопрочных бетонов / К. А. Рыжов // Молодежь и научно-технический прогресс : сб. докл. XVI Междунар. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. В 2 т., Губкин, 06 апреля 2023 года. – Губкин – Старый Оскол : Ассистент плюс, 2023. – С. 433–434. – EDN KPFCVX.

4 СТБ 1033-2016. Смесей асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Технические условия = Сумесі асфальтабетонныя дарожныя, аэрадромныя і асфальтабетон. Тэхнічныя ўмовы. – Взамен СТБ 1033-2004; введ. 2017-01-01. – Минск : Госстандарт, 2016. – III, 27 с.

5 СП 3.03.01-2020. Дорожные одежды жесткого и полужесткого типа автомобильных дорог = Дарожныя адзенні жорсткага і паўжорсткага тыпу аўтамабільных дарог : строительные правила Республики Беларусь : утв. М-вом архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь 06.10.20 : введ. 2020-12-07 (с отменой ТКП 45-3.03-244-2011 (02250)). – Минск : Минстройархитектуры, 2020. – III, 45 с.

## ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

Ю. П. ТЕЛЕГИНА

*Оренбургский техникум железнодорожного транспорта, Российская Федерация*

Железные дороги являются важным элементом единой транспортной системы страны. Они выполняют громадный объем перевозочной работы, обеспечивая надежные и экономичные транспортные связи между главными экономическими районами и центрами страны. На долю железных дорог приходится более половины общего грузооборота и более трети пассажирских перевозок. Поэтому их развитию придается большое значение.

Строительству железных дорог предшествуют изыскания и проектирование их. Цель изысканий – изучение условий строительства и эксплуатации будущей дороги, сбор и подготовка необходимых материалов для проектирования.

Железнодорожные линии проектируют в две стадии: на первой – разрабатывают проект, а на второй – рабочую документацию. Проект железной дороги – это комплексный документ, состоящий из экономической и технической части.

В ходе экономических изысканий рассматривают, существуют ли вблизи проектируемой линии источники электроэнергии или жидкого топлива, и в зависимости от этого рекомендуют род тяги (электрическую или тепловозную). Чтобы установить размеры и условия развития станций и их назначение, определяют объемы предстоящей местной грузовой и пассажирской работы в населенных пунктах, мимо которых предполагается провести линию, и характеризуют основные промышленные предприятия, которые нуждаются в обслуживании.

Техническими (инженерными) изысканиями определяют трассу направления (выбранного на основе экономических изысканий), основные элементы проектируемой линии, тип верхнего строения пути, конструкции земляного полотна, искусственных сооружений; выбирают площадки для отдельных пунктов, депо; рассчитывают стоимость строительства. С помощью геодезических инструментов (теодолитов, тахеометров, дальномеров, нивелиров) наземной и аэросъемки трассируют линии, определяют расположение прямых и кривых участков пути, высоту насыпей и глубину выемок, выявляют водоразделы и места намечаемого расположения станций и узловых пунктов, снимают поперечные профили будущей трассы, проектируют предварительный продольный профиль линии. Уклоны, длины элементов и точки перелома профиля подбирают, учитывая очертание поверхности земли и необходимость размещения искусственных сооружений.

Традиционные способы инженерных изысканий и отображения полученной информации остались в прошлом. На смену оптическим теодолитам и нивелирам пришли электронные тахеометры (рисунок 1), спутниковые приемники и лазерные сканирующие системы (рисунок 2). Новые приборы меняют и саму технологию на всех этапах строительства, поэтому на смену бумажным планам и картам приходят цифровые планы, сделанные в таких программах, как AutoCAD. Дальнейшему развитию новых технологий способствует простота их использования и высокая точность измерений.

В электронных теодолитах автоматизировано считывание с вертикального и горизонтального круга, для определения расстояний используется встроенный лазерный дальномер. Электронные нивелиры автоматически считывают показания со специальных реек, на которые нанесен RAB-код. Более совершенные модели регистрируют показания в памяти и проводят полевую обработку. Широкое распространение получили лазерные нивелиры, обеспечивающие построение видимыми лучами горизонтальных, вертикальных и наклонных плоскостей. Также современные приборы оснащены компенса-



Рисунок 1 – Тахеометр Leica TPS-1200

торам, служащим для автоматического поддержания оптической оси нивелира в горизонтальном положении.



Рисунок 2 – Спутниковые приемники и лазерные сканирующие системы

Внедрение спутниковых приемников в геодезию обусловлено рядом возможностей:

- высокая точность, полная независимость от погоды;
- отсутствие необходимости в прямой видимости между пунктами – не нужно строить высокие знаки-сигналы, что ранее составляло до 80 % стоимости работ;
- обеспечение непрерывных измерений для мониторинга деформаций в режиме реального времени;
- возможность совершать измерения в движении.

#### Список литературы

- 1 **Табаков, А. А.** Геодезия : учеб. пособие / А. А. Табаков. – М. : УМЦ ЖДТ, 2020. – 140 с.
- 2 **Водолагина, И. Г.** Технология геодезических работ: учеб. / И. Г. Водолагина, С. Г. Литвинова. – М. : ФГБУ ДПО «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2018. – 111 с.
- 3 **Копыленко, В. А.** Изыскания и проектирование железных дорог / В. А. Копыленко. – М. : ФГБУ ДПО «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2021. – 689 с.

УДК 625.143.46.036.61.8

## КОНТРОЛЬ ЗА УГОНОМ РЕЛЬСОВЫХ ПЛЕТЕЙ

*И. И. ХАЛУПА*

*Белорусская железная дорога, г. Волковыск*

*С. С. КОЖЕДУБ, В. И. ИНЮТИН*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

С момента закрепления плетей при укладке должен быть организован постоянный контроль за усилиями прижатия рельсов к основанию и за продольными подвижками плетей. Контроль за углом рельсовых плетей осуществляется по смещению контрольных сечений рельсовой плети относительно «маячных» шпал наружной стороны колеи.

В качестве «маячной» шпалы выбирается шпала, расположенная напротив пикетного столбика. Расстояние от конца плети до первой «маячной» шпалы не должно превышать 60–95 метров, а верх концов «маячных» шпал с нагруженных сторон рельса за пределами скреплений окрашивается яркой краской. «Маячная» шпала всегда должна быть хорошо подбита.

Независимо от конструкции скреплений резиновые или резинокордовые подрельсовые прокладки на «маячных» шпалах заменяются полиэтиленовыми или другими с низким коэффициентом трения [1].

Целесообразно для изготовления подрельсовых прокладок использование композиционного материала на основе вторичного полиэтилена, наполненного отходами кожевенно-обувных производств.

Для разработки композиционного материала исследовали влияние добавок измельчённых отходов кожи хромовой ( $X_1$ ;  $C_1$ , мас. ч.), юфти ( $X_2$ ;  $C_2$ , мас. ч.) и резиновой крошки ( $X_3$ ;  $C_3$ , мас. ч.) на ударную вязкость ( $a$ , кДж/м<sup>2</sup>) и интенсивность изнашивания ( $I$ ) композиционного материала на основе отходов вторичного полиэтилена [2, 3].

Ударную вязкость образцов определяли по ГОСТ 4647. Изнашивание образцов осуществляли при нагрузке 1,0 МПа и скорости относительного скольжения 0,5 м/с при трении без смазочного материала.

Исходные данные приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Исходные данные эксперимента

Уровни и интервал варьирования	Содержание ингредиентов, мас. ч.		
	$C_1$	$C_2$	$C_3$
Верхний уровень	25,00	75,00	90,00
Нижний уровень	15,00	50,00	60,00
Нулевой уровень	10,00	25,00	30,00
Интервал варьирования	5,000	25,00	30,00

План эксперимента и обработка данных приведена в таблице 2. На основании этих данных были получены уравнения, отражающие влияние концентрации компонентов на интенсивности изнашивания и ударную вязкость композита.

Таблица 2 – План и результаты эксперимента

Матрица планирования			Результаты испытаний ( $I \cdot 10^9$ )			
$X_1$	$X_2$	$X_3$	$Y_1$	$Y_2$	$Y_3$	$Y_{cp}$
1,000	1,000	1,000	2,194	2,180	2,159	2,178
-1,000	1,000	1,000	2,026	2,106	2,020	2,051
1,000	-1,000	1,000	1,848	1,844	1,843	1,845
-1,000	-1,000	1,000	1,638	1,646	1,621	1,635
1,000	1,000	-1,000	1,507	1,507	1,457	1,490
-1,000	1,000	-1,000	1,433	1,434	1,444	1,437
1,000	-1,000	-1,000	1,348	1,406	1,395	1,383
-1,000	-1,000	-1,000	1,239	1,245	1,256	1,247
1,682	0,000	0,000	1,610	1,677	1,660	1,649
0,000	1,682	0,000	1,899	1,926	1,877	1,900
0,000	0,000	1,682	2,241	2,185	2,144	2,190
-1,682	0,000	0,000	1,444	1,397	1,430	1,424
0,000	-1,682	0,000	1,461	1,428	1,421	1,437
0,000	0,000	-1,682	1,302	1,275	1,326	1,301
0,000	0,000	0,000	1,583	1,559	1,548	1,563
0,000	0,000	0,000	1,556	1,598	1,567	1,574
0,000	0,000	0,000	1,504	1,589	1,531	1,541
0,000	0,000	0,000	1,554	1,554	1,554	1,554
0,000	0,000	0,000	1,532	1,530	1,541	1,534
0,000	0,000	0,000	1,546	1,569	1,540	1,552

Уравнение регрессии для интенсивности линейного изнашивания ( $I$ ) в кодированных переменных

$$Y_1 \cdot 10^9 = 1,553 + 0,06629X_1 + 0,1338X_2 + 0,2671X_3 - 0,0208X_1X_2 + 0,01851X_1X_3 + 0,05633X_2X_3 - 0,005431X_1^2 + 0,04137X_2^2 + 0,06864X_3^2. \quad (1)$$

Допустимые интервалы коэффициентов для уравнения регрессии (1) для  $b_0 = 01785$ , для  $b_i = 01183$ , для  $b_{ij} = 01547$ , для  $b_{ii} = 01153$ ,  $F_T = 5,050$ ,  $F_3 = 0,2510$ .

Так как  $F_T > F_3$ , то уравнение регрессии (1) адекватное.



После перехода к натуральным переменным уравнение принимает вид

$$Y \cdot 10^9 = 1,298 + 0,008718C_1 - 0,04526C_2 - 0,00493C_3 - \\ - 0,00008323C_1C_2 + 0,00006169C_1C_3 + 0,00007510C_2C_3 - \\ - 0,00005431C_1^2 + 0,00006619C_2^2 + 0,00007627C_3^2. \quad (2)$$

Уравнение регрессии ударной вязкости в кодированных переменных

$$Y \cdot 10 = 245,9 + 0,7533X_1 - 50,85X_2 - 6,257X_3 - 0,138X_1X_2 - 1,411X_1X_3 - \\ - 5,011X_2X_3 - 3,947X_1^2 + 10,58X_2^2 - 2,615X_3^2. \quad (3)$$

Допустимые интервалы коэффициентов для уравнения регрессии (2) для  $b_0 = 2.720$ , для  $b_i = 1.803$ , для  $b_{ij} = 2.357$ , для  $b_{ii} = 1.757$ ,  $F_T = 5,050$ ,  $F_3 = 0,2418$ .

Для уравнения (3)  $F_T > F_3$ , следовательно, уравнение (3) адекватное.

После перехода к натуральным переменным уравнение (3) принимает вид (4)

$$Y \cdot 10 = 357,3 + 1,569C_1 - 3,318C_2 + 0,5447C_3 - 0,0005521C_1C_2 - \\ - 0,004702C_1C_3 - 0,006681C_2C_3 - 0,0395C_1^2 + 0,01693C_2^2 - 0,002906C_3^2. \quad (4)$$

Применение композиционного материала на основе вторичного полиэтилена, наполненного отходами кожевенно-обувных производств, способствует снижению жесткости и повышению упругих свойств прокладок. Из разработанного материала изготовлены подрельсовые прокладки, уложенные на «маячные» шпалы для контроля продольного перемещения рельсовых плетей.

#### Список литературы

1 СТП БЧ 56.269 – 2013. Бесстыковой путь, устройство, укладка, содержание и ремонт : утв. приказом Нач. Бел. ж. д. от 14.08.2013 № 772 НЗ. – Минск, 2013. – 115 с.

2 **Инютин, В. И.** Подрельсовые прокладки для «маячных» шпал / В. И. Инютин, С. С. Кожедуб, А. А. Кирьянова // Актуальные вопросы и перспективы развития транспортного и строительного комплексов : материалы IV Междунар. науч.-прак. конф. – Гомель : БелГУТ, 2018. – С. 26–28.

3 **Инютин, В. И.** Разработка технологии переработки вторичного сырья в путевые прокладки / В. И. Инютин, С. С. Кожедуб, А. А. Кирьянова // Актуальные вопросы и перспективы развития транспортного и строительного комплексов : материалы IV Междунар. науч.-прак. конф. – Гомель : БелГУТ, 2018. – С. 166–168.

УДК 625.143.46.036.61.8

## ПРИМЕНЕНИЕ ПОДШПАЛЬНЫХ ПРОКЛАДОК В РЕЛЬСОВЫХ СТЫКАХ

*И. И. ХАЛУПА*

*Белорусская железная дорога, г. Волковыск*

*С. С. КОЖЕДУБ, В. И. ИНЮТИН*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Несмотря на широкое распространение бесстыкового пути на Белорусской железной дороге остается достаточное протяжение участков, где укладываются рельсовые стыки: уравнильные пролеты; кривые малого радиуса; участки между стрелочными переводами на станции; участки пути в районах добычи полезных ископаемых. Для устранения просадок, возникающих в стыках, применяются прокладки, укладываемые под подошвы шпал в подрельсовом сечении, что является эффективным способом устранения просадок при текущем содержании пути [1]. Подшпальные прокладки изготавливаются из резины, в состав которой входит каучук, имеющий высокую стоимость [2]. При этом для снижения стоимости прокладок и повышения их надежности наиболее рационально применять для их изготовления композиционные материалы на основе промышленных отходов, образующихся на предприятиях Республики Беларусь.

Целью проведенных исследований является разработка композиционного материала (на основе вторичного полиэтилена и отходов от регенерации использованных автомобильных покрышек) для изготовления подшпальных прокладок.

В качестве исходного сырья использовали отходы кордного волокна и резиновой крошки, образуемые при регенерации изношенных автомобильных покрышек. В качестве связующего использовали вторичный полиэтилен, получаемый путем измельчения на роторном измельчителе тарных мешков, использованной полиэтиленовой упаковки и пленки, до частиц размером 2–10 мм. Компоненты полимерной композиции в соответствующих массовых соотношениях смешивали в смесителе лопастного типа в течение 10–15 минут. Для повышения технологичности полученной композиции ее подвергали уплотнению на вальцах. Для этого масса разогревалась до температуры 80–90 °С и подавалась на валки. При этом температура рабочего вала 140–160 °С, а холостого вала 120–140 °С. Время вальцевания составляло 15 мин, после чего развальцованное полотно срезалось с валков и нарезалось на соответствующие заготовки. Полученные заготовки подавали на формующую оснастку и запрессовывали. Технологические параметры и режим прессования следующие: прогрев предпресса до температуры 160–170 °С с выдержкой под давлением 5–6 МПа в течение 3–5 минут. Далее выдержка прокладок под давлением 8–10 МПа в течение 8–12 минут и их охлаждение в прессформе до остаточной температуры 40–50 °С. Производство прокладок характеризуется своей безотходностью, так как обрезанный облой и бракованные прокладки дополнительно измельчали и обратно возвращали в технологический процесс.

