

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

# ПРОБЛЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ НА ТРАНСПОРТЕ

МАТЕРИАЛЫ  
XII МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ,  
ПОСВЯЩЕННОЙ 160-ЛЕТИЮ БЕЛОРУССКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ  
(Гомель, 24–25 ноября 2022 г.)

Часть 1

Под общей редакцией *Ю. И. КУЛАЖЕНКО*

Гомель 2022

УДК 656.08  
ББК 39.18  
П78

Редакционная коллегия:

**Ю. И. Кулаженко** (отв. редактор), **Ю. Г. Самодум** (зам. отв. редактора),  
**А. А. Ерофеев** (зам. отв. редактора), **Т. М. Маруняк** (отв. секретарь),  
**К. А. Бочков, Т. А. Власюк, И. А. Еловой, П. В. Ковтун, Д. В. Леоненко,**  
**В. Я. Негрей, В. М. Овчинников, А. А. Поддубный, А. В. Пигунов, А. О. Шимановский**

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор **В. В. Кобищанов**  
(Брянский государственный технический университет);  
доктор технических наук, профессор **Ю. О. Пазойский**  
(Московский государственный университет путей сообщения)

**Проблемы безопасности на транспорте** : материалы XII Междунар.  
П78 науч.-практ. конф., посвящ. 160-летию Бел. ж. д. (Гомель, 24–25 ноября  
2022 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, 2022. – 433 с.  
ISBN 978-985-891-070-9 (ч. 1)

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

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

**УДК 656.08**  
**ББК 39.18**

ISBN 978-985-891-070-9 (ч. 1)  
ISBN 978-985-891-069-3

© Оформление. БелГУТ, 2022

## **УВАЖАЕМЫЕ УЧАСТНИКИ КОНФЕРЕНЦИИ!**

*Приветствую вас на XII Международной научно-практической конференции «Проблемы безопасности на транспорте».*

*Безопасность транспортной деятельности неразрывно связана как с жизнью каждого человека, так и с деятельностью каждой организации.*

*Транспортная система Республики Беларусь является не только эффективной и технологичной, но и одной из самых безопасных в мире. За последнее время количество происшествий на объектах транспорта, повлекших причинение вреда жизни и здоровью человека, неуклонно сокращается.*

*В этом есть безусловная заслуга и участников данной конференции, которая проводится на базе Белорусского государственного университета транспорта уже на протяжении многих лет.*

*Стремительно меняющаяся международная обстановка порождает появление новых вызовов и угроз, на которые транспортная система должна реагировать. Наряду с традиционной повесткой конференции, связанной с вопросами надежности и безопасности транспортной системы, подвижного состава и объектов инфраструктуры, все большее внимание уделяется вопросам обеспечения экономической безопасности, защиты от киберугроз.*

*Совокупность исследований, выполненных научным сообществом в тесном взаимодействии со специалистами транспортного комплекса, позволяет переходить от решения отдельных локальных задач к формированию новых инициатив. Подтверждением тому является проведение по инициативе министерства ряда диалоговых площадок по актуальным вопросам совершенствования транспортного законодательства.*

*Желаю участникам конференции конструктивного диалога и совместной плодотворной работы, направленной на принятие конкретных решений по дальнейшему повышению безопасности на транспорте.*

**А. Н. АВРАМЕНКО,**  
**Министр транспорта и коммуникаций**  
**Республики Беларусь**

## **УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ, ДОРОГИЕ ГОСТИ!**

*Проходящая сегодня в Белорусском государственном университете транспорта XII Международная научно-практическая конференция «Проблемы безопасности на транспорте» носит символический характер, поскольку приурочена к 160-летию Белорусской железной дороги, а также имеет важное прикладное значение.*

*Современные интеграционные процессы на евразийском и постсоветском пространстве, в том числе в рамках Союзного государства и ЕАЭС, усиливают значимость транспортного потенциала страны. В складывающихся условиях обеспечение безопасности, недопущение нанесения вреда транспортной инфраструктуре являются первостепенными задачами государства. Более того, вопросы безопасного и эффективного функционирования транспортных систем и инфраструктуры государства, его информационная и функциональная защищенность приобретают исключительное значение.*

*В ходе разработки новой редакции Концепции национальной безопасности этим вопросам уделено особое внимание. Надежное и устойчивое функционирование национальных систем и инфраструктур, в том числе и транспортной, отнесено к основным национальным интересам Республики Беларусь, а нарушение безопасности их функционирования – к основным угрозам.*

*Актуальность и значимость мероприятия для профильных специалистов и ученых в различных сферах обусловлена трансформацией всего спектра рисков, вызовов и угроз национальной безопасности Беларуси и необходимостью постоянного совершенствования подходов по вопросам обеспечения безопасности транспортной инфраструктуры страны. В данном контексте видится актуальной и своевременной необходимостью разработки Закона Республики Беларусь «О транспортной безопасности».*

*Цель сегодняшнего мероприятия – детально обсудить с привлечением авторитетных ученых, экспертов и практиков наиболее важные организационно-правовые и научно-прикладные вопросы обеспечения безопасности критически важных систем и инфраструктур, выработать научно обоснованные рекомендации по совершенствованию механизмов их защиты.*

*Уверен, что конференция пройдет в деловой, творческой и конструктивной атмосфере, направленной на поиск новых решений.*

*Желаю участникам форума активной и плодотворной работы, а также конкретных практических результатов!*

**П. Н. МУРАВЕЙКО,**  
*первый заместитель Государственного секретаря  
Совета Безопасности Республики Беларусь,  
кандидат военных наук, генерал-майор*

## **УВАЖАЕМЫЕ УЧАСТНИКИ КОНФЕРЕНЦИИ!**

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

*Конференция проводится в период 160-летия Белорусской железной дороги и посвящена этому знаменательному для нашего университета событию.*

*Белорусская железная дорога являлась одним из инициаторов проведения в университете ежегодной конференции «Проблемы безопасности на транспорте» и продолжает оказывать всемерную поддержку университету в её организации и проведении. Такое сотрудничество, активный диалог между наукой и производством по проблемам безопасности позволяет сформулировать новые подходы и найти эффективные решения актуальных задач безопасности транспортного комплекса.*

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

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

*В очной и дистанционной формах работы 10 секций конференции принимает участие около 500 докладчиков. Проведение конференции мы рассматриваем как возможность ознакомить участников с творческими достижениями специалистов и ученых вузов и научно-исследовательских институтов, установить новые контакты, оказать помощь транспортным и другим организациям в решении различных научно-технических задач.*

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

**Ю. И. КУЛАЖЕНКО,**

*председатель организационного комитета конференции,*

*ректор Белорусского государственного университета транспорта,*

*доктор физико-математических наук*

# 1 БЕЗОПАСНОСТЬ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

---

УДК 004.93

## ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕЙ В СИСТЕМАХ БЕЗОПАСНОСТИ

*В. В. АВСИЕВИЧ, И. К. КОЛЯГИН, С. В. ЯРЫГИН*

*Самарский государственный университет путей сообщения, Российская Федерация*

В современном мире, когда количество запрещённых предметов растёт, сложно уследить за каждым. Основной проблемой безопасности является контрабанда, или перевоз запрещённых предметов, таких как огнестрельное оружие или наркотические вещества. Именно поэтому службы безопасности повышают навыки своих сотрудников, также вкладываются в усовершенствование технологии по обнаружению запрещённых веществ, таких как видеокамеры и рентгенотелевизионные установки (интроскопы). Но насколько бы ни был сотрудник высококвалифицированным специалистом, всегда будет присутствовать человеческий фактор, именно поэтому предлагается внедрить систему распознавания в интроскопы.

В настоящее время интроскопы могут производить сканирование сразу с двух направлений и получать два снимка багажа [1]. Также современные интроскопы имеют возможность с помощью встроенного программного обеспечения разделять предметы по их составу (например, органического или неорганического происхождения) и подсвечивать их разными цветами и оттенками, что облегчает работу досмотровой бригады, специалист досмотровой бригады изучает изображение и принимает решение об отсутствии или присутствии запрещённого предмета. При таком подходе всегда имеется «человеческий фактор» – возможность допущения ошибки.

По описанной выше причине в данной работе рассматривается возможность внедрения в интроскоп программного обеспечения с искусственным интеллектом на базе нейросетей. Для решения поставленной задачи необходимо решить ряд проблем связанных с применением нейросетевого анализа, одна из трудностей применения нейросетей – в больших библиотеках исходных предметов в разных ракурсах для сравнения с полученным изображением с интроскопа, что требует большого количества физической памяти и длительного времени обработки. Также распознавание затруднено наличием в багаже множества предметов со взаимным перекрытием.

Исходя из этих предпосылок в данной работе предлагается для уменьшения количества хранимой информации хранить её в базах данных в виде 3D-моделей опасных предметов и при последующей обработке из 3D-моделей получать 2D-проекции для сравнения со снимками с интроскопа.

Разрабатываемое программное обеспечение решает ряд серьёзных проблем:

- скорость проверки предметов в единицу времени, что повысит пропускную способность на пунктах контроля;
- значительное повышение мер безопасности благодаря системе распознавания, использующей нейронную сеть и применяющей определённый алгоритм распознавания;
- гибкость работы: данную нейронную сеть легко обучить благодаря особенностям приложения, таким как скрипты и методы хранения информации.

Для решения проблемы обнаружения запрещённых предметов предлагается приложение MRP (*MetafrastisProsdioristis*). Это приложение использует обученную нейронную сеть для распознавания объектов в реальном времени. Данная сеть выводит имя (тег) объекта, степень уверенности и сам объект, у которого степень совпадения наивысшая. Также в функционале программы предоставляется утилита, позволяющая автоматически добавлять объект в большую базу данных, тем самым переобучение сети не требует много ресурсов и сил, что делает крайне удобной систему распознавания объектов.

Главное отличие от других систем распознавания в методе хранения данных и установления иерархии объектов в обычном виде. Так как рентген-аппарат расслаивает объект на материальные составляющие, что позволяет использовать различные фильтры по материалу, при этом сужая круг объектов в несколько раз, дальше осуществляется поиск по контуру объекта и выводится наиболее вероятный объект вместе с меткой. Если метка совпадает с метками из списка запрещённых, выдет оповещение о нахождении потенциально опасного объекта, чтобы оператор перепроверил выданный результат.

Для распознавания необходимого объекта используются трехмерные объекты, которые благодаря алгоритму ищет область наивысшего схождения с текущим объектом. Собираются максимальные значения со схожего объекта, если необходимые условия соблюдаются, то выводится информация об объекте: тип, запрещён или нет, вероятность совпадения. Предусмотрена возможность проверки оператора в ручном режиме схожести объекта. При этом сам алгоритм нахождения точек совпадения не требует больших вычислительных мощностей. Выбирается вектор направления с начальным положением 0 по X, Y, Z от центральной точки, которая задается при создании объекта, выставляется вероятность. Если направление не повысило, а понизило или сохранило вероятность, то берётся другой вектор (и так, пока не повысится вероятность). В случае, когда движения не повышают её, значение становится максимальным, выбирается вторая точка и алгоритм повторяется. Сам процесс может быть распараллелен, что повышает скорость выполнения операций прямо пропорционально количеству запущенных операций.

Как пример можно рассмотреть обнаружение сумки. Делается фотография с двух ракурсов: вид сверху и сбоку (лево или право), это необходимо, чтобы программа имела больше информации об объектах. Как следствие, повышается вероятность распознавания объекта системой и сокращается число ложных срабатываний. При большом количестве снимков увеличивается время обработки и тем самым замедляется процесс обработки распознавания объекта. На первом шаге выбираются точки максимума, и изображение передаётся в нейронную сеть. Само изображение выбирается из положения при максимальной вероятности схождения. После этого выдаются решение и информация об объекте.

Сами объекты хранятся в виде отдельных трёхмерных объектов, представленных папками, образующими сложную иерархию, которая связана определенными метками, такими как материал, тип, бинарный классификатор (запрещен или нет). Данная структура позволяет программе быстрее подбирать объект, тем самым уменьшая время работы программы. Дополнительные метки представлены отдельным файлом, в котором расписаны подробные метки, такие как возможные вариации, альтернативные названия и т. п.

Для того чтобы добавить нужный объект в базу данных, предложено разработать приложение, которое автоматизирует создание меток и ключевых слов, что делает систему более гибкой. Данный подход позволит без лишних трудностей добавлять в базу данных необходимые объекты, при этом удалять или же изменять объекты необходимо через основное приложение, из-за сложных зависимостей, что может привести к ошибке, связанной с попыткой обратиться к несуществующему признаку. В случае выявления таких ошибок программа просто пропустит данный признак и, соответственно, не проанализирует ряд объектов. Чтобы этого не произошло, предлагается ввести систему ограничения связей. В случае когда выдаётся подобная ошибка, ищутся подобные связи и разделяются от ложной метки, тем самым не теряются объекты, которые имели схожую связь с вызываемым признаком.

*Данная работа выполняется в рамках НИР «Разработка технологии обработки искусственным интеллектом теневых изображений, полученных с рентгенотелевизионной установки, с целью выявления предметов и веществ, запрещённых к проносу (провозу) на объект транспортной инфраструктуры» РОСЖЕЛДОР №122022200429-8.*

#### Список литературы

1 **Муслимов, Д. А.** Двухдетекторный рентгеновский интроскоп / Д. А. Муслимов, А. С. Лелюхин // Специальная техника. – 2017. – № 2. – С. 21–25.

УДК 656.13

## **РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО СНИЖЕНИЮ КОЛИЧЕСТВА И ТЯЖЕСТИ ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНЫХ ПРОИСШЕСТВИЙ С УЧАСТИЕМ ПЕШЕХОДОВ В г. ГОМЕЛЕ**

*С. А. АЗЕМША, О. Н. ШУСТ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Самыми уязвимым и незащищенными участниками дорожного движения являются пешеходы. По данным Госавтоинспекции, количество аварий с участием пешеходов в Республике Беларусь за 2020 год насчитывает 1246 случаев (35,1 % от общего числа ДТП), в которых 235 человек погибли и 1065 получили ранения. Места, в которых наиболее часто случаются наезды на пешеходов:

- регулируемые и нерегулируемые пешеходные переходы и перекрестки;
- остановки общественного транспорта;
- мосты, эстакады, путепроводы;
- другие места, не предназначенные для пешеходного перехода.

Согласно стратегии обеспечения безопасности дорожного движения в Республике Беларусь «Добрая дорога», утвержденной на 2018–2025 годы, устранение факторов, влияющих на дорожно-транспортные происшествия (ДТП), должно снизить количество погибших в ДТП до 350 человек (не более) к 2025 году.

На рисунке 1 приведена динамика изменения числа погибших в ДТП на территории Республики Беларусь, а также прогнозная регрессионная модель.

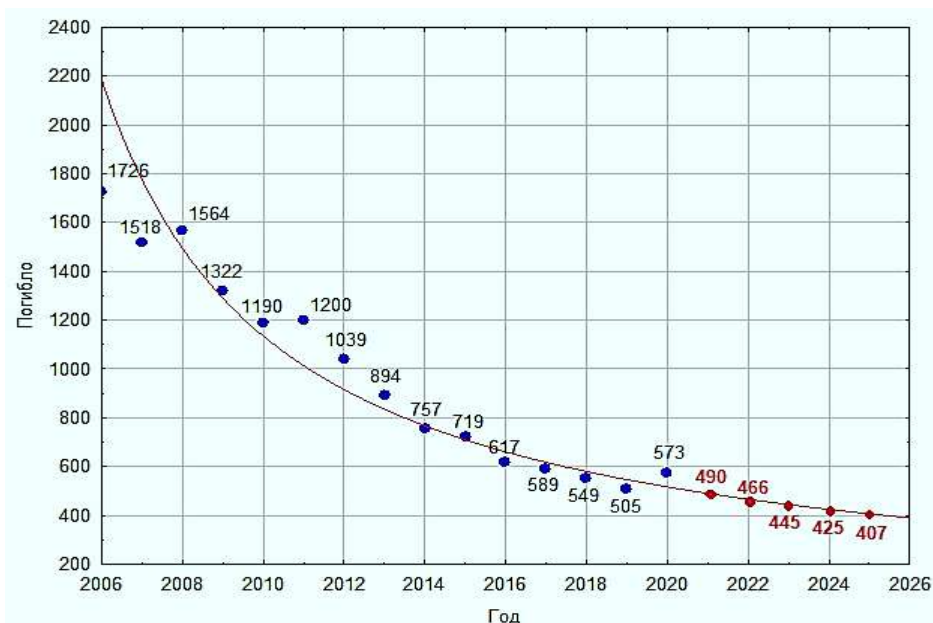


Рисунок 1 – Прогноз числа погибших в ДТП

Из рисунка 1 видно, что при сохранении сложившейся тенденции прогнозируемое количество погибших в ДТП в контрольном 2025 году составит 407. Таким образом, при сохранении сложившейся тенденции целевое значение в 350 погибших, сформулированное в стратегии обеспечения безопасности дорожного движения в Республике Беларусь «Добрая дорога», не будет достигнуто. Это обуславливает необходимость разработки дополнительных мер по снижению ДТП, в том числе, с участием пешеходов, а также подчеркивает актуальность тематики исследования.



Рисунок 2 – Распределение ДТП по категориям в г. Гомеле, 2010–2020 гг.

На рисунке 2 приведена диаграмма распределения ДТП по категориям в г. Гомеле за 2010–2020 г. Из рисунка 2 видно, что наибольшее количество ДТП относится к категории «ТС+пешеход». Таким образом, проблема снижения аварийности дорожного движения с участием пешеходов является особенно актуальной для города Гомеля.

Основой для разработки мероприятий по снижению аварийности с участием пешеходов в городе Гомеле послужили статистические данные о ДТП [1] (зависимые переменные), а также натурные данные, собранные с пешеходных переходов г. Гомеля (независимые факторы). В ходе исследования пешеходных переходов оценивались следующие независимые факторы (показатели пешеходных переходов): ширина пешеходного перехода; тип пешеходного перехода (регулируемый, нерегулируемый); наличие искусственной неровности и её вид; ширина полос движения и др. (всего более 20). В качестве зависимых переменных, описывающих аварий-



ность, использовались следующие показатели аварийности: абсолютные (общее количество ДТП, раненых и погибших и др.); относительные (количество ДТП с участием пешеходов в расчете на интенсивность ТС, пересекающих пешеходное сечение в вечерний час пик; количество погибших в ДТП пешеходов в расчете на интенсивность ТС, пересекающих пешеходное сечение в вечерний час пик и др.).

Целью исследования было выявление независимых факторов, значимо влияющих на зависимые переменные, а также установление вида такой зависимости и разработка на этой основе мероприятий по снижению числа и тяжести ДТП с участием пешеходов. В рамках данной работы произведены натурные обследования 88 пешеходных переходов города Гомеля, в результате чего были получены значения в независимых переменных. При помощи [2] и с учетом методик и рекомендаций, приведенных в [3–6], произведен анализ, в ходе которого было выявлено, что наиболее значимое влияние на показатели аварийности оказывают:

- расстояния от окончания закругления кромки проезжей части до края пешеходного перехода;
- радиус закругления кромки проезжей части;
- продолжительность переходного интервала;
- продолжительность зеленого пешеходного сигнала светофора;
- наличие конфликта с лево- и правоповоротным транспортными потоками;
- интенсивность транспортного потока через пешеходный переход.

С учетом этого был предложен ряд мероприятий по повышению безопасности движения пешеходов, реализация которых позволит сократить число погибших в ДТП в г. Гомеле на 66,7 %, а раненых – на 46,5 %. При этом будет достигнут экономический эффект в размере 675 тыс. дол в год.

#### Список литературы

- 1 Статистика БЕЛТА [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.belta.by/incident/view/v-belarusi-v-2020-godu-v-dtp-pogibli-573-cheloveka-iz-nih-22-rebenka-425982-2021/>. – Дата доступа : 10.10.2021.
- 2 Statistica 13.3. Компьютерная программа. Серийный номер JRR709H998119TE-A.
- 3 Аземша, С. А. Применение научных методов в повышении безопасности дорожного движения : [монография] / С. А. Аземша, А. Н. Старовойтов. – Гомель : БелГУТ, 2017. – 191 с. – ISBN 978-985-554-618-5.
- 4 StatSoft, Inc.: Электронный учебник по статистике [Электронный ресурс]. – М. : StatSoft, 2012. – Режим доступа : <http://statsoft.ru/home/textbook/%20default.htm>. – Дата доступа : 30.01.2022.
- 5 Боровиков, В. И. STATISTICA: искусство анализа данных на компьютере / В. И. Боровиков. – СПб. : Питер, 2001. – 650 с.
- 6 Боровиков, В. П. Популярное введение в современный анализ данных в системе STATISTICA / В. П. Боровиков : учеб. пособие для вузов. – М. : Горячая линия – Телеком, 2013. – 288 с.

УДК 629.067

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ КИБЕРБЕЗОПАСНОСТИ В УСЛОВИЯХ АКТИВНОЙ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

А. С. АЛЯЕВА

*Самарский государственный университет путей сообщения, Российская Федерация*

Цифровая трансформация ОАО «РЖД» заключается в преобразовании деятельности и повышении эффективности уже имеющихся процессов за счёт внедрения инноваций, новых цифровых продуктов и технологий.

Согласно стратегии цифровой трансформации ОАО «РЖД» существующая структура цифровых решений и ИТ-систем обладает рядом недостатков, среди которых выделяется отсутствие единого решения для обеспечения информационной безопасности на транспорте, что приводит к проблеме увеличения числа кибератак [1–3].