В качестве антифрикционной добавки использовали гудрон, который является отходом производства масложировой промышленности. Гудрон получается при дистилляции жирных кислот, выделенных из соапстоков светлых растительных масел.

Исследования по оптимизации состава материала проводились методом центрального композиционного ротатабельного планирования второго порядка [2]. В качестве параметров оптимизации были выбраны ударная вязкость  $a$ , кДж/м<sup>2</sup> ( $Y_1$ ), и предел прочности при изгибе  $\sigma_{изг}$ , МПа ( $Y_2$ ), в качестве факторов – содержание в связующем гудрона  $C_1$ , мас. ч. ( $X_1$ ), резиновой крошки  $C_2$ , мас. ч. ( $X_2$ ) и отходов кордного волокна  $C_3$ , мас. ч. ( $X_3$ ). Композиционный материал на основном уровне варьирования содержал: гудрона  $C_1 = 1,5 \pm 0,5$  мас. ч.; резиновой крошки  $C_2 = 25 \pm 10$  мас. ч. и отходов кордного волокна  $C_3 = 40 \pm 20$  мас. ч.

Результаты обработки данных эксперимента приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты испытаний материала на ударную вязкость

Результаты испытаний, кДж/м <sup>2</sup>				
$Y_1$	$Y_2$	$Y_3$	$Y_{ср.}$	$Y_{выч.}$
32,33	33,53	32,62	32,83	32,76
27,19	28,00	28,43	27,87	27,79
34,90	34,70	34,18	34,59	34,64
38,28	37,78	36,81	37,62	37,49
37,96	38,53	37,59	38,03	38,17
31,74	30,43	31,11	31,09	31,05
30,23	30,83	29,11	30,06	30,14
30,44	31,02	30,85	30,77	30,84
33,69	33,78	34,97	34,15	34,02
30,09	30,41	30,02	30,17	30,20
36,17	36,33	35,91	36,14	36,28
30,83	30,37	29,76	30,32	30,43
31,49	31,72	31,70	31,64	31,60
35,45	36,07	34,63	35,38	35,23
34,32	35,15	33,88	34,45	34,59
34,25	35,46	34,73	34,81	34,59
35,54	34,48	34,82	34,94	34,59
33,96	33,92	35,10	34,33	34,59
33,91	34,24	34,22	34,12	34,59
35,63	34,11	34,90	34,88	34,59

После реализации плана-эксперимента и обработки данных было получено уравнение регрессии, отражающее влияние концентрации компонентов на ударную вязкость композита. Уравнение регрессии ударной вязкости в кодированных переменных:

$$Y_1 = 34,59 + 1,068X_1 - 0,4157X_2 + 0,3110X_3 + 1,955X_1X_2 - 0,5378X_1X_3 - 2,478X_2X_3 - 0,8368X_1^2 - 1,307X_2^2 + 0,4107X_3^2. \quad (1)$$

Допустимые интервалы коэффициентов для уравнения регрессии (1): для  $b_0 = 0,3938$ ; для  $b_i = 0,2610$ ; для  $b_{ij} = 0,3412$ ; для  $b_{ii} = 0,2543$ ;  $F_T = 5,050$ ;  $F_3 = 0,2455$ . Из сравнения табличного  $F_T = 5,050$  и экспериментального  $F_3 = 0,2455$  значения критерия Фишера видно, что уравнение (1) представляет собой адекватную математическую модель ударной вязкости композиционного материала. После перехода к натуральным переменным уравнение (1) принимает вид:

$$a = 20,23 + 7,811C_1 + 0,2022C_2 + 0,2206C_3 + 0,2607C_1C_2 - 0,0538C_1C_3 - 0,8261 \cdot 10^{-2}C_2C_3 - 3,347C_1^2 - 0,5808 \cdot 10^{-2}C_2^2 + 0,1027 \cdot 10^{-2}C_3^2. \quad (2)$$

После обработки данных по прочности материала на изгиб получено следующее уравнение в кодированных переменных:

$$Y_2 = 10,19 + 0,8439X_1 - 0,2439X_2 + 0,8638X_3 - 0,1935X_1X_2 + 0,3184X_1X_3 + 0,5469X_2X_3 - 0,1481X_1^2 + 0,3445X_2^2 - 0,1874X_3^2. \quad (3)$$

Допустимые интервалы коэффициентов для уравнения регрессии: для  $b_0 = 0,1168$ ; для  $b_i = 0,07745$ ; для  $b_{ij} = 0,1012$ ; для  $b_{ii} = 0,07546$ ;  $F_T = 5,050$ ;  $F_3 = 0,2513$ .

После перехода к натуральным переменным, уравнение (3) принимает вид:

$$\sigma_{изг} = 7,981 + 2,832C_1 - 0,1273C_2 - 0,0127C_3 - 0,0257C_1C_2 + 0,03187C_1C_3 + 0,1823 \cdot 10^{-2}C_2C_3 - 0,5925C_1^2 + 0,1531 \cdot 10^{-2}C_2^2 - 0,4684 \cdot 10^{-3}C_3^2. \quad (4)$$

В результате анализа аналитических зависимостей установлено, что оптимальная ударная вязкость разработанного композиционного материала на основе вторичного полиэтилена, наполненного отходами кордного волокна и резиновой крошки, составляла  $a = 43,2$  кДж/м<sup>2</sup>, а прочность при изгибе –  $\sigma_{изг} = 14,6$  МПа.

Разработанный композиционный материал на основе промышленных отходов предназначен для изготовления подшпальных прокладок, снижающих уровень вертикальных сил, действующих на путь в стыковой зоне.

#### Список литературы

- 1 Повышение стабильности пути в зоне стыков за счет применения упругих подрельсовых прокладок / О. В. Повзнер [и др.] // Вестник ВНИИЖТа. – 2016. – № 3. – С. 140–146.
- 2 Каплин, В. Н. Повышение стабильности пути в стыках / В. Н. Каплин // Путь и путевое хозяйство. – 2019. – № 4. – С. 29–31.

УДК 338.47:625.7/.8

## ПРЕДПОСЫЛКИ СИСТЕМНОЙ ИНТЕГРАЦИИ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА И ДОРОЖНОГО ХОЗЯЙСТВА В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКИ

*И. М. ЦАРЕНКОВА, К. С. ПРИШЕЛЬЦЕВА, А. А. ЦАРЕНКОВ, И. А. ТОМЧУК*  
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Современный период экономического развития характеризуется интенсивным внедрением информационных технологий во все сферы экономической и социальной деятельности. Отработанные годами бизнес-модели претерпевают колоссальные изменения под влиянием инновационных экзогенных факторов. Глобальная цифровая трансформация на основе развития информационных и коммуникационных технологий, технологических и нетехнологических новаций создает предпо-

сылки к системной интеграции во всех сферах. Сформированные ранее самостоятельно функционирующие и постоянно взаимодействующие системы еще более тесно объединяются, создавая целостные системы другого уровня, при котором между ними возникает сильная взаимозависимость. Целенаправленность формирующихся систем проявляется в необходимости решения общих задач через взаимодействие и взаимное содействие в целях обеспечения устойчивости своего положения в условиях конкуренции.

Автомобильный транспорт и дорожное хозяйство являются важнейшими компонентами единой транспортной системы. Их раздельное существование нецелесообразно и в некоторой степени невозможно в связи с ключевой ролью автомобильных дорог в обеспечении транспортных связей между любыми территориальными областями. При реализации логистического подхода в составе единого интегрального процесса управления транспортными потоками допустима вероятность стратегического альянса автомобильного транспорта и дорожного хозяйства в логистических системах. Принятие решений по развитию дорожной сети на направлениях, а также выбор участков дорог для улучшения их транспортно-эксплуатационных характеристик сопряжены с анализом транспортных потоков и большого объема внутренней информации, сбор которой, как правило, необходимо осуществлять из различных источников. В такой ситуации с целью снижения уровня неопределенности и риска требуется анализ не только ретроспективных данных, но и согласование разработанных прогнозных моделей с сопряженными областями экономической деятельности [1].

В условиях становления постиндустриальной экономики техническим базисом для формирования стратегических ориентиров развития становится широкое применение интеллектуальных транспортных систем (ИТС). Основные направления и этапы реализации скоординированной (согласованной) транспортной политики государств – членов Евразийского экономического союза (Решение Высшего Евразийского экономического совета от 26 декабря 2016 года № 19) трактуют ИТС как интеграцию современных информационных и коммуникационных технологий и средств автоматизации с транспортной инфраструктурой, транспортными средствами и пользователями, ориентированными на повышение безопасности и эффективности транспортного процесса. Подходы к созданию ИТС основываются на принципе модернизации, реинжиниринга действующих транспортных систем [2]. В Государственном стандарте Республики Беларусь СТБ 2531–2018 «Перевозки пассажиров. Термины и определения» ИТС определяется как совокупность технических средств и программного обеспечения с информационно-интеллектуальным технологическим управлением объектами транспортной деятельности. В Государственной программе «Дороги Беларуси» на 2021–2025 годы запланированы работы по созданию в автодорожном секторе ИТС.

Главным координатором процессов информатизации, цифровизации и цифровой трансформации в системе Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь является РУП «Белдорсвязь». В 2022 году на его базе создан Центр мониторинга дорожного движения, статус которого закреплен в постановлении Правительства № 724 «О порядке функционирования интеллектуальных транспортных систем», принятом в развитие Закона «О дорожном движении». Основными функциями центра определены:

- мониторинг дорожного движения и информирование его участников;
- разработка предложений по проектам нормативных правовых актов в этой сфере;
- формирование единого плана развития национальной сети ИТС;
- подготовка предложений по совершенствованию взаимодействия ИТС, а также сбор и анализ информации о текущем состоянии развития ИТС [3].

Следует отметить, что в стране успешно функционируют системы управления содержанием дорог и обеспечения безопасного дорожного движения, включающие в себя: сеть дорожных измерительных станций (ДИС), позволяющую получать оперативную информацию о метеоусловиях и состоянии дорожного покрытия; систему видеонаблюдения за условиями движения и состоянием дорожного покрытия посредством видеокамер, установленных на дорогах общего пользования; систему информирования участников автомобильного движения посредством информационных табло переменной информации; систему автоматизированного учета интенсивности движения и состава транспортного потока на всех республиканских автомобильных дорогах; сеть ведомственной технологической радиосвязи из радиостанций различных типов, обеспечивающую оперативное управление технологическим транспортом; систему мониторинга технологического транспорта, обеспе-

чивающую контроль за его использованием; сеть передачи данных предприятий дорожного хозяйства, создаваемую на основе волоконно-оптической линии связи [2]. На республиканских дорогах в настоящее время функционирует уже порядка 1500 единиц ИТС-оборудования, список которого ежегодно пополняется новыми наименованиями. Только в 2021 году РУП «Белдорсвязь» внедрило на республиканских автомобильных дорогах 57 камер видеонаблюдения, четыре дорожно-измерительные станции, одно табло переменной информации, 85 светофоров, а также построило 188 км волоконно-оптических линий связи, необходимых в том числе для функционирования ИТС-оборудования на дорогах. Разработаны специализированные программные продукты в области удаленной выдачи специальных разрешений на проезд тяжеловесных и (или) крупногабаритных транспортных средств по автомобильным дорогам общего пользования Республики Беларусь, система зимнего содержания автодорог «Метеомагистраль» и др. Постоянно происходит дальнейшее развитие и совершенствование информационно-коммуникационных технологий и автоматизированных систем управления в дорожном хозяйстве.

Наряду с вышеизложенным требуется проведение дальнейшей масштабной работы по интеграции функционирующих подсистем в единую комплексную интеллектуальную систему автомобильного транспорта и дорожного хозяйства. Должна быть разработана интегрированная система хранения, обработки и передачи данных, которая, помимо постоянного автоматизированного сбора информации о текущем транспортно-эксплуатационном состоянии автомобильных дорог, автоматизации обработки и хранения информации о них, поддерживает единство форматов базы данных информационных систем дорожного хозяйства и автомобильного транспорта. Из чего следует целесообразность развития информационной подсистемы автомобильного транспорта, аккумулирующей сведения не только о международных и транзитных перевозках, но и внутриреспубликанских в целом по дорожной сети. Анализ такой информации необходим для экономически обоснованного выбора вариантов развития дорожной сети, в целях оптимизации управления транспортными потоками при обеспечении максимально возможной пропускной способности.

В перспективе развитие единого цифрового пространства автотранспортной отрасли и дорожного хозяйства позволит интегрировать в мировую транспортную систему, обеспечить не только прослеживаемость товаропотоков, но и возможность согласованного решения проблем несоответствия пропускной и провозной способностей автомобильных дорог возрастающим требованиям транспортных потоков.

#### Список литературы

- 1 Царенкова, И. М. Перспективы развития цифровых технологий в дорожном хозяйстве / И. М. Царенкова, А. А. Царенков // Известия Гомельского государственного университета им. Ф. Скорины. Социально-экон. и обществ. науки: педагогика, право, экономика. – 2020. – № 2 (119). – С. 181–185.
- 2 О существующих в государствах – членах Евразийского экономического союза интеллектуальных транспортных системах, используемых в сфере автомобильного транспорта и дорожного хозяйства. – М. : Евразийская экономическая комиссия. – 49 с. – (Аналитический доклад) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://eec.eaunion.org/upload/medialibrary/fdb/Analiticheskiy-doklad-ITS.pdf>. – Дата доступа : 15.09.2023.
- 3 Открытие центра мониторинга дорожного движения [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://белдорсвязь.бел/2023/01/25/Открытие-центра-мониторинга-дорожно/>. – Дата доступа : 15.09.2023.

УДК 625.731

## ОСОБЕННОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА ЛЕСОВОЗНЫХ ДОРОГ ИЗ ЦЕМЕНТОГРУНТОВ

*С. А. ЧУДИНОВ, Н. В. ЛАДЕЙЩИКОВ*

*Уральский государственный лесотехнический университет, г. Екатеринбург,  
Российская Федерация*

Лесовозные дороги строятся исключительно для целей освоения лесов, они не могут быть долговременными, так как лес воспроизводится дольше, чем активные процессы освоения. Сеть лесовозных дорог постоянно развивается. В процессе объединения направлений трасс часть лесных и лесовозных дорог прекращают эксплуатировать. Экономически нецелесообразно строить лесные и лесовозные дороги с асфальтобетонным покрытием, срок эксплуатации которого, при своевремен-

ном ремонте, неограничен. Однако экономически приемлемо строить лесные и лесовозные дороги из местного грунта путём его стабилизации и укрепления [1].

Под стабилизацией глинистых грунтов понимается изменение свойств с целью придания слою грунту специальных водно-физических свойств, таких как гидрофобность, пониженная оптимальная влажность, повышенная максимальная плотность и т. д. После уплотнения в грунте не образуется кристаллизационной структуры жесткого каркаса, это тот же естественный материал, но более плотный.

Под укреплением глинистых грунтов понимается введение значительного количества вяжущего (например, 10 % от массы грунта), с ПАВ добавками или без них. При этом образуется новый искусственный материал с кристаллизационной структурой – монолитно затвердевший слой грунтобетона.

В связи с применением современной лесозаготовительной техники, увеличением транспортных нагрузок, традиционные технические решения по укреплению грунтов при строительстве лесных и лесовозных дорог требуют инновационного развития.

В работе [2] отмечены особенности долговечности монолитных укрепленных слоев грунта. Многократные переменные замораживания и оттаивания цементогрунта в водонасыщенном состоянии увеличивают количество внутренних трещин (при накоплении которых монолитная структура цементогрунта разуплотняется и разрыхляется) [3]. Оптимальной толщиной укрепления местного грунта считается толщина 20–30 см, данный объем слоя является критическим по образованию внутренних деформаций, традиционно количество вяжущего (портландцемента марки 400) принято брать не более 10–12% от массы грунта. Монолитные слои грунта, толщина которых составляет 20–30 см, необходимо армировать, соблюдая принцип армирования бетонов.

Бетоны имеют несовершенную структуру, они с большим количеством включений, трещин, разнообразием состава [3]. Это влияет на широкий спектр разрушений бетона, причиной которого является развитие трещин. Трещины в бетоне образуются и благодаря сезонным и климатическим перепадам температуры, когда в бетоне происходят расширения и сжатия. Таким образом, меняется объем бетона, и он меняется неравномерно, так как имеет разную степень нагрева и охлаждения в отдельных участках. Бетонные дорожные одежды в обязательном порядке имеют каркас внутреннего армирования.

Указанные особенности бетонных конструкций относятся и к монолитному грунтобетону. Известно, что многократные переменные замораживания и оттаивания цементогрунта в водонасыщенном состоянии увеличивают количество внутренних трещин, при накоплении которых монолитная структура цементогрунта разуплотняется и разрыхляется [2]. При этом укрепленные грунтовые слои лесовозных дорог подвергаются значительным механическим нагрузкам, в результате которых сначала происходит разрушение покрытия и образование микротрещин в нижних укрепленных слоях основания, а далее при повторных нагрузках приводят к разрушению всей структуры укрепленного основания. Бетонные и грунтобетонные монолитные слои толщиной более 100 мм необходимо армировать.

На монолитный укрепленный грунт, основания дорожной одежды толщиной 20–30 см, выполненный без армирования, неэффективно укладывать асфальтобетонные слои покрытия, так как возникающие и прогрессирующие трещины в монолитном основании сначала спроецируют на покрытие, далее при эксплуатации дороги основание будет разрыхляться, а покрытие продавливаться и разрушаться.

Выполнение стального арматурного каркаса для укрепления грунтов, по принципу бетонных дорог с литым полотном требует значительной перестройки дорожной отрасли, усложнение технологической последовательности работ с применением вакуумоукладчиков грунта, грунтоукладчиков и т. п., нормативной базы и значительного удорожания строительства, которое при строительстве лесных и лесовозных дорог не окупаемо. То же самое касается технологии укатываемого бетона – технологии устройства жестких бетонных покрытий для дорог и открытых площадок без стальных каркасов.

Прочность монолитного укрепленного грунта на сжатие в 10–15 раз выше, чем на растяжение. При эксплуатации дороги в конструктивных слоях основными считаются нагрузки на сжатие, которые в большинстве случаев монолитным основанием выдерживаются, что нельзя сказать про изгибающие напряжения в монолитных слоях, возникающие от колесной нагрузки или теплового расширения земляного полотна. Растягивающие дорожное полотно нагрузки, вследствие изгибов, способствуют начальному и прогрессирующему трещинообразованию в основаниях. При этом важно отметить, что тонкие, но твердые слои имеют повышенную гибкость, в отличие от монолитных слоев толщиной 20–30 см.

На примере существующих проблем при устройстве тонкослойных покрытий из асфальтобетона на основании из цементогрунта, когда низкая сдвигоустойчивость на границе раздела слоёв (между асфальтом и укрепленным грунтом) приводит сначала к разрушению покрытия, а следом – основания [3]. Низкая сдвигоустойчивость связана с отсутствием достаточных сил сцепления между разнородными материалами, поскольку битумные вяжущие по физико-химическим свойствам разнородны с минеральными веществами, применяемыми для укрепления грунтов, а сами грунты являются многокомпонентной системой, которая плохо адсорбирует битум [4]. Из этого можно сделать вывод, что слои основания и слои покрытия необходимо выполнять из однородных и близких по свойствам материалов, что будет способствовать увеличению сил трения на границе раздела, за счёт двух типов связей – кристаллизационного и коагуляционного молекулярного.

Основание дорожной одежды целесообразно выполнять толщиной 20–30 см из местного грунта путём его стабилизации, применяя количество портландцемента марки 400 не более 2 % от массы грунта. Покрытие также необходимо выполнить из местного грунта, но толщиной не более 10 см путём укрепления портландцементом марки 400, в количестве не менее 20 % от массы грунта. При этом общее количество цемента, в сравнении с традиционной технологией, уменьшится. С введением такого количества портландцемента прочность и гидрофобность верхнего слоя значительно увеличится, а при толщине не более 10 см покрытие будет более гибким, при этом его не надо армировать. С введением в смесь покрытия, пластификатора ЛСТ (лигносульфонат технический) в сухом состоянии до 1 % от массы грунта, ещё снизится водонасыщение готового покрытия с 0,8 до 0,3 % по массе грунта. Предложенная дорожная одежда лесовозной дороги с 2-скатным поперечным профилем и уклонами не менее 20 % оптимальна для целей транспортировки древесины.

#### Список литературы

1 Чудинов, С. А. Укрепление грунтов портландцементом с добавлением комплексной добавки, продлевающей строительный период / С. А. Чудинов, Н. В. Ладейщиков // Инновационный транспорт. – 2022. – № 4 (46). – С. 48–51. – DOI : org/10.20291/2311-164X-2022-4-48-51.

2 Вдовин, Е. А. Исследование долговечности модифицированного цементогрунта дорожного назначения / Е. А. Вдовин, Л. Ф. Мавлиев // Промышленное и гражданское строительство [Электронный ресурс]. – 2014. – № 11. – С. 76–79. – Режим доступа : <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22657495>. – Дата доступа : 30.09.2022.

3 Шубин, А. А. Влияние структуры армирования бетона на напряженно-деформированное состояние конструкций / А. А. Шубин // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2002. – № 8. – С. 232–234.

4 Строительство дорожных одежд низкой стоимости с основаниями из укрепленных грунтов и тонкослойными покрытиями. Обзорная информация [Электронный ресурс]. – Вып. 1. – 2003. – Режим доступа : <https://rags.ru/stroyka/text/56232/?ysclid=lm2vbt71f5854681598>. – Дата доступа : 03.09.2023.

УДК 625.04

## ОСОБЕННОСТИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ КОЛЕСО – РЕЛЬС В КРИВОЛИНЕЙНЫХ УЧАСТКАХ ПУТИ

*Д. С. ШАБАН*

*Белорусская железная дорога, г. Барановичи*

*М. Ю. НИКИТЕНКО*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Приоритетным направлением путевого хозяйства является обеспечение безопасного и бесперебойного движения поездов с установленными скоростями и нагрузками от колесной пары на рельсы, а также эффективность использования подвижного состава. Насущным требованием в настоящее время является сокращение продолжительности поездок пассажиров и доставки грузов, во многом определяющей качество транспортного обслуживания. Износ колес и рельсов, поверхностные и внутренние дефекты контактно-усталостного происхождения и сходы подвижного состава – все это влияет на качество перевозок.

При движении подвижного состава в криволинейном участке, даже при постоянной скорости, движение отдельных его частей происходит с ускорением, направленным по нормали к кривой. Это ускорение возникает под действием внешних сил – поперечных реакций рельсов на колесные пары. Такие силы, особенно в кривых малого радиуса, могут в несколько раз превосходить силы, возникающие при боковых колебаниях подвижного состава на прямых участках пути. К тому же на прямых участках пути эти силы достигают больших значений лишь на коротких отрезках пути, где гребни колес набегают на рельсы. В кривых с радиусом менее 600 м гребни колес при их движении могут быть прижаты на всем протяжении кривой, поэтому основными зонами выхода из строя рельсов и колесных пар являются кривые участки пути, особенно малого радиуса.

По оценкам исследователей, количество факторов, влияющих на интенсивность износов в системе «колесо – рельс», исчисляется десятками. Специалисты выделяют около 20 различных факторов, однако не все они имеют существенное значение. Из анализов результатов наблюдений следует, что на участках, где преобладают кривые радиусом 350–400 м, интенсивность бокового износа в 2,5 раза выше, чем на участках, где преобладают кривые радиусом 550–600 м. Как показали исследования, основным фактором, определяющим интенсивность износа рельсов и колес подвижного состава, является затрудненное вписывание экипажей в кривые малого радиуса. В работах И. А. Осташко [1] и Н. И. Карпущенко [2] установлено, что по мере роста непогашенного центростремительного ускорения и скорости движения поездов интенсивность износа повышается, а по мере увеличения возвышения наружного рельса – понижается. При снижении непогашенного ускорения на  $0,3 \text{ м/с}^2$  интенсивность бокового износа рельсов уменьшается на 10 %. Падение непогашенного ускорения на  $0,3 \text{ м/с}^2$  достигается увеличением возвышения наружного рельса на 50 мм или снижением скорости движения поездов на 34 км/ч в кривых радиусом 300 м.

В работе О. М. Соколова [3] представлены данные, показывающие разницу в зависимостях интенсивности бокового износа рельсов, уложенных на участках пути радиусом  $R \leq 350$  м от пропущенного тоннажа с различными промежуточными рельсовыми скреплениями – АРС-4, КБ-65, ЖБР-65ПШМ и ЖБР-65ПШР. Эти данные показывают, что наибольшая интенсивность бокового износа рельсов ДТ350 производства АО «ЕВРАЗ» в кривых участках  $R \leq 350$  м имеет место, где рельсы закреплены промежуточными скреплениями АРС-4. За ними по нисходящей следуют КБ-65, ЖБР-65ПШМ и ЖБР-65ПШР. В работе профессора Н. И. Карпущенко [4] на основе эксплуатационных наблюдений за интенсивностью бокового износа в разных условиях эксплуатации в кривых радиусами более 350 м определено влияние ряда факторов – смазки, подуклонки, радиуса кривой, уровня непогашенного ускорения на износ рельсов.

Первая гипотеза о причинах возникновения и развития контактно-усталостных повреждений рельсов была высказана и опубликована профессором Г. М. Шахунянцем [5]. В ней высказывалось предположение, что в процессе остывания рельсовой стали в головках рельсов возникают неоднородности в виде ликваций и газовых пузырей, а также шлаковин, плен и других загрязнителей металла. Влияние неметаллических включений на образование дефектов контактно-усталостного характера рассмотрено в работе [6]. Исследования А. Д. Конюхова по остаточным напряжениям в образцах рельсов, изъятых из эксплуатации, показали, что на глубине 4–5 мм сжимающие напряжения могут переходить в растягивающие остаточные напряжения. Им же был изучен вопрос о зависимости вида контактно-усталостного повреждения или дефекта рельса от глубины его залегания по отношению к поверхности катания рельса.

Требования к химическому составу и механическим свойствам рельсовой стали отработаны многолетней практикой эксплуатации железных дорог и совершенствованием технологии производства рельсового проката на металлургических комбинатах [7].

Д. П. Марков анализирует природу напряжений, ответственных за появление контактно-усталостного разрушения, и гипотезы такого разрушения: критерий максимальных сжимающих контактных напряжений; критерий исчерпания пластичности (предельной деформации); критерий максимальных касательных контактных напряжений, действующих на глубине и зависящих от величины сил трения.

Одним из объяснений образования контактно-усталостных трещин может быть развитие значительных пластических деформаций, особенно если превзойден так называемый предел приспособляемости материала, введенный К. Л. Джонсоном. Согласно его исследованиям, после некоторого



числа повторных контактных нагрузок при перекатывании цилиндра по упруго-пластичному основанию рост пластических деформаций практически прекращается и наступает как бы новое упругое состояние.

В работах В. Е. Громова методами оптической, сканирующей, просвечивающей электронной дифракционной микроскопии и измерения микротвердости и трибологических параметров установлены закономерности изменения структурно-фазовых состояний и дефектной субструктуры поверхностных слоев рельсов до 10 мм по центральной оси и выкружке после длительной эксплуатации (пропущенный тоннаж – 500 и 1000 млн т брутто).

На основании приведенных исследований можно выделить следующие факторы, влияющие на интенсивность износа рельсов: радиус круговой кривой, конструкция экипажных частей подвижного состава, осевая нагрузка, категория качества рельсов, непогашенное ускорение, скорость движения поездов, недостаток или избыток возвышения наружного рельса, продольный профиль пути, масса поезда.

#### Список литературы

1 **Осташко, И. А.** Влияние параметров рельсовой колеи на износ рельсов в кривых : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.06 / И. А. Осташко; Сибирская академия путей сообщения. – Новосибирск, 1997. – 17 с.

2 Исследование бокового износа рельсов в кривых на перевальном участке / Н. И. Карпушенко [и др.] // Путь и путевое хозяйство. – 2018. – № 9. – С. 35–40.

3 **Соколов, О. М.** Оценка влияния типов конструкций рельсовых скреплений на износ рельсов разных категорий в кривых малого радиуса (менее 650 м) на участках с повышенными осевыми нагрузками для анализа возможности увеличения межремонтных сроков / О. М. Соколов // Улучшение качества и условий эксплуатации рельсов и рельсовых скреплений : сб. науч. докладов по материалам заседания некоммерческого партнерства «Рельсовая комиссия» (Анапа, 7–9 октября 2020 г.). – Екатеринбург: УИМ, 2021. – С. 101–128.

4 Влияние подуклонки и ширины колеи на износ рельсов [Электронный ресурс] / Н. И. Карпушенко [и др.]. – Режим доступа : <https://vunivere.ru/work65439?screenshots=1>. – Дата доступа : 26.09.2023.

5 **Шахуняц, Г. М.** Механические характеристики рельсов Р65 / Г. М. Шахуняц // Труды МИИТ. – Вып. 543. – М., 1977. – С. 39–106.

6 **Шур, Е. А.** Повреждения рельсов / Е. А. Шур. – М. : Интекст, 2012. – 192 с.

7 **Шур, Е. А.** О выборе допускаемых напряжений при прочностных расчетах рельсов / Е. А. Шур // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – 1977. – № 8. – С. 38–41.

УДК 624.157.2

## ВОЗВЕДЕНИЕ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ МЕТОДОМ ОПУСКНОГО КОЛОДЦА

*М. А. ШАМОВА, С. Г. ДРОБОВ*  
*ОАО «ФэтСит», г. Гомель, Республика Беларусь*

В теснённых условиях города подземное строительство осуществляют специальными способами, одним из которых (наряду с такими способами, например, как стена в грунте, щитовая проходка тоннелей, бестраншейная прокладка коммуникаций) является опускной колодец. При этом способе не требуется отрывать котлован с откосами, использовать мощные машины с большими динамическими нагрузками на расположенные рядом конструкции зданий и сооружений.

Наличие плотной сети подземных инженерных коммуникаций, действующих цехов предприятия также затрудняет производство работ традиционными способами. В этих случаях способ опускного колодца может стать единственно возможным для производства работ.

Опускные колодцы используют при устройстве фундаментов глубокого заложения и различного рода заглубленных сооружений.

По форме в плане опускные колодцы бывают круглые, эллиптические, прямоугольные, а по вертикали – цилиндрические и призматические, конические и ступенчатые. В нижней части колодец снабжен ножом, режущая кромка которого облицована стальными уголками или листами.

Сущность опускного колодца состоит в том, что конструкцию вначале устанавливают или бетонируют на поверхности земли, а затем внутри нее разрабатывают грунт в направлении от центра к ножу. Оболочка колодца, утрачивая опору грунта под ножом, под действием собственного веса опускается, выдавливая оставшийся грунт из-под ножа внутрь колодца.