Так, недостаточный уровень обеспечения кибербезопасности влечет за собой серьезные последствия, связанные с нарушением работы автоматизированных систем управления [4] и финансовой ответственностью, в том случае, если дело касается утечки конфиденциальных сведений.

Исходя из этого в рамках данной работы рассмотрим классификацию кибератак, проведем анализ текущего состояния кибербезопасности и рассмотрим мероприятия, направленные на защиту железнодорожной инфраструктуры Российской Федерации от кибератак.

Классификация кибератаки на железной дороге согласно данным центра кибербезопасности ОАО НИИАС РЖД представлена на рисунке 1



Рисунок 1 – Классификация кибератак на железнодорожном транспорте

На железнодорожном транспорте Российской Федерации наиболее подвержена рискам кибератак и представляет повышенную опасность микропроцессорная система управления (МПСУ). В ходе проверки выделено несколько уязвимых мест и, если не обеспечить достаточный уровень их защиты, может произойти [5]:

- блокировка работы системы;
- несанкционированное проникновение хакеров в систему, изменение используемого программного обеспечения для дальнейшего перевода стрелок под движущимся составом, дистанционное изменение параметров управления локомотивом и контроль его географических координат;
- перехват управления или полная блокировка;
- фальсификация информации;
- уничтожение аппаратуры.

Для того чтобы обеспечить кибербезопасность в рамках цифровизации и предотвратить вышеописанное, на сети железных дорог Российской Федерации разработан следующий комплекс мероприятий [6]:

- 1) обеспечение идентификации и аутентификации;
- 2) шифрование данных, которые передаются за пределы зоны контроля;
- 3) исключение несанкционированного доступа к микропроцессорной системе управления и её загрузки с внешних носителей;
- 4) блокировка микропроцессорной системы управления во время отсутствия пользователя;
- 5) документирование работы пользователей и действий администратора;
- 6) контроль доступа к изменению расположения частей микропроцессорной системы управления;
- 7) регулярное обновление программного обеспечения;
- 8) резервное копирование, а также восстановление данных и программного обеспечения, резервирование программно-аппаратных средств в случае возникновения чрезвычайных ситуаций;
- 9) защита информационных ресурсов путем использования антивирусных программ;
- 10) подключение к государственной системе обнаружения, предупреждения и ликвидации последствий компьютерных атак (ГосСОПка);
- 11) переход на отечественное программное обеспечение.

Таким образом, обеспечение кибербезопасности – актуальное направление работ, сформированное в рамках концепции цифровизации железных дорог и идущее параллельно с созданием новой цифровой инфраструктуры. Вопросу защиты систем автоматического управления от кибератак уделяется также много внимания, как и строительству новых железнодорожных путей. Это происходит

из-за того, что на данный момент идет активное внедрение беспилотных транспортных средств и запускаются современные поезда, требующие высокого уровня защиты от кибератак.

Поэтому, чтобы достичь положительного результата, необходимы не только технические решения, но и устранение проблемы на уровне производства. Так, отечественные специалисты активно занимаются работой по усовершенствованию систем защиты и проводят локализацию оборудования на российских предприятиях.

Но, хотя Российское законодательство регулирует данный вопрос, проблеме кибербезопасности в транспортной сфере стоит уделять больше внимания, так как пренебрежение данной проблемой может привести к непоправимым последствиям.

#### Список литературы

- 1 Стратегия цифровой трансформации транспортной отрасли РФ от 16 июля 2021 г.
- 2 Программа «Цифровая экономика Российской Федерации» от 28 июля 2017 г. №1632-р [Электронный ресурс] . – Режим доступа : <https://docs.cntd.ru/document/436754837>. – Дата доступа : 10.09.2022.
- 3 Стратегия цифровой трансформации и программа развития информационных технологий ОАО «РЖД» до 2025 года (актуализирована 3 августа 2021 года). – 2021.
- 4 **Москвичев, О. В.** Информационные технологии и информационно-управляющие системы на магистральном транспорте / О. В. Москвичева. – Самара : СамГУПС, 2015. – 287 с.
- 5 **Безродный, Б. Ф.** Особенности анализа кибербезопасности АСУ ТП на железнодорожном транспорте / Б. Ф. Безродный // Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование (ИСУЖТ-2019) : тр. Восьмой науч.-техн. конф. – М., 2019. – С. 248–251.
- 6 **Киселева, Е. М.** Железная дорога как объект киберзащиты / Е. М. Киселева // Международный студенческий научный вестник [Электронный ресурс]. – 2018. – № 5. – Режим доступа : <https://eduherald.ru/ru/article/view?id=19179>. – Дата доступа : 15.06.2022.

УДК 656.01:004.9(476.4)

## ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ГОРОДСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА МОГИЛЕВА

*А. С. БАБАРЫКИНА*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В 2020 году Центром городских инициатив [1] с целью изучения мнения могилевчан был проведен опрос на тему «Актуальные проблемы города Могилева и пути их решения: мнение горожан». В области пассажирского транспорта опрос показал, что 8 % горожан полностью недовольны работой общественного транспорта; 19,9 % граждан по большей части не удовлетворены; 59,4 % – скорее удовлетворены и только 12,8 % опрошенных жителей города Могилева полностью удовлетворены общественным транспортом. Основными критериями выбора пассажирского транспорта являются безопасность, стоимость проезда, время поездки и комфорт. Перспективными направлениями сокращения времени – увеличение маршрутной скорости движения транспортных средств, организация новых скоростных перевозок различными видами транспорта с минимальным числом остановок – экспресс и полуэкспресс рейсы. Характеристики городских транспортных систем во многом определяются транспортной инфраструктурой города.

Одним из важнейших показателей уровня развития транспортной инфраструктуры города является транспортная доступность. Согласно нормативным документам [2] транспортная доступность представляет собой обобщающий показатель, который измеряется затратами времени на передвижение с использованием транспорта. При размещении новых жилых районов и рабочих мест следует учитывать, что затраты времени на поездку в транспорте (без учета времени подхода к ближайшей остановке и времени ожидания транспорта) от мест проживания до места работы для 90 % трудоспособного населения не должны превышать в крупных городах 45 минут [2].

При современном уровне развития технических средств для анализа структуры транспортной сети и определения направлений ее развития целесообразно использовать геоинформационные системы (ГИС). На сегодняшний день геоинформационные системы используются при решении раз-

нообразных транспортных задач: определение доступности транспортных систем для пассажиров; планирование использования городской территории в рамках развития транспортных систем; прогнозирование вариантов выбора маршрутов пассажирами и продолжительности совершения ими поездок и другие задачи. При определении транспортной доступности наиболее распространенным способом моделирования является построение изохрон – линий, соединяющих точки равных затрат времени на преодоление пространства относительно заданных точек. В качестве объекта исследования принята транспортная система г. Могилева.



Рисунок 1 – Карта плотности населения г. Могилева, построенная при помощи ArcMap

Городской общественный транспорт в г. Могилеве на сегодняшний день представлен автобусным и троллейбусным видами транспорта, а также маршрутным такси. Транспортная доступность общественного транспорта г. Могилева была проанализирована с помощью программного пакета GRASS GIS и Quantum GIS. Исходными данными для работы являются граф улично-дорожной сети города Могилева общей протяженностью более 1900 км и

49 схем движения маршрутов городского общественного транспорта [3]. В качестве точки назначения для города был принят его центр – остановка «площадь Единства». Для моделирования использовался модуль *v.isochrones*, позволяющий работать двумя методами: создавать непрерывные изохроны, то есть область затрат на перемещение (модуль *r.cost*), либо откладывая преодолеваемое расстояние вдоль дорог (модуль *v.net.iso*). С помощью модуля *r.cost* получен растровый слой, в каждой ячейке которого хранится время в минутах.

На основе разработанной карты транспортной обеспеченности города общественным транспортом можно сделать вывод, что поездка в общественном транспорте из центра города Могилева в удаленные районы занимает в среднем 40 минут без учета пересадки и времени ожидания транспорта. Более 45 минут потребуется, чтобы добраться с одного конца города в другой на общественном транспорте. Это говорит о неполном соблюдении требований транспортной доступности, которые предъявляются ко всем городским транспортным системам.

Определяющим фактором по развитию инфраструктуры являются особенности планировочной структуры города, плотность населения, рабочие зоны города, а также взаимное расположение функциональных зон. С помощью программного пакета ArcMap произведено построение карты плотности населения с применением инструмента «Тепловые карты», представляющего собой тип визуализации, где цвет выступает в качестве дополнительного измерения: большому значению параметра соответствует более высокая плотность (изображается красным оттенком), участки с наиболее низкой плотностью населения – зеленым. Анализ построенной поверхности (рисунок 1) показывает, что расселение города неоднородно. Наиболее заселенными районами города являются Фатина, Терехина, Димитрова, Солнечный, Казимировка, Заднепровье, Юбилейный, Ямницкий, Соломинка, Цегельня, Спутник, Мир.

Одним из вариантов улучшения транспортной обеспеченности города может стать организация городских железнодорожных перевозок. Жители для городских перемещений пользуются услугами региональных линий экономкласса, однако технология их организации не адаптирована для городских перевозок. При этом железнодорожный транспорт имеет ряд преимуществ, делающих его конкурентным для перевозки пассажиров в системе городского общественного транспорта: регулярность движения; независимость от погодных условий; скорость сообщения; безопасность; низкая стоимость перевозок; экологичность; повышение качества жизни в связи с более высоким уровнем доступности инфраструктуры. С учетом наличия развитой сети железнодорожной транспортной инфраструктуры в г. Могилеве не требуется значительных вложений для повышения транспортного потенциала городской транспортной системы. Для этого возможно использование сети путей необщего пользования, а также развитие сети остановочных пунктов и пассажирской инфраструктуры в Могилевском железнодорожном узле.

На основе анализа плотности населения, особенностей планировочной структуры города, месторасположения крупных предприятий и путей необщего пользования предлагается схема разви-

тия узла по маршруту «о. п. Городщина – Могилев-2 – Могилев-1 – о. п. Автовокзал – о. п. Юбилейный – Луполово – о. п. Димитрова». В результате организации маршрута городских линий улучшаются основные характеристики магистральной сети города. Организация движения городских дизель-поездов сокращает время в пути пассажира только в прямом сообщении (без смены вида транспорта) на 40–55 %. При пересадке транспортного средства этот показатель улучшается на 30 % за счет введения в оборот городских дизель-поездов и сокращения автобусных рейсов.

Маршрут городских линий по предложенному варианту проходит по существующей инфраструктуре, что не требует значительных капитальных вложений для его организации. Это позволяет снизить интенсивность движения личного автомобильного транспорта и, как следствие, уменьшить износ дорожного покрытия, а также повысить безопасность перевозок пассажиров в городе Могилеве.