Погружение опускного колодца в грунт происходит в результате преодоления сил трения стен по грунту силами собственного веса колодца. В некоторых случаях – с использованием дополнительной пригрузки или дополнительного усилия, передаваемого на колодец.

Опускные колодцы могут быть массивные и тонкостенные. Массивные колодцы применяют чаще всего для возведения фундаментов глубокого заложения. Тонкостенные применяют для возведения заглубленных зданий и сооружений, у которых подземная часть используется в хозяйственных целях. Массивные колодцы, как правило, гравитационные, погружаемые под воздействием собственного веса. Тонкостенные колодцы погружают в тиксотропных рубашках или с использованием задавливания.

Опускные колодцы возводят из монолитного, сборного и сборно-монолитного железобетона.

Работы по возведению опускных колодцев включают следующие этапы:

- подготовка строительной площадки и приспособлений для погружения;
- сооружение стен колодца;
- выемка грунта и погружение колодца;
- заполнение полости колодца бетоном или устройство днища.

Устройство стен монолитных колодцев включает установку опалубки, монтаж арматуры, непрерывную послойную укладку бетонной смеси с уплотнением, разборку опалубки. Колодцы опускают после набора бетоном не менее 70 % проектной прочности.

Стены сборных колодцев монтируют из специальных железобетонных панелей или тонкостенных пустотелых железобетонных блоков. При сооружении сборно-монолитных колодцев из пустотелых блоков ножевая часть выполняется монолитной.

Опускные колодцы погружают с водоотливом и без водоотлива. Погружение с водоотливом применяется, если приток подземных вод небольшой и вблизи нет сооружений, чувствительных к осадкам. В осушенных колодцах большого диаметра для разработки грунта используются экскаваторы с прямой лопатой и бульдозеры. Разработанный грунт нагружают в бады и удаляют кранами. Вместо бадей также используют грейферы. В некоторых случаях для рыхления грунта проводят взрывные работы. Выбор технологии и комплекта машин при разработке грунта зависит от способа опускания колодца, его размеров и вида разрабатываемого грунта.

При опускании колодцев без водоотлива разрабатывают грунт и выдают его на поверхность грейфером. Грейферы наиболее целесообразно применять для разработки легких грунтов: песчаных, легких супесей, илистых и др.

Для уменьшения сил трения стен колодца о грунт на внешней поверхности колодца делают один или несколько уступов. Однако при погружении колодцев больших размеров этого недостаточно, поэтому используют такие способы, как подмыв грунта, погружение колодцев в тиксотропных рубашках и использование электроосмоса.

Погружение колодцев в тиксотропной рубашке позволяет уменьшить толщину стен колодцев и исключить зависание колодцев в грунте. Все это по сравнению с традиционными методами снижает затраты труда на 30–35 %, а стоимость работ – на 15–20 %.

В глинистых грунтах с коэффициентом фильтрации менее 0,05 м/сут. для снижения трения может применяться электроосмос. Сущность электроосмоса состоит в периодическом привлечении к наружной поверхности колодца воды, которая содержится в грунтовом массиве в свободном или связанном состоянии. Эта вода перемещается от анода к катоду при наложении на массив постоянного электрического поля. Для этого погружаемый колодец оборудуется системой электродов: один – в виде металлических поясов (катода) крепится на наружной поверхности колодца; другие – в виде металлических труб забиваются на определенном расстоянии вокруг погружаемого колодца.

При погружении колодцев больших размеров целесообразно совместное использование электроосмоса и тиксотропной рубашки.

В некоторых случаях опускные колодцы погружают задавливанием. Способ погружения опускных колодцев задавливанием может применяться как при наращивании стен сборными элементами, так и монолитным железобетоном при глубине более 20 м. Не рекомендуется его применять в скальных и полускальных грунтах, а также в грунтах с валунными включениями.

По мере погружения колодца в грунт бетонируют верхние ярусы колодца. Скорость погружения в этом случае должна быть увязана со скоростью наращивания колодца и достижением бетоном требуемой прочности.

В процессе опускания колодца необходимо вести постоянное геодезическое наблюдение за его вертикальностью и скоростью погружения. Когда в колодце обнаружено зависание в его верхней части, необходимо выбрать грунт у ножа отстающей стороны или размыть водой, подаваемой по трубам, установленным с внешней стороны стены. Иногда для увеличения массы колодца зависшую его сторону утяжеляют пригрузами из железобетонных блоков. В исключительных случаях для опускания зависшего колодца создают искусственные динамические колебания почвы путем направленного взрыва в стороне от сооружения.

Погруженные до проектной отметки колодцы, в зависимости от назначения, полностью или частично заполняют бетоном. Чаще всего бетонируют днище. При незначительном притоке подземных вод его бетонируют в осушенном колодце. До начала работ по устройству днища колодца необходимо зачистить и спланировать ложе под него, удалить илистые и пылеватые фракции, уложить щебеночную подготовку и обеспечить полный водоотлив из дренирующего слоя.

При погружении колодцев ниже уровня подземных вод необходимо обеспечить устойчивость их против всплытия, которое может произойти после устройства днища.

В связи с использованием подземной части колодцев в хозяйственных целях стены и днище колодца подлежат гидроизоляции. Гидроизоляцию наружной поверхности стен производят перед опусканием колодца. Основными типами гидроизоляции являются: торкрет, металлическая, битумная, оклеечная и литая асфальтовая.

Основные достоинства опускного колодца:

- отсутствие необходимости в использовании дорогостоящей специальной техники в виде автокрана или иного подъемного механизма;
  - освобождение от трудоемкой работы по рытью котлована;
  - возможность проведения строительства на болотистой или сыпучей почве;
  - доступность технологии;
  - возведение конструкций глубиной до 80 м.
- Недостаток – длительность выполнения работ.

#### Список литературы

- 1 Глогов, Н. М. Строительство фундаментов глубокого заложения / Н. М. Глогов, К. С. Силин. – М. : Транспорт, 1985. – 248 с.
- 2 Основания и фундаменты / М. И. Смородинов [и др.]. – М. : Стройиздат, 1983. – 367 с.

УДК 625.089

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОТРЕБНОСТИ В МАШИНАХ ПО РЕМОНТУ И СОДЕРЖАНИЮ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ НА ГОДОВОЙ ПЕРИОД

*Ю. А. ШЕБЗУХОВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

*С. А. МОЙСЕЕНКО*

*ОАО «Дорожно-строительный трест № 2, г. Гомель», Республика Беларусь*

Планирование парка машин в дорожно-строительной организации начинается при наличии плана ремонта автомобильных дорог на следующий календарный год исходя из имеющегося бюджета.

Процесс планирования парка машин можно представить в виде блок-схемы (рисунок 1).

Данная блок-схема наглядно показывает механизм планирования не только парка машин для ремонта и содержания автомобильных дорог, но и планирование их ремонта на основе анализа текущего состояния техники.

Имея порядок содержания земляного полотна с водоотводными сооружениями, дорожной одежды с асфальтобетонным и цементобетонным покрытием и элементов обустройства автомобильных дорог, а также порядок контроля качества и приемки выполненных работ [1], организации государственного дорожного хозяйства – владельцы автомобильных дорог или организации, осуществляющие работы по содержанию автомобильных дорог и сооружений на них по договору подряда [1], выполняют оценку производственных мощностей, заключающуюся в первую очередь в количественном анализе имеющегося парка дорожно-строительной техники.

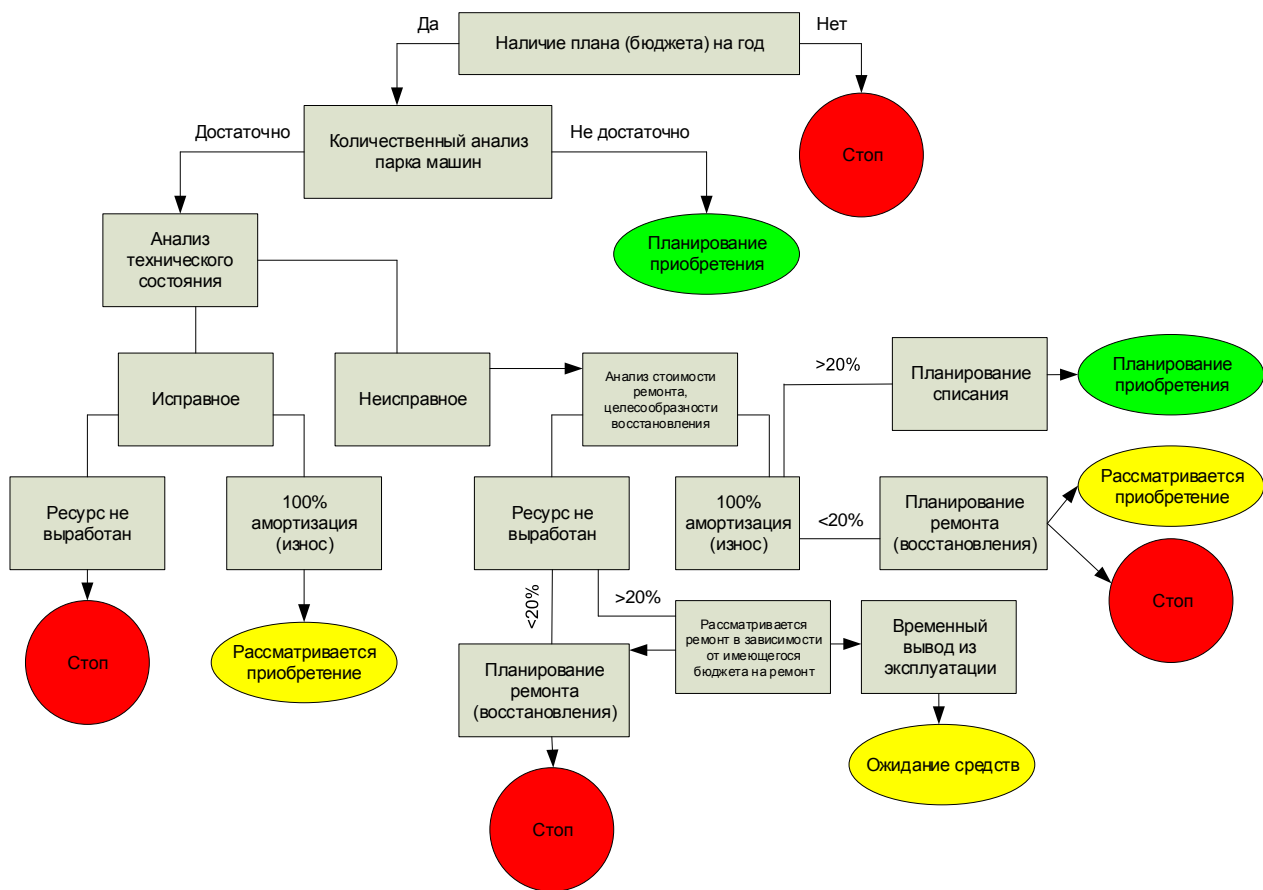


Рисунок 1 – Блок-схема процесса планирования парка машин на основе имеющегося бюджета на ремонт и содержание автомобильных дорог

В случае достаточности количества имеющейся техники выполняют анализ ее технического состояния, включающий оценку ресурса техники и определение целесообразности ее ремонта. Во всех случаях, когда имеющейся техники недостаточно или если восстановление ресурса нецелесообразно с экономической точки зрения, необходимо осуществлять планирование приобретения недостающих единиц техники. Для этого необходимо разработать эффективную стратегию оздоровления и обновления парка машин на основании научно обоснованного прогноза рабочего парка [2].

На основании анализа имеющейся в распоряжении отраслевых организаций техники по ее количеству и техническому состоянию разрабатывается математическая модель прогноза рабочего парка дорожно-строительных машин и получают его расчетные значения на следующий календарный год, которые должны быть учтены и использованы при разработке бизнес-плана работы предприятий.

Получение модели формирования парков дорожно-строительных машин преследует две основные цели: установить главные факторы, влияющие на их величину, и степень этого влияния [2]. Это позволит наметить первоочередные меры по повышению показателей эффективности работы дорожной техники, спрогнозировать количество единиц рабочего парка и тем самым даст возможность наметить первоочередные меры по оздоровлению техники, рационально расходовать средства на закупку машин, выработать обоснованные решения развития собственной базы индустриального ремонта и производства элементов техники.

Таким образом, прогнозирование потребности в машинах по ремонту и содержанию автомобильных дорог на годовой период может осуществляться на основании математической модели прогноза, которая должна учитывать факторы, влияющие на количественный и качественный состав парков дорожно-строительной техники в организациях, обслуживающих автомобильные дороги.

## Список литературы

1 ТКП 366-2021. Автомобильные дороги. Правила содержания = Аўтамабільныя дарогі. Правілы ўтрыманьня. – Взамен ТКП 366-2012 ; введ. 2021-07-21. – Минск : БелдорНИИ, 2021. – 35 с.

2 Сенько, В. И. Прогнозирование численности парка грузовых вагонов / В. И. Сенько, Е. П. Гурский // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2008. № 1 (16). – С. 13–17.

УДК 539.621

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ ВНЕДРЕНИЯ ЗЁРЕН КАРБОРУНДА В МАТЕРИАЛ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЙ В МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЯХ ПУТЕВЫХ СТРУКТУР uST

А. Э. ЮНИЦКИЙ, В. Н. ГАРАНИН

ЗАО «Струнные технологии», г. Минск, Республика Беларусь

Рассмотрение темы влияния карборундового промежуточного слоя на механическую фиксацию разнородных материалов в конструкциях путевых структур транспортных комплексов uST [1] (струнного транспорта) имеет важное значение и затрагивает в первую очередь проблему необходимости повышения коэффициента трения скольжения механических узлов, изготовленных из металла с разными физико-механическими свойствами. При этом в строительстве путевых структур струнного транспорта большое внимание уделяется надёжности фиксации механическим способом деталей и узлов, подвергающихся постоянным перепадам температур и другим атмосферным воздействиям. Этим и обоснована необходимость в повышении коэффициента трения скольжения между соединяемыми поверхностями деталей путевых структур для обеспечения надёжной работы различных конструктивных решений.

Создание путевых структур с использованием разъёмных соединений способствует повышению качества и снижению стоимости их строительства, а также повышению их ремонтпригодности. Разъёмные соединения во многих случаях являются единственно возможными к применению, особенно при создании «временных» соединений, например при натяжении элементов перед их фиксацией во время возведения транспортных комплексов uST.

Анализ материалов показал наличие достаточного опыта в повышении коэффициента трения скольжения при фиксации однородных стальных материалов с использованием карборундового порошка, позволяющего повысить коэффициент трения скольжения до 0,5, что отражено в нормативном документе [2]. Для разнородных материалов затруднительно использовать выше представленный нормативный материал по причине разного рода «внедрения» зёрен карборунда в поверхности с разными физико-механическими свойствами, которые используются при строительстве струнных путевых структур. По этой причине на первом этапе исследований важно оценить усилия внедрения карборундового слоя в используемый для строительства материал в зависимости от размера зёрен и качества подготовки поверхностей. Схема эксперимента представлена на рисунке 1.

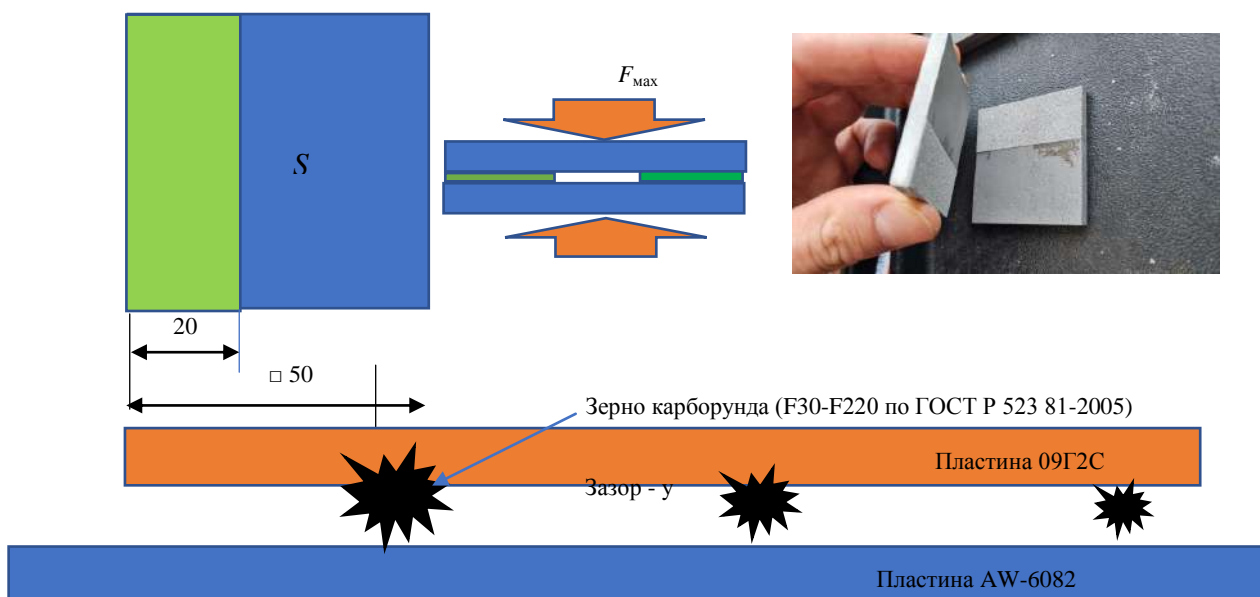


Рисунок 1 – Схема испытаний по внедрению зёрен карборунда в металлический материал

Предварительные эксперименты по определению максимального напряжения внедрения карборунда (с размерами зёрен 59–615 мкм) в поверхности металлического материала марок АW-6082 и 09Г2С (не подвергнутого термообработке с разной шероховатостью) показали, что среднее напряжение внедрения зёрен находится в области 20 МПа с получением зазора, который составляет 40–60 % от размера внедряемых зёрен. График нагружения пластин представлен на рисунке 2.

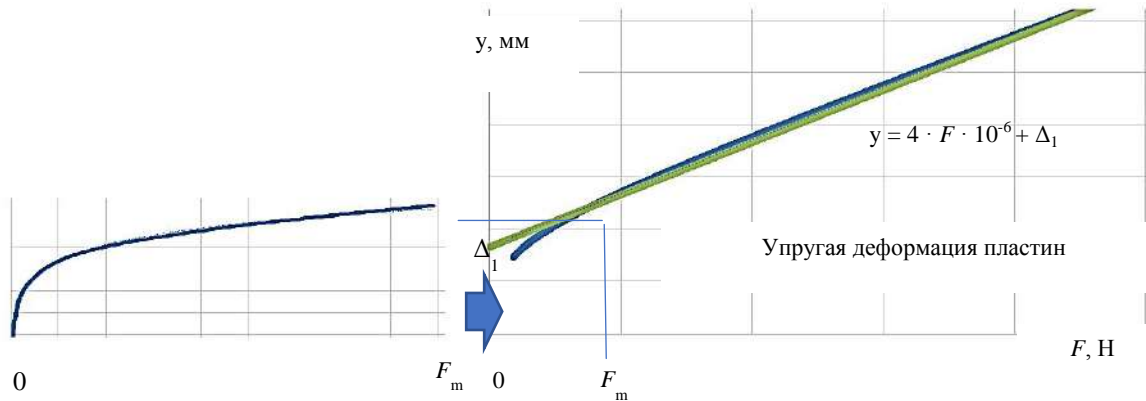


Рисунок 2 – График нагружения пластин при испытаниях

Как видно из графика, представленного на рисунке 2, при превышении усилия сжатия  $F_m$  процесс внедрения зёрен карборунда в материалы практически прекращается и начинается упругая деформация пластин. Тем самым сила  $F_m$  характеризует максимальную нагрузку, которую для внедрения необходимо дать зёрнам. Среднее напряжение внедрения зёрен  $\sigma$ , МПа, исходя из площади взаимодействующих поверхностей  $S = 2000 \text{ мм}^2$  (рисунок 2), следует определять по зависимости:

$$\sigma = F_m / 2000. \quad (1)$$

При этом после снятия нагрузки зёрна карборунда полностью не внедрились и образовывался зазор, что нежелательно, и для улучшения условий соединения материалов требуется его заполнение (рисунок 3).



Рисунок 3 – Зазор после устранения нагрузки

Таким образом, с целью дальнейшего совершенствования технологии повышения коэффициента трения в металлических конструкциях транспорта второго уровня uST с применением карборунда (с размером зёрен  $d$ ) целесообразно использовать промежуточные фрикционные элементы на мягкой основе толщиной  $S$ , мм, определяемой по зависимости:

$$S = (0,4 \dots 0,6)d. \quad (2)$$

При этом рационально подготавливать данные элементы в цехе до выполнения монтажных работ, что значительно снижает трудоёмкость применения технологии фиксации разнородных металлических материалов.

#### Список литературы

- 1 Юницкий, А. Э. Экологические аспекты струнного транспорта / А. Э. Юницкий, М. И. Цырлин // Инновационный транспорт. – 2020. – № 2. – С. 7–9.
- 2 СТП 006-97. Устройство соединений на высокопрочных болтах в стальных конструкциях мостов. – Введ. 1997-10-09. – М. : Корпорация «Трансстрой», 1998 г. – 59 с.

## ЭФФЕКТИВНЫЕ ФУНДАМЕНТЫ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ ОПОР ТРАНСПОРТНОЙ ЭСТАКАДЫ uST

А. Э. ЮНИЦКИЙ, А. Н. СОЛОДКИН

ЗАО «Струнные технологии», г. Минск, Республика Беларусь

Проблема медленного и трудоемкого возведения фундаментов под опоры становится все более актуальной. В данном тезисе представляем решение – применение железобетонных забивных свай. Эта технология позволяет существенно увеличить скорость, обеспечивая быстрый и надежный фундамент. Такой подход устраняет необходимость в сложных и длительных работах по возведению традиционных плитных фундаментов, сокращает время строительства и повышают общую эффективность проекта.

Транспортно-инфраструктурные решения uST основаны на технологии создания предварительного напряжённых транспортных эстакад нового поколения [1]. Указанная рельсо-струнная эстакада

(далее – эстакада uST) включает в себя анкерные опоры, промежуточные опоры, предварительно напряжённую путевую структуру. При этом особое внимание уделяется скорости возведения опор, что приводит к необходимости применения специальных конструкций.

В большинстве своём промежуточные опоры представляют собой П-образные рамы, неотъемлемой частью которых являются фундаменты. С целью повышения эффективности возведения фундаментов промежуточных опор транспортных эстакад uST вместо традиционного плитного фундамента предлагается использовать сборные забивные сваи с металлическим оголовком, что является новизной представленной работы.

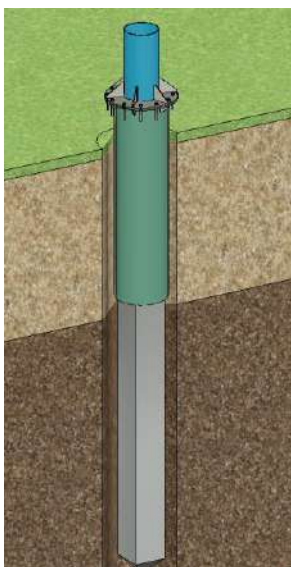
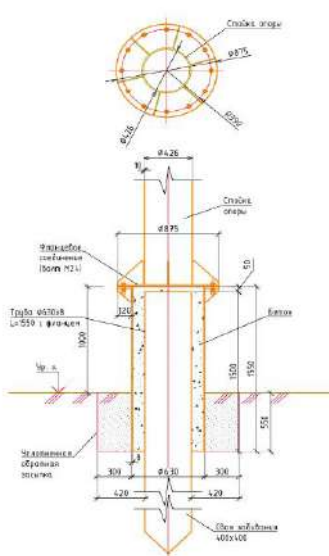


Рисунок 1 – Фундамент под промежуточную опору uST



Фундамент представляет собой железобетонную забивную сваю по серии Б1.011.1-2.08 с металлическим оголовком в виде трубы. Металлический оголовок позволяет нивелировать неровность забивки сваи, избежать сил отрицательного трения грунта от мороза, а также выполняет роль противоударной защиты. На рисунке 1 представлен быстровозводимый фундамент под промежуточную опору эстакады uST (далее – опора).

После установки стального оголовка производится заполнение его мелкозернистым бетоном. Соединяется фундамент со стойкой промежуточной опоры через фланцевый стык.

Так, расчет проекта Юнилайт (одно из решений компании UST Inc.) фундамента промежуточных опор гибкой путевой структуры (высота опор 15 м, шаг опор 250 м, масса транспорта 3,0 т) показал работоспособность данного решения. Напряжения в оголовке во фланцевом стыке оголовка менее предельно допустимых для стали С355. Несущая способность сваи по материалу ствола, грунтовому основанию достаточна.

С использованием программного комплекса Лира-САПР были определены горизонтальные отклонения свай (рисунок 2) для различных типов грунтов (таблица 1).

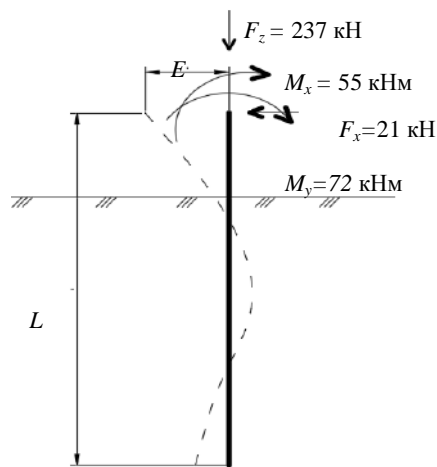


Рисунок 2 – Расчетная схема фундамента

Таблица 1 – Горизонтальные перемещения промежуточной опоры при различных грунтах

Грунт	Длина сваи, м ( $L$ )	Горизонтальные перемещения сваи, мм ( $E$ )
1 Суглинок текучепластичный ( $IL = 0,9$ )	10	34,5
2 Суглинок полутвердый ( $IL = 0,5$ )	5	28,8
3 Супесь пластичная ( $IL = 0,7$ )	7	32
4 Супесь твердая ( $IL = 0,1$ )	5	26
5 Песок мелкий ( $e = 0,71$ )	5	27,1

*Примечание –  $IL$  – показатель текучести;  $e$  – коэффициент пористости.*

Эффективность использования такого фундамента обусловлена следующими факторами:

- 1 Отсутствием применения опалубки и необходимости длительного ожидания твердения бетона;
- 2 Возможностью, установки свай независимо от погодных условий, включая холодные и влажные периоды, что обеспечивает непрерывность работ;
- 3 Использованием специализированного оборудования для забивки свай, что повышает производительность и позволяет быстро и точно выполнять работы по установке фундамента;
- 4 Обеспечением высокой надежности и устойчивости опор благодаря свайным фундаментам, что уменьшает необходимость в дополнительных мерах безопасности и укрепления фундамента;
- 5 Возможностью установки на различных типах грунта, включая слабые и неоднородные, что позволяет избежать сложностей, связанных с подготовкой и уплотнением грунта для плитного фундамента;
- 6 Минимизацией земляных работ, меньшей площадью котлована;
- 7 Заводской готовностью забивных свай, что исключает возможность некачественного производства монолитных работ.

Таким образом, применение сборных забивных свай со стальным оголовком для транспортной эстакады uST является эффективным и новым решением, которое позволяет сократить сроки возведения промежуточных опор более чем в 10 раз и обеспечить высокое качество работ за счёт заводской готовности элементов фундамента.

#### Список литературы

- 1 Юницкий, А. Э. Струнные транспортные системы: на Земле и в Космосе / А. Э. Юницкий. – Силакросс : ПНБпринт, 2019. – 576 с.

УДК 338.47:625.7/.8

## МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ПОТЕНЦИАЛА АВТОДОРОЖНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ В ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ

*Д. В. ЯСЬКО*

*Республиканское унитарное предприятие автомобильных дорог «Гомельавтодор»,  
Республика Беларусь*

*И. М. ЦАРЕНКОВА*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Дорожное хозяйство формирует инфраструктурный фундамент экономики. Современные тенденции цифровизации, усиление конкуренции способствуют дифференциации предъявляемых на рынке транспортно-логистических услуг запросов в совокупности с требованиями к качественному состоянию автомобильных дорог и комплексу услуг, которые хотят использовать грузовладельцы при планировании и осуществлении доставки. Установлено, что транспортно-эксплуатационное состояние автомобильных дорог определяет затраты автомобильного транспорта на перевозки и тем самым непосредственно влияет на результаты деятельности экономических партнеров. Это вызывает необходимость интеграции всех объектов, расположенных в районе тяготения автомобильной дороги, в единую систему, приводит к трансформированию содержания понятия инфраструктуры, появлению ее нового подвида в формате автодорожной инфраструктуры применительно к сферам дорожного хозяйства и автомобильного транспорта.

Выступая в качестве сложной, динамично развивающейся самостоятельной социально-экономической системы, дорожное хозяйство включает подсистемы автодорожной инфраструктуры и орга-



низаций различных форм собственности, взаимодействующих между собой в рамках обеспечения и реализации дорожной деятельности. Автодорожная инфраструктура представлена сетью автомобильных дорог общего пользования и системой взаимосвязанных между собой объектов, расположенных в пределах полосы отвода и придорожной территории, включая цифровые коммуникации, функционально обеспечивающих производственную деятельность, в том числе дорожную, и обслуживание сопутствующих движению потребностей пользователей автомобильными дорогами [1]. Базовую роль в ее построении играет автомобильная дорога.

Спецификой сферы выполнения дорожно-строительных работ по возведению и реконструкции, эксплуатационных мероприятий по ремонту и содержанию, повышению надежности и продлению долговечности автомобильных дорог является совмещенность во времени и пространстве со сферой оказания транспортно-логистических услуг автомобильным транспортом. В качестве предпосылки прикладного подхода, связанного с решением конкретных производственных задач по реализации дорогой своих функций в составе транспортно-логистической системы, для аккумуляции конкретных возможностей автодорожной инфраструктуры в качестве интегральной характеристики предлагается использовать понятие «потенциал». Потенциал автодорожной инфраструктуры раскрывается в процессе возникновения к ней экономических интересов пользователей, которые отражаются в спросе на обеспечение бесперебойных и безопасных перевозок грузов и пассажиров. Требования к качеству автодорожных услуг формируются у всех пользователей автомобильной дорогой: автотранспортных предприятий, логистических операторов, населения, органов управления и т. п. – и носят специфический характер в зависимости от целей их развития.

Потенциал автодорожной инфраструктуры как экономический ресурс имеет свою структуру и возможные пути его наращивания. Выделены специфические факторы эксплуатационного, транспортного, производственного, социального и экономического характера, влияющие на уровень транспортно-логистического потенциала автодорожной инфраструктуры. Дифференцируя дороги по уровню заложенного в них потенциала, производят их градацию по группам, в соответствии с возможным уровнем улучшения показателей деятельности, при условии рационального использования имеющихся ресурсов. Это необходимо для оценки автомобильных дорог по степени возможностей формировать, определять, удовлетворять потребности рынка транспортно-логистических услуг, а также повышения эффективности привлекаемых инвестиций.