#### Список литературы

1 Бубнов, Ю. М. Актуальные проблемы города Могилева и пути их решения: мнение горожан : аналитическая записка [Электронный ресурс] / Ю. М. Бубнов, С. П. Грибановский; Центр городских инициатив. – Могилев, 2018. – Режим доступа : <https://urbanistic.by/>. – Дата доступа : 27.02.2022.

2 Об утверждении и введении в действие строительных норм [Электронный ресурс] : постановление М-ва архит. и стр-ва Респ. Беларусь, 27 ноября 2020 г., № 94 // Нац. правовой интернет-портал Респ. Беларусь. – Режим доступа : <https://pravo.by/document/?guid=3961&p0=-W22136480p>. – Дата доступа : 27.02.2022.

3 OpenStreetMap [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [www.openstreetmap.com](http://www.openstreetmap.com). – Дата доступа : 27.02.2022.

УДК 629.067

## ПОВЫШЕНИЕ УРОВНЯ ТРАНСПОРТНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ИННОВАЦИОННОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

*В. В. ГЯНДЖУМЯН, А. В. ВАРЛАМОВ*

*Самарский государственный университет путей сообщения, Российская Федерация*

Меры безопасности при транспортировке грузов – важное условие успешной перевозки. Несоблюдение специальных требований может привести к повреждению груза, транспорта и травмам. В связи с этим учет всех факторов, определяющих безопасность транспортного процесса, остается одной из основных задач при планировании и организации перевозки грузов любым транспортом. В статье представлено исследование основных факторов, влияющих на безопасность перевозок грузов в вагонах-паллетовозах.

Перевозка грузов – это не только их доставка по определенному маршруту в соответствии с договором, но и выполнение ряда организационно-технических требований, которые должны обеспечивать надежность и безопасность транспортный процесса. Организация перевозки грузов и обеспечение безопасности на транспорте регулируется нормативными правовыми актами, но обеспечивается непосредственно в движении совершенностью самого подвижного состава и системой грузоперевозки [1, с. 16]. Инновационным решением в железнодорожной логистике является вагон-паллетовоз (рисунок 1)

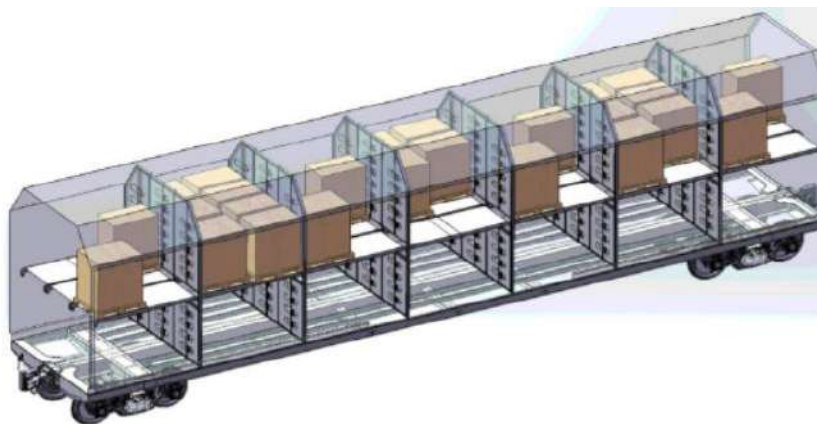


Рисунок 1 – Общий концептуальный вид вагона нового типа – паллетовоза

Вагоностроители сейчас разрабатывают возможные конструкции специального вагона, характеристики которого улучшены для механизированной погрузки и выгрузки.

Преимуществами этого вагона являются увеличенная вместимость и минимальный удельный вес тары вагона, повышенная скорость движения, а также особенности конструкции вагона, позволяющие увеличивать скорость погрузки и выгрузки [5]. Для увеличения срока функционирования вагона и уменьшения издержек комплексной транспортной услуги вагон должен иметь увеличенный межремонтный интервал, а также детали и узлы, надежность которых повышена; иметь датчики динамического контроля состояния в соответствии с концепцией умного вагона. Кроме того, сейчас изучается возможность выполнения данного решения в формате специализированного контейнера [2, с.12]. По принципу «от двери до двери» планируется образование комплексного транспортного продукта для клиентов. Предусматриваются короткое время доставки, оптимальная цена и оказание услуг «первой мили». На железнодорожном транспорте использование паллетных перевозок позволит доставлять паллетами широкую номенклатуру грузов в контейнерах на паллетах и в крытых вагонах. Главными преимуществами новой технологии будут являться объединение партий грузов, механизированная погрузка и выгрузка, а также образование логистического сервиса [4]. Использование проекта «Паллетный экспресс» предусматривает перенесение на железнодорожный транспорт около 15 процентов паллетизированного грузопотока. Сейчас рынок сборных грузов магистральных автомобильных перевозок оценивается в 740 миллиардов рублей в год. Всё это можно перевести на железнодорожный транспорт для разнообразия грузовой базы. При этом эффективность систем комплексной транспортной безопасности на объектах железнодорожной инфраструктуры возрастает ввиду минимального набора грузовых операций в пути следования подобного экспресс-состава и его обслуживания в единых паллетно-логистических комплексах.

Использование унифицированного подвижного состава контейнерного и паллетного типов не только экономически целесообразно, но и повышает уровень транспортной безопасности в целом в отрасли. Единообразие видов подвижного состава, стандартизация методов противодействия противоправным действиям вкпе с концепцией умного вагона позволит в перспективе установить индивидуальный сигнализирующий режим на каждый вагон.

#### Список литературы

- 1 Правила перевозок грузов железнодорожным транспортом. Сборник – книга 1. – М. : Юртранс, 2003. – 712 с.
- 2 Технические условия размещения и крепления грузов в вагонах и контейнерах. – М. : Юртранс, 2003. – 544 с.
- 3 Гудок [Электронный ресурс] : офиц. сайт. – Режим доступа : <https://www.gudok.ru>. – Дата доступа : 20.02.2022.
- 4 Анализ технических решений вагона-паллетовоза / Ю. П. Бороненко [и др.] // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2021. – Т. 18, вып. 1. – С. 95–120.
- 5 Варламова, Н. Х. Развитие современных технологий по формированию и отправлению мелких партий грузов с грузовых дворов КБШ ЖД / Н. Х. Варламова, Э. Д. Козлова // Дни студенческой науки : сб. материалов 49-й науч. конф. обучающихся СамГУПС. – Вып. 23. – Т. 1. Технические науки. Ч. 1. – Самара : СамГУПС, 2022. – С. 63–64.
- 6 Семиков, Д. С. Проект трехъярусного паллетного вагона для перевозки сборных грузов [Электронный ресурс] / Д. С. Семиков. – Режим доступа : <http://мояколея1520.рф>. – Дата доступа : 08.08.2022.
- 7 Analysis of technical solutions for a pallet car / Yu. P. Boronenko [et al.] // Proceedings of Petersburg State Transport University. – 2021. – Vol. 18, is. 1. – P. 95–100.

УДК 656.222.6

## СНИЖЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЯ СРЕДНЕГО ВЕСА ПОЕЗДА НА ПРОСТОЙ МЕСТНОГО ВАГОНА НА СТАНЦИЯХ КАК ОДНА ИЗ ВАЖНЕЙШИХ ЗАДАЧ КЛИЕНТООРИЕНТИРОВАННОГО ХОЛДИНГА «РЖД»

*Д. М. ДЕВЯТОВ*

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

ОАО «РЖД» является клиентоориентированной компанией. Основные принципы и направления клиентоориентированности записаны в «Единой политике клиентоориентированности холдинга



«РЖД» в области грузовых перевозок», утвержденной распоряжением ОАО РЖД от 26 июля 2016 года № 1489р. Клиентоориентированность – это способность компании создавать дополнительную прибыль за счет глубокого понимания и удовлетворения потребностей клиентов в качестве, доступности и сроках предоставления услуг во всех видах деятельности.

Данное требование можно считать реализованным, когда каждый сотрудник подразделения ОАО «РЖД» и бизнес-единицы холдинга «РЖД» осознает свои ответственность и вклад в подготовку и оказание конечной услуги в единой производственной цепи создания ценности для клиента и ОАО «РЖД».

Очень важным в работе железнодорожного транспорта является выполнение эксплуатационных показателей, таких как грузооборот, погрузка, выгрузка, работа, выполнение показателей скоростей, повышение средней статической нагрузки и увеличение среднего веса поезда.

Практика показывает, что выполнение некоторых показателей иногда идет вразрез с выполнением таких показателей, как средний простой местного вагона на станции и выполнением критериев клиентоориентированности.

Один из важнейших показателей – средний вес поезда – определяется как отношение всех выполненных тонно-километров брутто к сумме локомотиво-километров. Вполне очевидно, что в локальном смысле этот показатель зависит от наличия в составе каждого поезда порожних или груженых вагонов и от числа вагонов в составе каждого поезда.

На сети ОАО РЖД работают тысячи промежуточных станций и на каждой из них разный объем грузовой работы. Есть станции, где за сутки может накопиться 40 и 50 вагонов на целый состав поезда, а есть станции, где за сутки накапливается всего около 20 или 30 вагонов.

Проведем небольшое исследование на примере условного участка, в который входит три промежуточных станции: одна опорная – А, где сконцентрирован основной объем грузовой работы, и две промежуточные: Б и В – с небольшим объемом грузовой работы. Все станции обслуживаются локомотивом станции А, серия ЧМЭЗ. К станциям Б и В примыкают пути необщего пользования (по одному к каждой из станций), не имеющие путевого развития.

Зададим условие задачи для проведения исследования, на примере которой наглядно покажем, как на ОАО «РЖД» соблюдение показателя «средний простой местного вагона» и выполнение показателя «средний вес поезда» идут вразрез между собой.

За сутки должно быть выполнено 3 условия:

- 1) с опорной станции А нужно вывезти 27 вагонов на станцию Б, и с путей необщего пользования, прилегающих к станции Б, должно быть убрано 27 вагонов и подано на пути станции А;
- 2) с опорной станции А нужно вывезти 23 вагона на станцию В, и с путей необщего пользования, прилегающих к станции В, должно быть убрано 23 вагона и подано на пути станции А;
- 3) местная работа на станции А (в статье подробно не рассматривается).

Схема расположения промежуточных станций на участке представлена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Схема расположения промежуточных станций на двухпутном участке

Исходные данные для проведения исследования представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Исходные данные

Среднесуточный вагонопоток станции А	70 ваг.
Среднесуточный вагонопоток станции Б	27 ваг.
Среднесуточный вагонопоток станции В	23 ваг.
Перегонное время хода А–Б	10 мин
Перегонное время А–В	8 мин
Время на сокращенное опробование тормозов	14 мин
Время на подачу/уборку вагонов на станции Б	27/23 мин
Время на подачу/уборку вагонов на станции В	25/20 мин
Время на закрепление вагонов	10 мин
Длина горловины на станции А	500 м

Данные условия могут выполняться двумя вариантами.

### В а р и а н т 1.

Передача вагонов с опорной станции на прилегающую промежуточную выполняется за один раз передаточным поездом (таблица 2).

Таблица 2 – Время на выполнение операций при условиях варианта 1

Операции (выполняются локомотивом станции А)	Затраченное время, мин
Заезд локомотива резервом за группой вагонов на путь станции А, прицепка локомотива к 27 вагонам назначением на станцию Б, перезакрепление состава (исходя из длины горловины станции)	13
Полное опробование тормозов (0,9 мин/ваг. + 12 мин)	37
Следование по горловине станции А и перегону А–Б.	13
Прибытие на путь станции Б, закрепление вагонов, отцепка локомотива	13
Следование локомотива резервом на путь необщего пользования, прилегающий к станции Б, уборка 27 вагонов на путь станции Б	23
Закрепление вагонов на пути станции Б	10
Заезд локомотива под 27 вагонов для подачи, уборка тормозных башмаков	13
Подача 27 вагонов на путь необщего пользования, прилегающий к станции Б	27
В том числе заезд локомотива под 27 вагонов для отправления на станцию А	3
Полное опробование тормозов (0,9 мин/ваг. + 12 мин)	37
Следование на станцию А по перегону Б–А	13
Следование по горловине станции А, прибытие на путь	3
Закрепление вагонов на пути станции А, отцепка локомотива	10
Заезд локомотива резервом за группой вагонов на путь станции А, прицепка локомотива к 23 вагонам назначением на станцию В, перезакрепление состава	13
Полное опробование тормозов (0,9 мин/ваг. + 12 мин)	33
Следование по горловине станции А и перегону А–В	11
Прибытие на путь станции В, закрепление вагонов, отцепка локомотива	13
Следование локомотива резервом на путь необщего пользования, прилегающий к станции В, уборка 23 вагонов на путь станции В	20
Закрепление вагонов на пути станции В	10
Заезд локомотива и прицепка к 23 вагонам для подачи на путь необщего пользования, уборка тормозных башмаков	13
Подача 23 вагонов на путь необщего пользования, примыкающий к станции В	25
Заезд локомотива резервом и прицепка к 23 вагонам для отправления на станцию А	13
Полное опробование тормозов (0,9 мин/ваг. + 12 мин)	33
Следование на станцию А по перегону В–А	11
Следование по горловине станции А, прибытие на путь	3
Закрепление вагонов на пути станции А, отцепка локомотива	10
<i>Итого</i>	410

Исходя из данных таблицы 2, можно сделать вывод что данное условие один локомотив за сутки выполнить успеет, за счёт минимальных затрат времени. При таком варианте средний простой местного вагона на промежуточных станциях Б и В будет наиболее оптимальным. На ответственности станции средний простой местного вагона составит 3,11 и 3,05 часов соответственно.

Но при таком варианте в графике движения поездов должна выделяться нитка графика, поезду – присваиваться номер. В таком случае масса поезда будет учитываться и сильно уменьшать показатель «средняя масса поезда».

### В а р и а н т 2

Передача вагонов с опорной станции на прилегающую промежуточную выполняется за 3 раза путем передачи маневровым составом (не более 10 вагонов) (таблица 3).

Таблица 3 – Время на выполнение операций при условиях варианта 2

Операции (выполняются локомотивом станции А)	Затраченное время, мин
Заезд локомотива резервом за группой вагонов на путь станции А, прицепка локомотива к 10 вагонам назначением на станцию Б, перезакрепление состава	13
Полное опробование тормозов	9



Продолжение таблицы 3

Операции (выполняются локомотивом станции А)	Затраченное время, мин
Следование по горловине станции А и перегону А–Б.	13
Прибытие на путь станции Б, закрепление вагонов, отцепка локомотива	13
Заезд локомотива резервом на путь необщего пользования, прилегающий к станции Б, уборка 27 вагонов на путь станции Б	23
Полное опробование тормозов	21
Следование по горловине станции А, прибытие на путь	3
Закрепление вагонов на пути станции А, отцепка локомотива	10
Заезд локомотива резервом за группой вагонов на путь станции А, прицепка локомотива к 10 вагонам назначением на станцию Б, перезакрепление состава	13
Полное опробование тормозов	21
Следование по горловине станции А и перегону А–Б	13
Прибытие на путь станции Б, объединение групп вагонов, закрепление вагонов, отцепка локомотива	16
Заезд локомотива резервом за группой вагонов на путь станции Б, прицепка локомотива к 10 вагонам, перезакрепление состава	13
Полное опробование тормозов	21
Следование на станцию А по перегону Б–А	13
Следование по горловине станции А, прибытие на путь	3
Закрепление вагонов на пути станции А, отцепка локомотива	10
Заезд локомотива резервом за группой вагонов на путь станции А, прицепка локомотива к 7 вагонам назначением на станцию Б, перезакрепление состава	13
Полное опробование тормозов	18
Следование по горловине станции А и перегону А–Б.	13
Прибытие на путь станции Б, объединение групп вагонов, уборка башмаков	16
Подача 27 вагонов на путь необщего пользования, прилегающий к станции Б	27
Заезд локомотива резервом за группой вагонов на путь станции Б, прицепка локомотива к 7 вагонам, уборка тормозных башмаков	13
Полное опробование тормозов	18
Следование на станцию А по перегону Б–А	13
Следование по горловине станции А, прибытие на путь	3
Закрепление вагонов на пути станции А, отцепка локомотива	10
Заезд локомотива резервом за группой вагонов на путь станции А, прицепка локомотива к 10 вагонам назначением на станцию В, перезакрепление состава	13
Полное опробование тормозов	21
Следование по горловине станции А и перегону А–В.	11
Прибытие на путь станции В, закрепление вагонов, отцепка локомотива.	13
Заезд локомотива резервом на путь необщего пользования, прилегающий к станции В, уборка 23 вагонов на путь станции В	20
Закрепление 13 вагонов, отцепка 10	10
Полное опробование тормозов	21
Следование на станцию А по перегону В–А	11
Следование по горловине станции А, прибытие на путь	3
Закрепление вагонов на пути станции А, отцепка локомотива	10
Заезд локомотива резервом за группой вагонов на путь станции А, прицепка локомотива к 10 вагонам назначением на станцию В, перезакрепление состава	13
Полное опробование тормозов	21
Следование по горловине станции А и перегону А–В	11
Прибытие на путь станции В, объединение групп вагонов, закрепление вагонов, отцепка локомотива	16
Заезд локомотива резервом за группой вагонов на путь станции В, прицепка локомотива к 10 вагонам, перезакрепление состава	13
Полное опробование тормозов	21
Следование на станцию А по перегону В–А	11
Следование по горловине станции А, прибытие на путь	3
Закрепление вагонов на пути станции А, отцепка локомотива	10
Заезд локомотива резервом за группой вагонов на путь станции А, прицепка локомотива к 3 вагонам назначением на станцию В, уборка тормозных башмаков	13
Полное опробование тормозов	14
Следование по горловине станции А и перегону А–В	11
Прибытие на путь станции Б, объединение групп вагонов, уборка тормозных башмаков	16
Подача 23 вагонов на путь необщего пользования, прилегающий к станции В	25
Заезд локомотива резервом за группой вагонов на путь станции В, прицепка локомотива к трем вагонам, уборка тормозных башмаков	13

## Окончание таблицы 3

Операции (выполняются локомотивом станции А)	Затраченное время, мин
Полное опробование тормозов	14
Следование на станцию А по перегону В–А	11
Следование по горловине станции А, прибытие на путь	3
Закрепление вагонов на пути станции А, объединение, отцепка локомотива	16
<i>Итого</i>	764
<i>Примечание</i> – Время на опробование определено исходя из «Норм времени и нормативов численности рабочих на пунктах технического обслуживания грузовых вагонов, утвержденных распоряжением ОАО «РЖД» от 14 июля 2016 г. № 1425 р.», время на заезды маневровых локомотивов, перестановку вагонов определено в соответствии с нормами времени на маневровые полурейсы, время подачи и уборки вагонов взято из Технологической карты одной из промежуточных станций Горьковской железной дороги.	

Данный вариант предполагает передачу локомотивом не более 10 вагонов в одном поезде, тем самым поезду нет необходимости выделять отдельную нитку графика и присваивать поезду номер, масса такого состава в показателе «средний вес поезда», не учитывается, поэтому показатель «средний вес поезда» не уменьшается при отправлении таких составов, но так как суммарная длительность операций составляет 12,7 часов, возникает риск невыполнения условий за сутки. Также стоит отметить что в таблице 3 не учитывается работа по станции А, которая является опорной, и объем работы значительно превышает объем работы на других промежуточных станциях, поэтому фактически данный объем работы может быть не выполнен за сутки. Ко всему прочему из данных расчетов становится очевидно, что простой местного вагона по станциям Б и В значительно возрастает до 5,7 и 5,5 часов соответственно, и это при условии, что все выведенные вагоны с пути необщего пользования отправляются друг за другом. Но на практике локомотив после прибытия с очередной группой вагонов на опорную станцию может быть занят местной работой, и в этом случае простой местного вагона на промежуточных станциях Б и В возрастает еще сильнее.

Как же оптимальным образом удовлетворить потребности клиентов холдинга «РЖД» и в то же время не снизить эксплуатационные показатели работы железнодорожного транспорта, такие как средний вес поезда? Отказаться от этого показателя нельзя, потому что он очень важен как показатель эффективности поезда, эксплуатации локомотивного парка. Многие расчеты проводятся на основе данного показателя.

В данной ситуации мы предлагаем разделить показатель «средний вес поезда» следующим образом: отдельно считать средний вес поезда для всех составов, отправляемых поездными и вывозными локомотивами, и в отдельную категорию выделить показатель «средний вес передаточного поезда» при участии в тяге маневровых локомотивов. В этом случае показатель «средний вес поезда» станет более объективно показывать эффективность поезда, так как в первый показатель, который должен считаться основным, будут преимущественно входить полносоставные поезда, а во второй показатель – исключительно развоз местного груза с опорных станций по промежуточным станциям участка, обслуживаемого локомотивами этих станций. В результате отпадает необходимость работы по второму варианту, описанному в статье для повышения среднего веса поезда в конце учетного периода, когда складывается обстановка, что он ниже плановых показателей. От руководства дороги часто в этих случаях поступают оперативные приказы отправлять поезда не более 10 вагонов или не менее 40 вагонов. Следствием отказа от второго варианта работы станет сокращение затрат локомотиво-часов работы маневровых локомотивов, что также будет иметь экономический эффект.