Предлагаемый методический подход реализуется в два этапа с использованием многофакторной модели. На первом этапе осуществляется построение системы индикаторов, каждый из которых отражает отдельные аспекты транспортно-логистического потенциала автодорожной инфраструктуры, с применением статистически-математического анализа и сравнения исходной информации. На втором выполняется дифференциация автомобильных дорог с помощью интегрированной многофакторной модели, разработанной на основе метода экспертных оценок. Алгоритм заключается в выполнении ряда последовательных действий, систематизированных по этапам, представленным на рисунке 1.

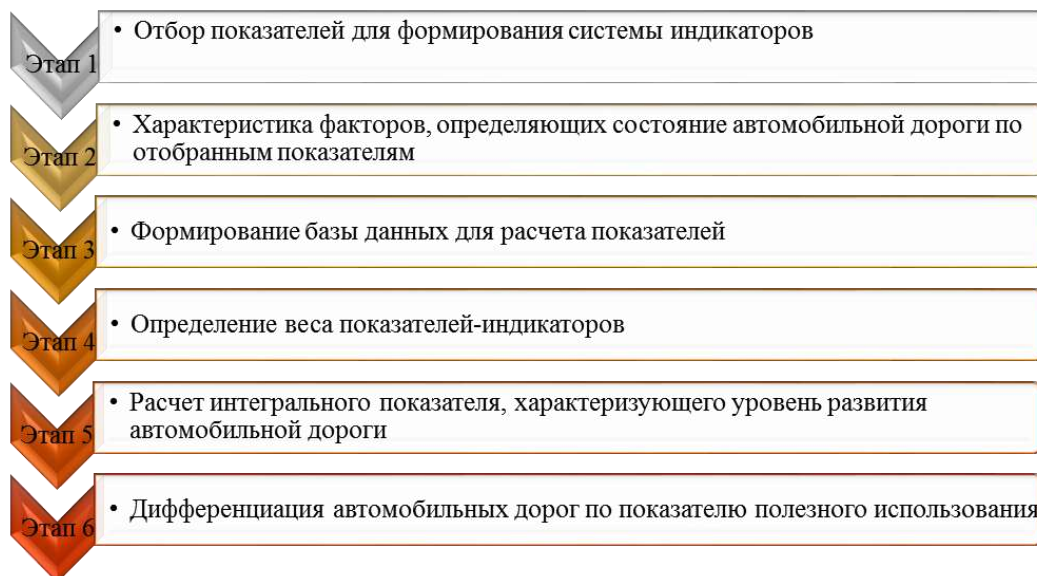


Рисунок 1 – Схема проведения экономической оценки транспортно-логистического потенциала автодорожной инфраструктуры

Для оценки уровня транспортно-логистического потенциала автодорожной инфраструктуры предлагается использовать интегральный показатель, включающий эксплуатационный, транспортный, производственный, социальный и экономический элементы, формирующие базис функциональной дифференциации автомобильных дорог. Оценка влияния составляющих на результат при его формировании находит выражение в их удельном весе. Удельные веса значимости были определены методом групповой экспертной оценки [2]. Данные для исследования были получены на основании опроса по специально разработанным анкетам руководителей организаций, выполняющих функции заказчика и генерального подрядчика при строительстве, реконструкции и капитальном ремонте автомобильных дорог, их филиалов, выполняющих работы по ремонту и содержанию дорог, а также начальников функциональных отделов.

В рамках предложенного методического подхода к оценке транспортно-логистического потенциала автодорожной инфраструктуры производится экономическая интерпретация полученных результатов путем рассредоточения автомобильных дорог по группам в зависимости от значений интегрального показателя. В результате сформировано пять групп. Участки дорог первых трех групп характеризуются повышенной отдачей от вложенных инвестиционных средств, что связано с характером выполняемых по ним перевозок. Дороги, входящие в четвертую и пятую группы, имеют невысокие объемы перевозок международных и транзитных грузов и больше предназначены для пропуска пассажирского движения, обслуживания населения и внутриреспубликанских перевозок. Полученные результаты формируют устойчивый базис для разработки мероприятий по развитию как отдельных автомобильных дорог, так и в целом дорожной сети страны.

#### Список литературы

- 1 Царенкова, И. М. Организационно-экономический механизм реализации транспортно-логистического потенциала автодорожной инфраструктуры / И. М. Царенкова // Новости науки и технологий. – 2021. – № 4 (59). – С. 12–18.
- 2 Саати, Т. Аналитическое планирование. Организация систем / Т. Саати, К. Кернс. – М. : Радио и связь, 1991. – 224 с.

УДК 625.85.06

### **МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНО-ВРЕМЕННОЙ НЕСТАБИЛЬНОСТИ МОДИФИЦИРОВАННОГО БИТУМА И СПОСОБЫ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ НЕГАТИВНЫХ ФАКТОРОВ С УЧЁТОМ ПАРАМЕТРОВ РАСТВОРИМОСТИ**

*П. П. ЯЦЕВИЧ*

*Филиал БНТУ «Научно-исследовательский политехнический институт», г. Минск,  
Республика Беларусь*

Работа асфальтобетонных покрытий в условиях городского движения существенно отличается от загородных дорог [1]. Первое, что можно выделить, это повсеместно затрудненный водоотвод, особенно в осенне-зимне-весенний период. Если на загородных дорогах рассол (смесь осадков и ПСС) спокойно уходит с покрытия на откос, то в городских условиях существуют ограничения, вызванные бортовым камнем и ограниченной пропускной способностью дождеприемных колодцев, которая дополнительно снижается в этот период года за счет опавшей листвы и наледей. Вторым крайне неблагоприятным фактором являются повышенные значения сдвиговых напряжений, особенно в верхних слоях покрытия, на остановочных пунктах, возле перекрестков и любых сегментах покрытия, где происходит радикальное изменения направления и скорости движения транспортного потока [2].

Применение асфальтобетонов, соответствующих минимальным требованиям СТБ 1033 [3], не позволяет рассчитывать на отсутствие возникновения пластических деформаций в покрытии (колеи, волн и т. д.) из-за крайне низких показателей предела прочности при сжатии при 50 °С, силы внутреннего сцепления и угла внутреннего трения. Если последний показатель варьируется исключительно изменением гранулометрического состава минеральной части путем создания каркасной структуры, то первые два показателя полностью зависят от способности вяжущего сопротивляться сдвиговым усилиям.

Для улучшения сдвиговых показателей матрицы асфальтобетона (вяжущего) существуют два метода: сухая модификация и предварительная модификация битума полимерами. Применение модифицированного битума – повсеместная практика в большинстве стран мира. Производство модифицированного битума, как правило, осуществляется непосредственно на нефтеперерабатывающем

заводе с последующей поставкой готового материала на асфальтобетонный завод. Также возможен вариант, когда гомогенизатор находится непосредственно на асфальтобетонном заводе. Этот метод модификации битума не является оптимальным из-за необходимости в дорогостоящих и сложных установках, специально подготовленных работников. Поэтому в большинстве стран мира остается наиболее востребованным метод производства модифицированного битума непосредственно на нефтеперерабатывающем заводе.

Модифицированный большинством полимеров битум имеет весьма неприятную особенность – склонность к расслаиванию при продолжительном нагреве до рабочих и транспортных температур.

Разумеется, этот процесс необходимо постоянно контролировать. В заводских условиях стабильность модифицированного битума во времени определяют отбором проб из разных уровней хранилища с последующим определением таких показателей, как индекс пенетрации и температура размягчения по кольцу и шару. При использовании известных полимеров и рецептов, которые дают стабильное качество модифицированного битума, этот метод вполне применим. Но, когда производятся новые составы, возникает необходимость производства достаточно большой партии битума, что является материально и финансово затратной работой.

Поэтому первое, что предлагается при выпуске новых рецептов модифицированного битума и применении полимерных модификаторов, которые ранее не применялись с конкретным битумом, – определение сродства компонентов в соответствии с параметрами растворимости  $\delta$  по Гильдебранту или Хансену.

Если принимать во внимание, что в соответствии с [4] параметры растворимости большинства полимеров, активно применяемых при модификации битума, отличаются от типичных для битума, которые определяются исходя из значений наиболее активных частей его группового состава, т. е. асфальтеновой и мальтеновой фракций, то можно сделать вполне логичный вывод о том, что модификация битума на молекулярном уровне происходит только при смешении с СБС и СБР полимерами. Так, параметры растворимостей для наиболее популярных для модификации битумов полимеров, в соответствии с [4], варьируются:

- для СБС полимеров – от 8,1 до 8,67 (кал·см<sup>-3</sup>)<sup>1/2</sup>;
- СБР полимеров – от 8,4 до 8,9 (кал·см<sup>-3</sup>)<sup>1/2</sup>;
- для полиэтиленов (ПЭВД, ПЭНД) – 7,94 (кал·см<sup>-3</sup>)<sup>1/2</sup>;
- для бутилкаучука – от 7,70 до 8,05 (кал·см<sup>-3</sup>)<sup>1/2</sup>;
- для натурального каучука – от 7,90 до 8,35 (кал·см<sup>-3</sup>)<sup>1/2</sup>.

В соответствии с [5], параметры растворимости составных фракций битума варьируются от 8,5 до 16,1 (кал·см<sup>-3</sup>)<sup>1/2</sup>.

Можно предположить, что другие из рассмотренных полимеров под воздействием температуры и энергии смешения создают в вяжущем гифообразную структуру. Такая матрица под воздействием сдвигающих напряжений, которые возникают в асфальтобетонном покрытии при изменении скорости и направления движения транспорта, работает упруго, упруговязко или упруговязкопластично в зависимости от полимерного модификатора. При этом асфальтобетон в целом будет работать исключительно по упруговязкой или упруговязкопластичной модели.

Для снижения материалоемкости процесса контроля стабильности модифицированного битума предлагается новый метод, основанный на кватроциклическом процессе нагрева контрольного образца битума до технологической температуры 160 °С с последующим поверхностным зондированием в 49 точках. Испытания по этой методике позволяют наглядно обнаружить температурно-временную нестабильность битума по аномалиям значений индекса пенетрации на поверхности контрольных образцов. Благодаря чему можно с определенной степенью достоверности моделировать поведение модифицированного битума в процессе транспортирования, хранения и применения.

#### Список литературы

- 1 Веренько, В. А. Надежность дорожных одежд / В. А. Веренько. – Минск : БГПА, 2002. – 120 с.
- 2 Долговечные асфальтобетонные покрытия автомобильных дорог, мостов и улиц / В. А. Веренько [и др.]. – Минск : Арт Дизайн, 2015. – 296 с.
- 3 СТБ 1033-2016. Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Технические условия. – Введ. 2016-01-27. – Минск : Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2016. – 27 с.
- 4 Нестеров, А. Е. Свойства растворов и смесей полимеров. Т. 1 / А. Е. Нестеров. – Киев : Наукова думка, 1984. – 374 с.
- 5 Quantitative analysis of polymers and crumb rubber in hot-mix asphalts / M. Ling [et al.] // Transportation Research Record, TRB, National Research Council, Washington, D.C. – 1997. – Vol. 1586. – P. 57–67.

## СОДЕРЖАНИЕ

Приветствия участникам конференции .....	3
<b>1 ПОДВИЖНОЙ СОСТАВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА</b>	
<i>Ананьева О. С., Загорцев В. А., Подольская В. Н.</i> Основные направления применения активно-адаптивных сетей Smart Grid в системах тягового электроснабжения .....	5
<i>Афанаськов П. М., Дединкин А. П., Кебилов А. А., Щербатый К. С.</i> Движение температурных потоков воздуха в генераторе контейнерного типа .....	7
<i>Афанаськов П. М., Кебилов А. А.</i> Требования безопасности, устанавливаемые при подтверждении соответствия генераторов контейнерного типа .....	9
<i>Богданович П. Н., Сазонов Н. В.</i> Выбор материала для восстановления деталей рычажной тормозной системы железнодорожного подвижного состава .....	11
<i>Брильков Г. Е., Огородников Л. В., Михайловский А. М.</i> Анализ технического состояния рам тележек вагонов Минского метрополитена .....	13
<i>Бурченков В. В., Качкан Г. С.</i> Совершенствование системы передачи информации периферийных пунктов контроля подвижного состава .....	15
<i>Быковский Е. В.</i> Обоснование применения модульной тормозной системы .....	17
<i>Васильев С. М., Севрук А. А.</i> Анализ способов очистки деталей и узлов грузовых вагонов от коррозионных повреждений. Сравнение различных технологий .....	19
<i>Ворожун И. А., Ворожун А. В.</i> Крепление крупногабаритных грузов при транспортировке различными видами транспорта .....	23
<i>Галай Э. И., Рудов П. К., Галай Е. Э., Коновалов В. И.</i> Допускаемая длина поезда при ведении электровозом БКГ1 из условия обеспечения тормозной системы сжатым воздухом .....	25
<i>Гегедеш М. Г., Ворожун А. В.</i> Особенности перевозки длиномерных грузов на сцепе вагонов .....	27
<i>Дединкин А. П.</i> Взаимное влияние эксплуатационных факторов, определяющих расход энергоресурсов за поездку .....	29
<i>Демьянчук О. В.</i> Моделирование сдвига вагонов, размещенных на станционных путях .....	31
<i>Дорожук Д. В.</i> Перспективы развития диагностики состояния токоприемников .....	33
<i>Загорцев В. А., Чуешков Н. С.</i> Оценка эффективности применения рекуперативного торможения на железнодорожном транспорте .....	35
<i>Зайниддинов Н. С., Хамидов О. Р.</i> Оценка ресурса и стоимости жизненного цикла локомотива с учётом внесения конструктивных изменений при модернизации .....	37
<i>Зайчик В. С., Третьяк З. Ю.</i> Совершенствование подходов к оценке соответствия железнодорожной продукции .....	39
<i>Игин В. Н.</i> Эффективность локомотивов в условиях Восточного полигона .....	41
<i>Исаев А. В., Полякова А. С., Чёгина А. А., Тагиев П. М., Емельянов К. В.</i> Вопросы классификации и настройки приборов управления тормозами .....	43
<i>Каплюк И. И., Шимановский А. О.</i> Особенности компьютерного моделирования процессов, сопровождающих взаимодействие токосъемника с контактным проводом .....	45
<i>Комиссаров В. В.</i> Анализ моделей накопления повреждений материалов несущих конструкций железнодорожного подвижного состава .....	46
<i>Комиссаров В. В., Таранова Е. С., Габрусева В. В.</i> Аprobация методов ускоренного определения характеристик сопротивления усталости вагонных сталей .....	48
<i>Коновалов Е. Н., Комиссаров В. В., Пастухов М. И., Белогуб В. В., Афанаськов П. М.</i> Результаты определения остаточного ресурса несущей конструкции рамы тележек вагонов метрополитена модели 81-717.5 (81-714.5).....	50
<i>Коршунов С. Д., Смирнов А. А., Гончаров Д. И., Ромашов Д. И.</i> Анализ и оценка прочности вагонов электропоезда ЭГЭ2Тв «Иволга-4.0» при соударениях .....	52
<i>Коршунов С. Д., Смирнов А. А., Гончаров Д. И., Ромашов Д. И.</i> Отработка несущих элементов кузова двухэтажного вагона новой модификации при предварительных испытаниях на прочность .....	54
<i>Кулаженко Ю. И., Зайчик В. С., Роговенко М. А.</i> Практика применения требований технических регламентов при подтверждении соответствия продукции железнодорожного назначения .....	56
<i>Курилкин Д. Н.</i> Учет влияния переходных процессов в дизель-генераторной установке на тягово-энергетические свойства локомотивов при выполнении тяговых расчетов .....	59
<i>Максюткин П. А., Завьялова С. В.</i> Скоростной поезд «Ласточка» .....	61
<i>Нигматова Д. И., Ибадуллаев А. С., Мамаев Ш. И.</i> Исследование воздействия ингредиентов на процесс вулканизации эластомерных композиций.....	62