УДК 331.45

## ПРОБЛЕМА АВТОТРАНСПОРТНОГО ТРАВМАТИЗМА НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

Ю. В. ДЕМЕНТЬЕВА

*Самарский государственный университет путей сообщения, Российская Федерация*

С. Д. ТАТАРИНЦЕВ

*Самарский государственный университет путей сообщения;  
Куйбышевская железная дорога, г. Самара, Российская Федерация*

На территории России железнодорожной инфраструктурой владеет ОАО «РЖД», компания является одним из крупнейших работодателей среди субъектов экономической деятельности. Железнодорожная отрасль исходя из особенностей своего целевого функционирования является зоной

повышенной опасности труда, поэтому профессиональная деятельность железнодорожников связана с воздействием на них опасных производственных факторов и риском травмирования.

Наряду с организацией бесперебойной и безаварийной работы железных дорог перед руководством ОАО «РЖД» стоит задача обеспечения безопасных условий и охраны труда работников, профилактики производственного травматизма и минимизации профессиональных рисков.

В рамках системы управления охраной труда ОАО «РЖД» реализует комплекс превентивных мероприятий, направленных на снижение производственного травматизма. Таким образом, на постоянной основе проводятся техническая учеба и инструктажи по охране труда, внедряются инновационные подходы в организации безопасных рабочих мест с увеличением доли высокотехнологичных автоматизированных систем [1, 2].

Наряду с проведением превентивных мероприятий, осуществлением целенаправленной деятельности по обеспечению безопасности труда работников, несчастные случаи на предприятиях железных дорог продолжают иметь место, что обуславливает актуальность и значимость исследования настоящей проблемы.

Так, в 2021 гг. на предприятиях железнодорожного транспорта произошло 126 несчастных случаев, повлекших травмирование работников различной степени тяжести, в том числе со смертельным исходом [3]. Распределение несчастных случаев по видам происшествий, представлено на рисунке 1.



Рисунок 1 – Распределение несчастных случаев по видам происшествий в ОАО «РЖД» за 2021 год

Исходя из анализа статистических данных производственного травматизма, указывающих на превалирование ряда показателей: наезд, удар, зажатие подвижным составом – 9 человек, поражение электротоком – 9 человек, дорожно-транспортные происшествия – 12 человек, падение с высоты и с движущегося подвижного состава – 17 человек, рассмотрим их динамику за 5 летний период (2017–2021 гг.) [3], приведенную на рисунок 2.

По результатам проведенного анализа следует, что наибольшую и значительную долю в совокупности несчастных случаев на производстве в ОАО «РЖД» за период с 2017 по 2021 г. занимают дорожно-транспортные происшествия.

Производственный дорожно-транспортный травматизм является неотраслевым видом происшествий, который имеет весьма посредственное отношение к целевым видам деятельности ОАО «РЖД», что привлекает особое внимание и представляет научный интерес для исследования.

Таким образом, проведенный анализ определяет необходимость и значимость дальнейшего изучения причин несчастных случаев при дорожно-транспортных происшествиях, что позволит разработать целенаправленные превентивные мероприятия, способствующие повышению безопасности труда и снижению рисков травмирования при эксплуатации железнодорожниками автотранспортных средств.

**Наезд, удар, зажатие подвижным составом**  
(за 5 лет травмировано 57 чел., из них 22 чел. со смертельным исходом)



**Поражение электротоком**  
(за 5 лет - травмировано 62 чел., из них 29 чел. со смертельным исходом)



**Дорожно-транспортные происшествия**  
(за 5 лет-травмировано 112 чел., из них 13 чел. со смертельным исходом)



**Падение с высоты и с движущегося подвижного состава**  
(за 5 лет травмировано - 89 чел., из них 6 чел. со смертельным исходом)



Рисунок 2 – Динамика производственного травматизма по видам происшествий в ОАО «РЖД» за период с 2017 по 2021 г.

**Список литературы**

- 1 СТО РЖД 15.001-2020. Система управления охраной труда в ОАО «РЖД». Общие положения. – М. : РЖД. – 2020. – С. 46.
- 2 Хамидуллина, Е. А. Управление рисками производственного травматизма на железнодорожном транспорте на основе статистического анализа / Е. А. Хамидуллина, М. Н. Тарасова // Век. Техносферная безопасность. – 2016. – № 1 (1). – С. 8.
- 3 Анализ состояния условий и охраны труда в ОАО «РЖД» за период с 2007 по 2021 год / Департамент экологии, охраны труда и промышленной безопасности ОАО «РЖД».

## ВОПРОСЫ БЕЗОПАСНОСТИ «ФИЗИЧЕСКОГО ИНТЕРНЕТА» В ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМАХ

*Е. И. ЕЛИНА*

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

*В. А. ГЛИНСКИЙ*

*Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации, Российская Федерация*

В современном мире происходят постоянные изменения в транспортной логистике и повышаются требования потребителей к качеству, скорости и прозрачности процессов перевозки. Новые рыночные модели и современные технологии доставки позволяют сократить ряд звеньев логистической цепи и изменить характер логистических процессов.

Физический Интернет (PI) – это новая концепция обеспечения глобальной мобильности физических объектов. Традиционно логистические сети являются закрытыми и независимыми. В соответствии с концепцией PI они превращаются в открытую логистическую сеть, обеспечивающую эффективный способ перемещения физических товаров в заданное место за короткий период.

В соответствии с парадигмой Физического интернета используется множество существующих городских логистических объектов в цепочках поставок, включая распределительные центры, склады и автопарки. Кроме того, товары инкапсулированы в легко блокируемые смарт-контейнеры модульного размера, называемые PI-контейнеры. Они состоят из трехуровневой иерархии управления: транспортный контейнер (Т-контейнер), обрабатываемый контейнер (Н-контейнер) и упаковочный контейнер (Р-контейнер). Благодаря модульным размерам PI-контейнеры легко транспортируются PI-перевозчиками (поставщиками услуг доставки, включая краудсорсинговый парк доставки и сторонних курьеров), хранятся и обрабатываются PI-операторами (погрузочно-разгрузочное оборудование, конвейерные системы, подъемники).

Однако для практической реализации поставленной задачи необходима разработка и внедрение современных решений для безопасного взаимодействия всех участников перевозочного процесса в Физическом интернете. Далее рассмотрим отдельно основные уязвимости Физического интернета.

### 1 Радиочастотная идентификация.

Существует несколько преимуществ RFID-меток по сравнению со штрих-кодами – это более быстрое и точное сканирование продуктов и хранение большей информации о продукте. Однако RFID метки можно прикрепить к поддельному продукту, изъяв их у подлинника, что называется «захват бирки». Далее поддельные продукты внедряются в процесс цепочки поставок с использованием идентичности подлинного продукта. Как и штрих-коды, RFID-метки можно использовать в качестве среды для распространения вирусов и отключения целых систем. Кроме того, данные метки могут быть повреждены или изменены злоумышленником с помощью вредоносного модуля, что позволит проникнуть в незащищенное место сканирования, вставив вредоносный код в память.

### 2 Интернет вещей.

Интернет вещей (IoT) будет играть важную роль в слежении за жизненным циклом объекта. Интернет вещей в контексте цепочки поставок представляет сеть физических объектов со способностью подключаться, контролировать и взаимодействовать с объектами. Хотя устройства IoT и обладают более высокими вычислительными возможностями, чем метки RFID, их способность подключаться и дистанционно управлять объектами становится привлекательной для различных атак. Злоумышленники, имеющие доступ к IoT-устройству, смогут изменять данные датчиков, таких как температура, уровень влажности и местонахождение. Еще одна угроза – небезопасные действия пользователей, такие как использование ненадежных паролей и использование паролей по умолчанию для устройств Интернета вещей, открытых в интернете. Это привело к тому, что многие вредоносные программы были нацелены на потребительские устройства Интернета вещей. Недостаточные меры безопасности IoT приводят к подключению к цепи поставок неисправных устройств, тем самым делая систему цепочки поставок уязвимой.

### 3 Недостаточная прозрачность PI-контейнеров.

В современной логистике не хватает устройств, которые могут эффективно обеспечивать видимость информации по перевозке контейнерных грузов в режиме реального времени. Необходима реализация системы прослеживаемости достоверной информацией, которая эффективно гарантиро-

вала бы безопасность за счет сбора, передачи и обмена данными о производстве, обработке, складировании и распределении.

Для реализации большего обеспечения безопасности элементов Физического интернета необходимо придерживаться следующих принципов.

1 Современные системы защиты. Необходимо внедрение организациями новейших механизмов защиты, таких как безопасность конечных точек, система обнаружения вторжений, автоматизированное и непрерывное тестирование на уязвимости и проникновения. Программное обеспечение должно регулярно обновляться для обнаружения любых потенциальных кибератак.

2 Разумное использование современных технологий. Сегодняшние компании сильно зависят от искусственного интеллекта и машинного обучения. Это необходимо для анализа большого количества данных. Однако такие технологии открывают совершенно новый вектор киберугроз, которые представляют большую опасность.

3 Управление безопасностью устройств IoT и систем CPS. Автоматизированные цепочки поставок в значительной степени зависят от устройств IoT и системы CPS, поэтому важно, чтобы организации имели эффективные стратегии по управлению и установлению политик безопасности. Поскольку традиционные инструменты безопасности могут быть реализованы не на всех устройствах, важно использовать специальные, подходящие под эти системы.

4 Защита данных. Требуется постоянная шифровка данных независимо от их состояния (покой или передача). Также рекомендуется использование безопасных многосторонних вычислений (MPC) для защиты данных между несколькими торговыми партнерами.

5 Децентрализация. Методы децентрализованного обмена данными, такие как блокчейны, обеспечивают безопасную сеть для обмена данными с дополнительной устойчивостью к криптографическим атакам. Применение таких технологий может позволить партнерам по цепочке поставок обмениваться данными с определенной прослеживаемостью.

6 Безопасное хранение данных. Хранить данные важно в безопасных местах с надлежащей защитой (аутентификацией и доступом-контролем). Также рекомендуется уничтожение любых неиспользуемых данных.

Основной целью безопасности Физического интернета является не только защита данных, грузов и предотвращение вторжений, которые сосредоточены на угрозах, но и обеспечение того, чтобы важные функции, предоставляемые системами, сохранялись в условиях сбоев (как преднамеренных, так и непреднамеренных), что требует более стратегического и системного подхода.

#### Список литературы

1 Traceability in supply chains: A Cyber security analysis / N. F. Syed [et al.] // Computers & Security. – 2022. – Vol. 112. – 102536.

2 **Малюченко, В. К.** Оценка рисков проекта внедрения физического Интернета в логистическую сеть России / В. К. Малюченко, В. А. Глинский // Актуальные проблемы авиации и космонавтики : сб. материалов VII Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. Дню космонавтики. В 3 т., Красноярск, 12–16 апреля 2021 года. – Красноярск : СибГУ им. М. Ф. Решетнева, 2021. – С. 402–404.