<i>Отока А. Г., Траяков Р. В., Холодиков О. В.</i> Определение зоны достаточной намагниченности при традиционном магнитопорошковом контроле цельнокатаного колеса с помощью электромагнита МЭД-120	64
<i>Петухов С. А., Курманова Л. С., Росляков А. Д., Карпенко М. Ю., Миронов Е. С.</i> Система подачи и смешения с воздухом аммиака в цилиндры тепловозных дизелей	67
<i>Пигунов А. В., Пигунов В. В., Калюко О. В., Нагибина А. В.</i> Напряженно-деформированное состояние крышки люка универсального полувагона	68
<i>Пигунов А. В., Пигунов В. В., Калюко О. В., Нагибина А. В.</i> Снижение металлоемкости рамы платформы	69
<i>Пигунов А. В., Пигунов В. В., Калюко О. В., Нагибина А. В.</i> Факторы, влияющие на износ колес грузовых вагонов	71
<i>Приходько А. П., Комиссаров В. В.</i> Применение систем компьютерной математики при автоматизации обработки результатов динамических испытаний	73
<i>Путько А. В., Коцур И. Л.</i> Оценка остаточных напряжений в колесе тепловоза ЧМЭЗ после тепловой посадки бандажа на колесный центр	75
<i>Разон В. Ф.</i> Методика оценки производственной мощности колесных цехов вагоноремонтных заводов	77
<i>Разон В. Ф.</i> Методика оценки производственной мощности колесно-роликовых участков вагонных депо Белорусской железной дороги	79
<i>Раловец С. А., Даниленко Д. В., Григорьев А. В.</i> Перспективы увеличения грузоподъемности вагонов-самосвалов	80
<i>Самодум Ю. Г., Каленко Е. Н.</i> Устройство обдува решетки воздухозаборника дизель-поезда ДП-1	82
<i>Самошкин С. Л., Хоменко А. А., Афанасьев А. Е.</i> Исследование прочности макетов шкворневого узла вагона-самосвала модели 31-675	84
<i>Сахаров П. А.</i> Исследование влияния профиля пути на продольные силы в поездах	86
<i>Скорород А. З., Жукалов В. И.</i> Повышение энергоэффективности пожарных центробежных насосов путем нанесения покрытий с низкой поверхностной энергией	88
<i>Сорокина Е. В., Кориунов С. Д.</i> Совершенствование металлоконструкции кузова вагона колеи 1435 мм с учетом воздействия внешних факторов	89
<i>Третьяк З. Ю., Зайчик В. С., Перекрестова Н. М., Альховская Е. М.</i> Обоснование требований безопасности инновационного железнодорожного подвижного состава при подтверждении соответствия	91
<i>Туракулов М. Р., Турсунов Н. К., Юнусов С. З.</i> Инновационный способ выплавки синтетического чугуна	94
<i>Туракулов М. Р., Турсунов Н. К., Юнусов С. З.</i> Фрикционный клин гасителя колебаний из синтетического чугуна	96
<i>Турсунов Н. К., Алимухамедов Ш. П.</i> Основные требования к стали особо ответственного назначения, используемой на железнодорожном транспорте	98
<i>Турсунов Н. К., Рахимов У. Т.</i> Исследование технологии производства высокопрочного чугуна для изготовления крышки цилиндра	100
<i>Турсунов Н. К., Турсунов Т. М., Уразбаев Т. Т.</i> Технология выплавки стали для тягового хомута автосцепного устройства	101
<i>Френкель С. Я., Дединкин А. П.</i> Анализ методов нормирования расхода дизельного топлива на тягу поездов	103
<i>Френкель С. Я., Дединкин А. П.</i> Совершенствование нормирования расхода дизельного топлива на тягу поездов	105
<i>Фролов В. А., Зайчик В. С., Комиссаров В. В.</i> Инфраструктура качества в техническом регулировании продукции и услуг железнодорожного транспорта	107
<i>Фурман В. В., Грачев В. В., Грищенко А. В., Базилевский Ф. Ю.</i> Оперативный контроль технического состояния цилиндро-поршневой группы тепловозного дизеля в эксплуатации	109
<i>Хамидов О. Р., Зайнидинов Н. С.</i> Оценка технического состояния асинхронных тяговых электродвигателей локомотивов с применением искусственного интеллекта	110
<i>Чернин Р. И., Дашук П. А., Авхачев А. В.</i> Работы по разработке раздвижной колёсной пары для трансколёсного движения грузовых и пассажирских вагонов	112
<i>Шатило С. Н.</i> Обеспечение пожарной безопасности при проектировании и постройке современных пассажирских вагонов	114
<i>Шрайбер М. А.</i> Моделирование распространения усталостных трещин в лобовых частях обмотки тягового электродвигателя тепловоза	116
<i>Юнусов С. З., Мамаев Ш. И., Авдеева А. Н., Турсунов Т. М.</i> Оптимизация геометрических размеров звеньев механизма поперечно-строгального станка	117
<i>Юнусов С. З., Махмудова Ш. А.</i> Цепная передача для цикловых технологических машин	119
<i>Юнусов С. З., Махмудова Ш. А., Кенжаев С. Н.</i> Влияния технологического сопротивления на динамику трехмассовой системы	120

## 2 УПРАВЛЕНИЕ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ

<i>Аксёничков А. А.</i> Влияния операций приема и сдачи вагонов, выполняемых на станции передачи вагонов, на срок доставки	123
--	-----

<i>Бакалов М. В.</i> Основы нового подхода к исследованию, разработке и внедрению систем управления припортовыми транспортно-технологическими системами .....	125
<i>Бакалова Ю. А.</i> Организация мультиагентного взаимодействия в припортовых транспортно-технологических системах .....	126
<i>Бородин А. Ф., Поречина И. А.</i> О перспективных вариантах освоения перевозок грузов Союзного государства.....	128
<i>Вдовенко В. В, Кузнецов В. Г.</i> Использование модели цифрового виртуального грузового поезда в решении эксплуатационных задач .....	130
<i>Дорошко С. В., Негрей В. Я.</i> Инновационная система организации вагонопотоков.....	133
<i>Зенкевич А. Г.</i> Значение безопасности движения и эксплуатации поездов на железнодорожном транспорте ...	135
<i>Карасевич С. Н., Ерхов В. В.</i> Обеспечение видимости сигналов переездной сигнализации.....	136
<i>Карасевич С. Н., Ерхов В. В.</i> Управление транспортным спросом на основе парковочной стратегии.....	138
<i>Катченко Н. М., Гегедеш М. Г., Петрачков С. А., Потылкин Е. Н.</i> Влияние деформируемости элементов крепления грузов на их динамическое поведение в процессе транспортировки железнодорожным транспортом.....	140
<i>Козлов В. Г.</i> Интеллектуальные цифровые решения в организации комиссионных месячных осмотров.....	142
<i>Козлов В. Г.</i> Применение машинного обучения для расчета энергозатрат на тягу поездов .....	143
<i>Кос О. И., Смирнов В. Ю.</i> Применение генетического алгоритма для управления эксплуатацией искусственных сооружений на железных дорогах.....	144
<i>Кузнецов В. Г., Литвинова И. М., Страдомский М. Ю., Килочицкая М. А.</i> Совершенствование законодательной базы железнодорожного транспорта в сфере безопасности и гармонизация со странами-партнерами.....	146
<i>Левин Д. Ю.</i> Повышение эффективности использования тяговых ресурсов.....	149
<i>Левин Д. Ю.</i> Цифровая железнодорожная станция .....	151
<i>Лябах Н. Н., Чеботарева Е. А.</i> Перспективные задачи интеллектуализации процессов управления припортовыми транспортно-технологическими системами.....	153
<i>Мейсак Е. А., Кузнецов В. Г.</i> Условия развития контейнерных перевозок продукции хозяйствующих субъектов Республики Беларусь .....	155
<i>Михайлюк Д. И.</i> Развитие технологий интеллектуального управления дорожным движением за счет увязки систем управления и мониторинга состояния искусственных сооружений автомобильных дорог.....	158
<i>Млявая О. В., Кузнецов В. Г.</i> Параметрическое представление рисков в процессах регулирования движением поездов.....	160
<i>Негрей В. Я., Пожидаев С. А.</i> Логико-вероятностные модели оценки систем безопасности транспортных систем.....	163
<i>Негрей В. Я., Пожидаев С. А.</i> Энергетическая эффективность систем организации движения грузовых поездов .....	165
<i>Пищик В. Г.</i> Перспективные направления совершенствования технологий терминальной обработки контейнеров в железнодорожной логистике.....	167
<i>Потылкин Е. Н.</i> Рационализация взаимодействия железнодорожных станций с путями необщего пользования .....	169
<i>Ревитва М. А.</i> Совершенствование технологии обработки данных мониторинга искусственных сооружений транспортной инфраструктуры за счет использования полносвязных и вероятностных нейронных сетей .....	170
<i>Семенюта Н. Ф.</i> Принимая решения – начинай с золотого сечения .....	172
<i>Сладкевич А. Н., Федоров Е. А., Шатров С. Л.</i> Оценка технико-экономической эффективности продления сроков службы грузовых вагонов государственного предприятия «БТЛЦ» .....	173
<i>Соколинская Т. В.</i> Цифровая трансформация: интеллектуальные транспортные системы.....	175
<i>Сугоровский А. В., Бессонова Н. В.</i> Применение инновационных технологий для мониторинга железнодорожной инфраструктуры .....	177
<i>Тимашков С. Н.</i> Эффективная технология работы пунктов погрузки-выгрузки подвижного состава на железнодорожных станциях при организации воинских перевозок .....	179
<i>Филатов Е. А.</i> Риски возникновения нарушений безопасности в горочных горловинах станций .....	181
<i>He Hong</i> Research on train marshaling and stopping optimization of intercity railway considering passenger travel cost and train operating cost.....	183
<i>Цвиль М. П.</i> Индустрия 4.0 и перевозка отходов .....	186
<i>Чеботарева Е. А., Богачев В. А.</i> Современные задачи оптимизации режимов управления грузо- и вагонопотоками на полигонах припортовых железных дорог .....	188
<i>Шевченко Д. Н., Юницкий А. Э.</i> Алгоритмы восстановления графика движения беспилотного подвижного состава .....	190
<i>Шепилова Е. Г., Браун Е. С.</i> Роль и место транспортного вуза в инновационном развитии отрасли в условиях ее цифровизации и интеллектуализации .....	192

<i>Шетилова Е. Г., Хусаинов В. Р.</i> Проблемы и перспективы развития искусственного интеллекта на железнодорожном транспорте России .....	193
<i>Юницкий А. Э., Гарах В. А., Литвинович Т. С., Шевченко Д. Н.</i> Концепция безопасности струнного транспортного комплекса .....	195

### **3 ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, АВТОМАТИКА, ТЕЛЕМЕХАНИКА И СВЯЗЬ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ**

<i>Бочков К. А., Харлап С. Н.</i> Проблемы оценки показателей функциональной безопасности систем технического зрения .....	198
<i>Бочков К. А., Жигалин И. О., Комнатный Д. В.,</i> Методы анализа воздействия наносекундных импульсов помех преднамеренного воздействия на микроэлектронные системы железнодорожной автоматики и телемеханики .....	200
<i>Громыко И. Л., Мирош Д. В., Шабловский К. Я., Монархович И. Е.</i> Диагностика трансформаторов с помощью нейронных сетей .....	203
<i>Дязитдинов Р. Р., Васин Н. Н.</i> Сжатие видеоинформации в системе измерения скорости протяжённых объектов .....	206
<i>Ефанов Д. В.</i> Самодвойственные структуры с коррекцией ошибок в вычислениях на основе логического дополнения для микропроцессорных систем управления .....	207
<i>Ефанов Д. В., Михайлюта Е. М.</i> Технологии увязки систем мониторинга искусственных сооружений железных дорог с системами управления движением поездов .....	210
<i>Ефанов Д. В., Погодина Т. С.</i> Методика синтеза самопроверяемых комбинационных устройств с контролем вычислений по кодам Хэмминга с самодвойственными функциями, описывающими проверочные символы .....	212
<i>Каменский В. В., Соколов С. В.</i> Особенности предварительной обработки информации о сложных объектах контроля железнодорожной инфраструктуры .....	213
<i>Каспаров И. В.</i> Новые требования к системам управления на железнодорожном транспорте .....	215
<i>Ключник Д. В., Матусевич В. О., Киселева С. В.</i> Повышение функциональных возможностей сети связи дистанции сигнализации и связи .....	217
<i>Комнатный Д. В.</i> Метод косвенной оценки устойчивости микроэлектронных и микропроцессорных систем к электромагнитным импульсам преднамеренного воздействия .....	220
<i>Комнатный Д. В.</i> Расчет полосковых печатных плат методом граничных элементов .....	222
<i>Медведев Д. Д.</i> Перспективные методы обнаружения сигналов контроля состояний рельсовой линии .....	224
<i>Медведев Д. Д., Хоменко С. И.</i> Определение длины смежных и соседних рельсовых линий для решения задач расчета бесстыковых рельсовых цепей .....	226
<i>Мирош Д. В., Монархович И. Е.</i> 3D-моделирование при исследовании асинхронных машин .....	228
<i>Надежкина С. А., Душейко С. В.</i> Роль инфотелекоммуникационных технологий в развитии железнодорожного транспорта .....	230
<i>Ольгейзер И. А., Корниенко К. И.</i> Системы автоматизации закрепления подвижного состава .....	232
<i>Харлап С. Н., Катков В. Л., Литвинов Е. П.</i> Обзор существующих средств автоматизации ФМЕСА-анализа..	234
<i>Шаманов В. И., Денежкин Д. В.</i> Оценка корректности методики расчётов уровня гармонических помех от тягового тока .....	236
<i>Швалов Д. В., Плечистова Е. Р., Мамонтова А. Д.</i> Моделирование влияния дестабилизирующих факторов на значение коэффициента шунтовой чувствительности рельсовой цепи .....	238
<i>Швалов Д. В., Полукошко В. В.</i> Проблемы выявления неисправностей электромагнитных реле железнодорожной автоматики .....	240

### **4 ПРИКЛАДНАЯ ЭКОЛОГИЯ, РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ НА ТРАНСПОРТЕ**

<i>Ахраменко Г. В., Ахраменко П. Г.</i> Экологическая безопасность при строительстве и эксплуатации автомобильных дорог .....	243
<i>Горелая О. Н.</i> Оценка воздействия расчетных допустимых концентраций загрязняющих веществ в составе сточных вод предприятия на водный объект. ....	245
<i>Евдасев И. С.</i> Искусственное освещение транспортных объектов с ориентацией на человека .....	246
<i>Ковалевский А. В.</i> Модернизация трамвайных вагонов и переоборудование в вагоны специального назначения .....	248
<i>Короб Н. Г., Комаров М. А., Поспелов А. В.</i> Об экологической оценке альтернативных вариантов дезинфекции сооружений и объектов .....	250
<i>Кудина Е. Ф., Ефимчик К. В.</i> Экологическая безопасность при изготовлении и рециклинге полимерных композиционных материалов .....	251

<i>Кудина Е. Ф., Курицын П. А., Приходько И. В., Гончаров Г. Р., Онгарбеков А. К.</i> Влияние функционализирующего компонента на эксплуатационные свойства реактопластов.....	253
<i>Кудина Е. Ф., Приходько И. В., Курицын П. А., Гончаров Г. Р., Смолякова И. П., Риттер Е. В.</i> Изоляционный композиционный материал на основе термореактивной матрицы .....	255
<i>Ляхов С. В., Гончаров И. П.</i> Методология потребительских рейтингов оценки выбросов парниковых газов от электромобилей .....	257
<i>Мягков Д. Ю., Могильянец Р. И.</i> Источники загрязнения окружающей природной среды аэродромного комплекса .....	259
<i>Подобед Д. Л.</i> Исследование влияния атмосферных факторов на свойства смесей вторичных полиолефинов и модифицированного бентонита. ....	261
<i>Поспелов А. В., Комаров М. А., Красковский С. В.</i> Экономическая оценка альтернативных вариантов дезинфекции сооружений водоснабжения. ....	262
<i>Ратникова А. М.</i> Вопросы нормирования водопользования на предприятиях Республики Беларусь.....	264
<i>Саховский К. А.</i> Механические свойства а-С покрытий, осажденных из сепарированных потоков углеродной плазмы. ....	266
<i>Урицкая А. В., Новикова О. К.</i> Сравнительная оценка вакуумной и гравитационной систем канализации....	268

## **5 ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА И ЛОГИСТИКА В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВИЗАЦИИ**

<i>Аверин И. С.</i> Методика оценки экономических затрат по доставке горючего различными видами транспорта .....	270
<i>Антоненко А. С., Петров-Рудаковский А. П.</i> Совершенствование таможенного декларирования в Евразийском экономическом союзе в условиях цифровой трансформации.....	272
<i>Артемиш П. С.</i> Программные решения автоматизации транспортных организаций .....	274
<i>Бояркина В. А., Дорошев А. М.</i> Использование новых программных средств для реализации методологии канбан на предприятиях промышленности и транспорта.....	276
<i>Быченко О. Г., Быченко О. В.</i> Инфраструктурная безопасность: сущность и проблематика .....	277
<i>Галкина И. В.</i> Перспективные направления развития логистической системы Республики Беларусь .....	279
<i>Гизатуллина В. Г.</i> Актуальность калькуляционных расчетов в современных условиях развития экономики железной дороги .....	281
<i>Еловой И. А., Сладкевич А. Н.</i> Формирование и развитие терминалов железнодорожного транспорта общего пользования в условиях рынка транспортных услуг .....	283
<i>Ефремова Е. Н., Гуриченко А. О.</i> Влияние цифровой экономики на развитие транспорта.....	285
<i>Жигалов В. Л., Осипенко Л. В.</i> Подходы к формированию железнодорожных тарифов в условиях изменения структуры грузопотоков .....	286
<i>Жудро М. К., Жудро В. М.</i> Дизайн мехатроники имплементирует развитие автотранспортного SMART-бизнеса.....	288
<i>Захожая А. М., Петров-Рудаковский А. П.</i> Перспективы развития удаленного выпуска и контроля таможенной стоимости и товаров в Республике Беларусь .....	290
<i>Кекиш Н. А.</i> Проблемные вопросы тарифообразования при перевозках грузов в специализированных контейнерах .....	292
<i>Колесников А. А., Коледа А. П.</i> Санкции в отношении экономики Республики Беларусь и пути их преодоления .....	294
<i>Коришева О. В., Капошенкова Е. В., Калофанов Г. И.</i> Анализ влияния логистических возможностей при реализации экспорта на экономическую безопасность Республики Беларусь .....	296
<i>Кравченко А. В.</i> Справедливая стоимость активов и обязательств в бухгалтерском учете организаций транспорта.....	298
<i>Куренков П. В., Солоп И. А., Чеботарева Е. А.</i> Логистика культуры безопасности в хозяйстве эксплуатации на железнодорожном транспорте .....	300
<i>Курьян Е. В.</i> Общие методические подходы контроллинга в системе управления затратами .....	305
<i>Липатова О. В.</i> Объективные предпосылки внедрения процессно-ориентированного управления на железнодорожном транспорте .....	307
<i>Липатова О. В., Чуясова Т. А.</i> Процессный подход в управлении материально-техническим снабжением на этапе планирования .....	308
<i>Мельник Т. С., Мельник А. В.</i> Возможности и преимущества использования AGILE-маркетинга на железнодорожном транспорте .....	310
<i>Мельник Т. С., Христофор О. В.</i> Бизнес-драйверы системы управления запасами товарно-материальных ценностей на железнодорожном транспорте .....	312
<i>Митренкова А. В.</i> Общее описание системы снабжения как замкнутой системы управления с обратной связью .....	314
<i>Пильгун Т. В.</i> Значение транспортного экспедитора в условиях цифровизации .....	315



<i>Пищик В. Г.</i> Перспективные направления совершенствования технологий терминальной обработки контейнеров в железнодорожной логистике.....	317
<i>Полунина А. О.</i> Общие принципы организации работы персонала транспортного предприятия станции «З»...	319
<i>Пономаренко П. Г.</i> Лизинг как финансовый инструмент обеспечения инновационного развития транспорта .....	323
<i>Потёмкина Т. Г.</i> Системный, инструментальный и процессный подходы к определению понятия «цепь поставок» предприятий строительного комплекса .....	325
<i>Приставко С. В., Малиновский Е. В.</i> Требования к единым технологическим процессам работы железнодорожных станций с путями необщего пользования .....	326
<i>Соколов Ю. И., Лавров И. М.</i> Система экономических параметров оценки качества транспортных процессов в грузовом движении .....	328
<i>Соколов Ю. И., Межох З. П., Коришева О. В.</i> К вопросу об экономической безопасности транспортного комплекса в аспекте инвестиций в развитие транспортной инфраструктуры .....	330
<i>Солоп И. А., Маколова Л. В.</i> К вопросу управления рисками на основе применения механизма логистического цифровизационного инструментария.....	332
<i>Солоп И. А., Чеботарева Е. А., Меркулов И. В.</i> Анализ экономических и технологических преимуществ при внедрении концепции «Цифровая железнодорожная станция» .....	334
<i>Стефанович Н. В.</i> Оценка временных издержек при сборных автомобильных грузоперевозках из Республики Беларусь в страны ЕС .....	336
<i>Титова К. О., Петров-Рудаковский А. П.</i> Оценка международного опыта взаимодействия таможенных органов и участников внешнеэкономической деятельности .....	338
<i>Фроленкова Е. О., Желудкович Т. И.</i> Организационно-методические основы учетно-аналитического обеспечения управления бизнес-процессами на железнодорожном транспорте.....	340
<i>Халимончиков Д. А., Петров-Рудаковский А. П.</i> Повышение конкурентоспособности как основа обеспечения внешнеэкономической безопасности государства .....	342
<i>Хорошевич А. А.</i> Уровень цифрового развития транспортных организаций страны .....	344
<i>Чжао С.</i> Умная логистика: цифровое и интеллектуальное управление логистикой меняет традиционную модель логистической деятельности .....	346
<i>Чижонок В. Д.</i> Техничко-технологические аспекты развития контейнерной транспортной системы Республики Беларусь .....	348
<i>Шатров С. Л., Даниленко А. В., Федива Н. С.</i> Бухгалтерский учет в системе экономической безопасности ...	350
<i>Шиболович В. В.</i> Мировые и отечественные тренды в управлении документами в условиях цифровизации .	351
<i>Шестак О. Н., Прохоров В. А.</i> Беспилотные транспортные средства и их экономический потенциал.....	353
<i>Шестак О. Н., Райко А. В., Шугов Д. Г., Юзенков А. С.</i> Особенности применения инспекционно-досмотрового комплекса на железнодорожном транспорте .....	356
<i>Шорец Т. В.</i> Применение цифровых технологий в воспитательном процессе высших учебных заведений...	358

## **6 ПРОЕКТИРОВАНИЕ, СТРОИТЕЛЬСТВО И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ОБЪЕКТОВ**

<i>Афанасенко А. А.</i> Перспективы применения тонкослойных асфальтобетонных покрытий в условиях Республики Беларусь.....	360
<i>Ахраменко Г. В., Емельяненко А. В., Невердасов А. С.</i> Анализ способов повышения долговечности асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог .....	362
<i>Бабайцев А. В., Мисбахова А. И.</i> Численные и аналитические методы оценки физико-механических характеристик пористых композиционных материалов.....	365
<i>Байц О. Н., Чудинов С. А.</i> Методы учета интенсивности дорожного движения .....	367
<i>Балбуцкий И. Г.</i> Использование принципов концепции Vision Zero при модернизации городской улицы .....	368
<i>Бандюк Н. В.</i> Повышение надежности нежестких дорожных одежд .....	370
<i>Беспалова М. В., Индрилюнас А. Б.</i> Оценка влияния корневой системы деревьев на дорожное покрытие тротуаров.....	372
<i>Бочкарев Д. И., Губенский Н. Ю.</i> Интеллектуальная система диагностики верхнего строения железнодорожного пути и искусственных сооружений с применением метода распределенного акустического зондирования.....	374
<i>Бочкарев А. В., Медведев Д. В., Горский М. Ю.</i> Анализ эффективности применения геосинтетических материалов в конструкциях дорожных одежд .....	376
<i>Бочкарев Д. И., Петрусевич В. В.</i> Разработка принципов системы организации профилактической обработки асфальтобетонных покрытий .....	377
<i>Довгелюк Н. В., Масловская Е. М., Шагулин В. С.</i> Реконструктивные мероприятия повышения провозной способности участка Лунинец – Ситница Белорусской железной дороги.....	379
<i>Довгелюк Н. В., Поплавская Н. В., Барболкин П. Н.</i> Исследование межпоездных интервалов движения поездов.....	381

<i>Дробов С. Г., Шамова М. А.</i> Влияние подземного горизонтального направленного бурения на окружающую среду .....	383
<i>Жарин Н. С., Царенкова И. М., Томчук И. А., Березкин Е. Д.</i> Анализ методов производства работ при регенерации дорожной одежды .....	385
<i>Жуковский Е. М.</i> Развитие методов проектирования нежестких дорожных одежд .....	387
<i>Корончик А. В., Жуковский Е. М.</i> Современные материалы для обеспечения конструктивно-технологической безопасности автомобильных дорог и улиц населенных пунктов .....	389
<i>Ладейщиков К. В., Чудинов С. А.</i> Применение программных комплексов при проектировании зимних лесовозных дорог с длительным сроком эксплуатации .....	391
<i>Лапушкин А. С.</i> Исследование геометрии пружинных прутковых клемм промежуточного рельсового скрепления СБ-3 с целью оптимизации их конструкции .....	393
<i>Малащенко К. С., Довгелюк Н. В., Мартынов И. В.</i> Обеспечение безопасности и бесперебойности движения поездов в Минском метрополитене .....	394
<i>Мамсиков Н. В., Кравченко Н. Н., Никитин Е. В., Дубровская Т. А., Ковтун П. В.</i> Развитие системы ведения путевого хозяйства Белорусской железной дороги .....	396
<i>Минаев С. В., Мягков Д. Ю.</i> Мониторинг искусственных покрытий летного поля аэродромов государственной авиации .....	398
<i>Муслимович В. А., Осипова О. В., Кравченко Н. Н.</i> Алгоритм расчета контингента монтеров для содержания путевых объектов железнодорожной инфраструктуры .....	400
<i>Невейков А. Н., Лукасевич А. В.</i> Проблемы проектирования железнодорожной насыпи минимального очертания из условия устойчивости ее откосов .....	402
<i>Никитин Е. В., Ковтун П. В.</i> Увеличение скоростей движения поездов на полигоне Белорусской железной дороги .....	404
<i>Осипова О. В., Дубровская Т. А., Биндюк С. А., Прокопенко А. Р.</i> Особенности содержания путей необщего пользования при контейнерных перевозках .....	405
<i>Остриков О. М., Рюмцев А. А., Остриков В. О.</i> Замковое быстроразъемное соединение модульного беспилотного летательного аппарата .....	407
<i>Петрусевич В. В.</i> Анализ альтернативных технологических процессов профилактической обработки асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог .....	409
<i>Романенко В. В.</i> Ресурсный подход к анализу содержания стрелочных переводов .....	411
<i>Романенко В. В., Голик А. А., Балобан С. О., Коленчиков Н. С.</i> Имитационное моделирование как средство описания технологического процесса .....	413
<i>Романенко В. В., Капитонец А. Б., Макаревич В. Д.</i> Вопросы оценки состояния криволинейных участков .....	415
<i>Романенко В. В., Ковтун П. В., Власенко А. О.</i> Оценка проектных решений по изготовлению составных деревянных шпал .....	417
<i>Рыжов К. А.</i> Устройство двухслойного цементобетонного покрытия из бетонов разных марок при капитальном ремонте дороги общего пользования .....	419
<i>Телегина Ю. П.</i> Применение современных технологий при проектировании железных дорог .....	421
<i>Халуца И. И., Кожедуб С. С., Инютин В. И.</i> Контроль за угоном рельсовых плетей .....	422
<i>Халуца И. И., Кожедуб С. С., Инютин В. И.</i> Применение подшпальных прокладок в рельсовых стыках .....	424
<i>Царенкова И. М., Пришельцева К. С., Царенков А. А., Томчук И. А.</i> Предпосылки системной интеграции автомобильного транспорта и дорожного хозяйства в условиях цифровой экономики .....	426
<i>Чудинов С. А., Ладейщиков К. В.</i> Особенности строительства лесовозных дорог из цементогрунтов .....	428
<i>Шабан Д. С., Никитенко М. Ю.</i> Особенности взаимодействия элементов системы колесо – рельс в криволинейных участках пути .....	430
<i>Шамова М. А., Дробов С. Г.</i> Возведение подземных сооружений методом опускного колодца .....	432
<i>Шебзухов Ю. А., Мойсеенко С. А.</i> Прогнозирование потребности в машинах по ремонту и содержанию автомобильных дорог на годовой период .....	434
<i>Юницкий А. Э., Гаранин В. Н.</i> Результаты испытаний внедрения зёрен карборунда в материал, используемый в металлических конструкциях путевых структур uST .....	436
<i>Юницкий А. Э., Солодкин А. Н.</i> Эффективные фундаменты промежуточных опор транспортной эстакады uST ..	
<i>Ясько Д. В., Царенкова И. М.</i> Методический подход к оценке потенциала автодорожной инфраструктуры в транспортно-логистической системе .....	439
<i>Яцевич П. П.</i> Метод определения температурно-временной нестабильности модифицированного битума и способы предупреждения негативных факторов с учётом параметров растворимости .....	441

Научно-практическое издание

ИННОВАЦИОННОЕ РАЗВИТИЕ  
ТРАНСПОРТНОГО И СТРОИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСОВ

Материалы Международной научно-практической конференции,  
посвященной 70-летию БелИИЖТа – БелГУТа  
(Гомель, 16–17 ноября 2023 г.)

Часть 1

Издается в авторской редакции

Технический редактор *В. Н. Кучерова*  
Корректоры: *Т. М. Маруняк, А. А. Павлюченкова, Т. Л. Федькова*  
Компьютерная верстка – *Е. И. Кудрявская, С. В. Ужанкова*

Подписано в печать 30.10.2023 г. Формат 60x84 1/8.  
Бумага офсетная. Гарнитура Times New Roman. Печать на ризографе.  
Усл. печ. л. 52,55. Уч.-изд. л. 49,09. Тираж 50 экз.  
Зак. №. 2153. Изд. № 50.

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 978-985-891-127-0