3 Логистика : учеб. пособие / В. И. Маргунова [и др.] ; под общ. ред. В. И. Маргуновой. – 2-е изд., испр. – Минск : Выш. шк., 2013 – 508 с.

4 **Puskas, E.** Physical Internet – a Novel Application Area for Industry 4.0 / E. Puskas, G. Bohacs // International Journal of Engineering and Management Sciences (IJEMS). – 2019. – Vol. 4, no. 1.

5 **Montreuil, B.** Toward a Physical Internet: meeting the global logistics sustainability grand challenge / B. Montreuil // Logistics Research. – 2011. – Vol. 3. – P. 71–87.

УДК 656.222/3

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВНЕДРЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ НА НАДЕЖНОСТЬ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕВОЗОЧНЫМ ПРОЦЕССОМ

*А. А. ЕРОФЕЕВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Использование информационных и интеллектуальных технологий в системе управления перевозочным процессом (СУПП), с одной стороны, позволяет снизить затраты на организацию и реа-

лизацию транспортного процесса, а с другой – делает перевозочный процесс зависимым от режимов функционирования информационных систем (ИС). Даже незначительные по продолжительности сбои в функционировании ИС, особенно дорожного уровня, влекут за собой существенные изменения в технологии работы подразделений железнодорожного транспорта, а в критических случаях не позволяют выполнять свои основные функции.

Оценку влияния внедрения интеллектуальных систем на надежность системы управления перевозочным процессом предлагается производить путем определения потенциальных потерь железной дороги, возникающих при сбоях и отказах информационных систем [1].

В настоящее время основным источником информации для управления грузовыми перевозками на Белорусской железной дороге является Информационно-аналитическая система поддержки управленческих решений для грузовых перевозок (ИАС ПУР ГП). Исходные данные для ее функционирования поступают из систем линейного уровня: АСУ С, АРМ ОСТЦ, САПОД, «Неман» и др. Логическая взаимосвязь между решаемыми на разных стадиях управления задачами обеспечивает, с одной стороны, преемственность исходных данных и выходных решений, а с другой – делает решение задач невозможным без полноценного функционирования базы данных грузовых перевозок. Наибольшее влияние неработоспособность ИАС ПУР ГП оказывает на решение задач оперативного управления и оперативного планирования [2].

Переход от ИС к интеллектуальным системам управления перевозочным процессом (ИСУПП) позволяет обеспечить СУПП прогнозной информацией, увеличить глубину планирования и тем самым снизить потенциальные потери железной дороги, которые могут быть вызваны отказами и сбоями в работе ИС [3].

Произведем оценку влияния внедрения интеллектуальных систем управления перевозочным процессом на потенциальные потери железной дороги от отказов и сбоев в ИС и ИСУПП. Для этих целей предлагается следующая методика, которая включает:

- классификатор сбоев, отказов ИС и ИСУПП;
- параметрическую оценку величины рисков возникновения сбоев и отказов;
- параметрическую оценку изменения временных параметров перевозочного процесса при возникновении сбоев и отказов в ИС и ИСУПП;
- экономическую оценку потенциальных потерь железной дороги, которые могут быть вызваны отказами и сбоями в работе ИС.

Отказы и сбои, по степени их влияния на функционирование ИС и ИСУПП на СУПП можно разделить на несколько крупных групп [3]:

- искажения вычислительного процесса и данных, вызывающие полное прекращение выполнения функций системой управления на длительное или неопределённое время;
- отказ, в значительной степени обесценивающий результаты предыдущего функционирования;
- искажения, кратковременно прерывающие функционирование системы и мало искажающие накопленные данные и выдаваемые результаты;
- частичный отказ или длительный сбой, в некоторой степени обесценивающий предыдущие результаты;
- искажения, кратковременные и малоотражающиеся на вычислительном процессе и обрабатываемых данных;
- сбои, практически не обесценивающие результаты функционирования комплекса программ.

При оценке потенциальных потерь железной дороги от отказов и сбоев важно выявить вероятность возникновения того или иного вида отказа, а также длительность восстановления и глубину последствий от возникающих отказов. При оценке этих параметров использован математический аппарат:

- теории вероятности;
- математической статистики;
- теории надежности;
- теории диагностики.

В результате анализа сбоев в зависимости от влияния на СУПП выделены их следующие виды

- 1) задержки, связанные с обработкой запросов в ИС;
- 2) сбои, связанные с неработоспособностью программного комплекса в течение продолжительного времени;
- 3) сбои, связанные с неработоспособностью технических средств.



При экономической оценке влияния сбоев в информационных и интеллектуальных системах на СУПП важно знать не только вероятность сбоя в той или иной системе, но и величину риска влияния этого сбоя на перевозочный процесс. Для этой цели выполнена классификация рисков по различным признакам.

По степени влияния на ПП риски подразделяются:

1) на частичные, когда запланированные показатели, операции, результаты выполнены частично, но без потерь (например, задержки в оформлении поездных документов, не приводящие к задержкам отправления поездов с технических станций);

2) допустимые, когда запланированные показатели, операции, результаты не выполнены, но потерь нет (например, отсутствие возможности оформления перевозочных документов не привело к потерям доходов, так как документы оформлены в более поздний период);

3) критические, когда запланированные показатели, операции, результаты не выполнены, есть определенные потери (например, в связи с невозможностью формирования сортировочного листка возникли дополнительные простои в подсистеме прибытия станции);

4) катастрофические, когда невыполнение запланированного результата влечет за собой разрушение субъекта или невозможность реализации технологического процесса (такие ситуации в данном случае не рассматриваются, т. к. присутствует возможность перехода на ручное оформление документации, хотя и со значительными потерями).

При оценке рисков и связанных с ними потенциальных потерь следует учитывать, что в определенных случаях существует возможность уменьшить негативные последствия путем диверсификации. В зависимости от возможности уменьшения степени риска путем диверсификации риски подразделяются следующим образом:

1) диверсифицируемые, которые могут быть устранены или сглажены за счет диверсификации используемых технологий (навыки ручного ведения поездным диспетчером графика исполненного движения при выходе из строя ГИД, сбор информации для сменно-суточного планирования по телефонным каналам связи и т. п.);

2) недиверсифицируемые, которые нельзя уменьшить путем внедрения «ручных» технологий; для Белорусской железной дороги в чистом виде такие риски отсутствуют.

По времени возникновения рисков можно выделить:

1) риски, возникающие на подготовительной стадии; например: отсутствие технологий работы объекта (станции, депо и т. п.) при неработоспособности ИС и ИСУПП; ошибки на стадии разработки проектной документации, которые приводят к снижению надежности функционирования ниже заданного уровня и т. п.;

2) риски, связанные с созданием объекта: ошибки в разработанном программном обеспечении, закупка оборудования ненадлежащего качества либо закупка оборудования в неполном объеме, несвоевременная подготовка ИТР и рабочих к функционированию систем;

3) риски в связи с функционированием объекта. На этой стадии могут проявиться риски:

а) эксплуатационные – несанкционированный доступ к системе; заражение системы вирусами; дефектные программы и данные, нарушающие работу программного обеспечения;

б) социальные – трудности с набором квалифицированной рабочей силы, угроза забастовок, недостаточный для удержания персонала уровень оплаты труда, недостаточная квалификация кадров;

в) технические – высокий износ оборудования, несвоевременное обновление технических средств.

Частота возникновения потенциальных потерь является важной характеристикой величины риска. Она может измеряться количественно (с помощью вероятностей или статистических частот) либо качественно, т. е. путем экспертного выделения следующих классов:

– *редкие риски*, для которых характерна малая частота реализации риска, т. е. малая вероятность наступления ущерба;

– *риски средней частоты*, для которых характерна средняя частота реализации риска, т. е. средняя вероятность наступления ущерба;

– *частые риски*, для которых характерна высокая частота реализации риска, т. е. высокая вероятность наступления ущерба.

При оценке рисков и связанных с ними потенциальных потерь железной дороги принимается, что системы дорожного уровня находятся в неработоспособном состоянии в течение 1–24 часов.



Большой период нахождения систем дорожного уровня в неработоспособном состоянии представляется маловероятным (за исключением случаев природных и техногенных катастроф, когда возникают затраты непосредственно от самих катастроф, а затраты от неработоспособности ИС и ИСУПП будут опосредованным).

В предлагаемой методике рассматриваются только *допустимые* и *критические* риски. *Частичные* риски не рассматриваются, так как в случаях их наступления дополнительные затраты отсутствуют либо проявляются опосредовано через другие виды рисков. *Катастрофические* риски из рассмотрения также исключены, так как неработоспособность систем дорожного уровня не приводит к разрушению объекта, а реализация функций управления перевозочным процессом остается возможной, хотя и при значительно бóльших затратах.

Все риски возникновения потенциальных потерь, возникающие при аварийном простое информационных систем дорожного уровня будем считать диверсифицируемыми, так как всегда можно разработать такую технологию, которая позволит реализовать функции организации перевозочного процесса без использования систем дорожного уровня, но с большими затратами. То есть при оценке затрат необходимо рассматривать не общие затраты, связанные с невозможностью реализации той или иной функции, а только их определенную долю, связанную с увеличением затрат при использовании «ручных» технологий. При увеличении периода неработоспособности систем дорожного уровня доля таких затрат будет увеличиваться.

Анализ эксплуатационной работы Белорусской железной дороги и технологии выполнения отдельных операций перевозочного процесса позволил установить следующие функции управления, на которые непосредственно влияет работоспособность ИС и ИСУПП:

- оперативное управление поездной работой;
- оперативное управление станционной работой;
- оперативное управление грузовой работой;
- оперативное планирование поездной работы;
- оперативное планирование грузовой работы;
- оперативное планирование станционной работы;
- оперативное регулирование.

Расчет общей величины потенциальных потерь осуществляется по формуле

$$Y = Y_1 + Y_2 + Y_3, \quad (1)$$

где  $Y_1, Y_2, Y_3$  – потери, возникающие в системе оперативного управления, планирования и регулирования.

В общем виде величину потенциальных потерь, возникающих в результате сбоев в системе информационного обеспечения СУПП, можно определить по формуле

$$Y = \sum_{j=1}^t \sum_{i=1}^n e_i \cdot \Delta I_{ij} k_1 k_2, \quad (2)$$

где  $e_i$  – расходная ставка на измеритель эксплуатационной работы;  $\Delta I_i$  – величина изменения  $i$ -го измерителя эксплуатационной работы в результате сбоев в системе информационного обеспечения перевозочного процесса в  $j$ -й час сбоя;  $k_1$  – коэффициент, учитывающий величину изменения натуральных показателей эксплуатационной деятельности дороги при возникновении сбоев в ИС и ИСУПП;  $k_2$  – коэффициент, учитывающий величину риска изменения натуральных показателей эксплуатационной деятельности дороги при возникновении сбоев в ИС и ИСУПП;  $n$  – количество видов потенциальных потерь в рассматриваемой подсистеме;  $t$  – продолжительность сбоя, ч.

При выполнении расчетов производится оценка изменения каждого показателя в отдельности в соответствии с параметрами перевозочного процесса, установленными на втором этапе работы. Для этих целей установлено свыше 30 параметров, по каждому из которых установлены аналитические зависимости их изменения от продолжительности сбоя в информационных системах, а также определены значения величины и частоты риска их изменения.

В связи с этими факторами необходимо определить величину изменения каждого из показателей при возникновении сбоев в ИАС ПУР ГП.

При установлении показателей использовались инструменты исследования:

- фактические показатели работы подразделений Белорусской железной дороги и их сопоставление со статистикой сбоев, связанных с неработоспособностью программного комплекса;
- статистические данные по эксплуатационной надежности станций;
- программный комплекс имитационного моделирования технологического процесса переработки транзитного вагонопотока на железнодорожной сортировочной станции «ПК ИМ ТП ПТВ ЖДС» (свидетельство о регистрации № С20110009; заявл. 26.01.2011; зарегистр. 10.02.2011 // Нац. центр интеллектуальной собственности Респ. Беларусь. – 2011);
- экспертные данные, полученные в результате обсуждения с оперативными работниками и руководством различных уровней.

Для экономической оценки влияния используется метод расходных ставок. Величины расходных ставок принимались согласно Методическим рекомендациям по расчету экономических параметров, позволяющим оценить технологические процессы эксплуатационной работы основного вида деятельности – «Деятельность железнодорожного транспорта» (приказ от 17.12.2018 № 333Н).

Зависимость суммарной величины ущерба для Белорусской железной дороги от продолжительности сбоев в ИАС ПУР ГП и ИСУПП приведена на рисунке 1.

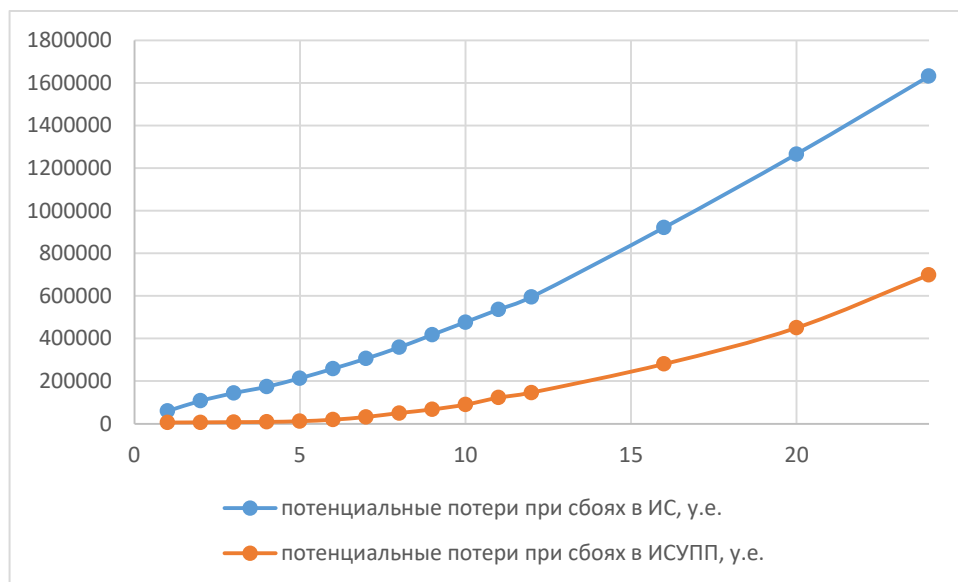


Рисунок 1 – График зависимости величины потенциальных потерь железной дороги от продолжительности сбоев в ИАС и ИСУПП

Анализ структуры величин потенциальных потерь в зависимости от продолжительности сбоев в ИАС или ИСУПП позволяет сделать следующие выводы.

1 При решении задач оперативного управления в СУПП переход от информационных к интеллектуальным системам позволяет снизить потенциальные потери железной дороги на 30–55 % за счет наличия предварительно сформированных текущих планов и возможности использования в период сбоев прогнозной информации.

2 При решении задач оперативного планирования ИСУПП позволяет снизить потенциальные потери в 4,5–7,5 раз (при периоде сбоя, равном 24 часа) за счет увеличения глубины планирования.

Таким образом, переход от информационных к интеллектуальным планирующим системам позволяет снизить потенциальные потери от сбоев в ИАС дорожного уровня не менее чем в 2,3 раза.

С целью снижения величины рисков и ущерба в системе организации перевозочного процесса на железной дороге при возникновении сбоев в информационных системах дорожного уровня необходимо предусматривать предупредительные меры и профилактические мероприятия.

Дополнительно можно рекомендовать следующие меры и мероприятия.

1 Создание полноценных резервов программно-аппаратных комплексов, в том числе создание «горячего» и «холодного» резервов.

2 Внедрение мероприятий по уменьшению времени восстановления программно-технических комплексов. К таким мероприятиям можно отнести разработку и внедрение эффективных программных тестов и контрольной аппаратуры, построение устройств на типовых унифицированных блоках с созданием их резерва; повышение квалификации обслуживающего персонала, в том числе путем проведения специализированных курсов повышения квалификации и тематических учений.

3 Резервирование каналов связи между вычислительным центром и основными пользователями, в первую очередь ЦУП.

4 Разработка технологий работы линейных предприятий в условиях отсутствия связи с ИРЦ дороги. К ним можно отнести безмашинное формирование поездной документации и станционной отчетности, ведение графиков исполненного движения, формирование сортировочных листков, натуральных листов на поезд и т. п.

#### Список литературы

1 Ерофеев, А. А. Влияние сбоев в информационно-управляющих системах на перевозочный процесс / А. А. Ерофеев // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2017. – № 1 (34). – С. 46–50.

2 Ерофеев, А. А. Разработка интеллектуальной системы управления перевозочным процессом на Белорусской железной дороге / А. А. Ерофеев, О. А. Терешенко, В. В. Лавицкий // Железнодорожный транспорт. – 2020. – № 6. – С. 74–77.

3 Ерофеев, А. А. Информационные технологии на железнодорожном транспорте : учеб.-метод. пособие : в 2 ч. Ч. 2 / А. А. Ерофеев, Е. А. Федоров. – Гомель : БелГУТ, 2015. – 256 с.

УДК 656.073

### РЕАЛИЗАЦИЯ УСЛУГИ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ГРУЗОТРАНСПОРТИСТОВ ЗАПОРНО-ПЛОМБИРОВОЧНЫМИ УСТРОЙСТВАМИ И ЗАКРУТКАМИ НА БАЗЕ ТЕРРИТОРИАЛЬНЫХ ЦЕНТРОВ ФИРМЕННОГО ТРАНСПОРТНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

*Д. И. ЖУРАВЛЕВ, Н. Х. ВАРЛАМОВА*

*Самарский государственный университет путей сообщения, Российская Федерация*

Запорно-пломбировочные устройства (ЗПУ) предназначены для запираения и пломбирования железнодорожных грузовых вагонов и контейнеров, подлежащих пломбированию в соответствии с Правилами перевозок грузов железнодорожным транспортом, а также для контроля и предотвращения несанкционированного доступа к перевозимому грузу.

В соответствии со статьей 28 Устава загруженные вагоны, контейнеры должны быть опломбированы ЗПУ. Перечень типов запорно-пломбировочных устройств, применяемых для пломбирования вагонов и контейнеров при перевозках грузов, осуществляемых ОАО «РЖД», представлен на рисунке 1.

Для пломбирования вагонов и контейнеров при перевозках грузов, осуществляемых ОАО «РЖД», применяются запорно-пломбировочные устройства следующих типов:

- 1. Универсальные ЗПУ:**  
«Блок-Гарант», «Блок-Гарант М», «ОХРА-1», «Спрут-777», «Спрут-777М», «ТП 2800-02».
- 2. Универсальные ЗПУ ограниченного использования:**  
«ЛавР-Гарант-2М-8», «Спрут-Универсал-8»
- 3. Стержневые ЗПУ:**  
«Клещ-60СЦ», «ЛавРиК», «ТП 1200-01»
- 4. Специализированные ЗПУ:**  
«Газ-Гарант», «Скат», «ТП 350-01»
- 5. Запорные устройства:**  
«Закрутка», «Закрутка-Фал».



Рисунок 1

Целью работы является реализация услуги по обеспечению грузоотправителей качественными по всем параметрам безопасности, запорно-пломбировочными устройствами и закрутками на базе территориальных центров фирменного транспортного обслуживания.

Как известно, перевозка грузов в железнодорожном сообщении в вагонах, контейнерах без ЗПУ не допускается. Штатное вскрытие запорно-пломбирующего устройства обеспечивается специальными приспособлениями (кусачками, тросорезами и др.), предназначенными для этой цели, с обеспечением сохранности и исправности запорных устройств вагонов и контейнеров. Перерегистрация ЗПУ осуществляется путем внесения изменений в регистрационные сведения о ЗПУ работником регионального отдела учета и контроля оборота ЗПУ (по заявке владельца ЗПУ). Реестр выдается каждому грузоотправителю (отправителю) при регистрации/перерегистрации.

В соответствии с Общими требованиями к запорно-пломбировочным устройствам механическим, применяемым для пломбирования грузовых вагонов и контейнеров на железнодорожном транспорте Российской Федерации, не допускается применение для опломбирования вагонов и контейнеров ЗПУ с истекшим сроком хранения, неисправных, ЗПУ с идентификационными номерами, не внесенными в электронную базу данных перевозчика или числящихся утраченными.

На сегодняшний день для грузоотправителей отсутствует система оказания услуг ОАО «РЖД» «в одно окно». У грузоотправителей появляются дополнительные затраты временных ресурсов и денежных средств на поиски пунктов продажи запорно-пломбировочных устройств, их приобретение и доставку до мест погрузки груза. Имеются риски по покупке товара у незаконных дилеров. В связи с этим предлагается, что ТЦФТО будет выступать в роли гаранта поставки запорно-пломбировочных устройств и закруток для грузоотправителей до пунктов выдачи – «Постаматов», максимально приближенных к местам загрузки грузов в вагоны. Клиенту только требуется заключить дополнительный договор с ТЦФТО. Все затраты, связанные с перевозкой их грузов, будут проходить через Единый лицевой счет. Таким образом, предлагается установить данные постаматы на станциях. Между владельцами ЗПУ (дилерами) и ТЦФТО будут заключены агентские договоры. Дилеры, в соответствии с заключенным агентским договором, будут обязаны своевременно доставлять ЗПУ до пунктов выдачи. Кроме того, на основании анализа реализации ЗПУ выяснилось, что в пунктах выдачи они могут находиться с определенным запасом, что будет дополнительно экономить время на предоставление данной услуги. Реестр как документ, удостоверяющий регистрацию ЗПУ, будет присылаться грузоотправителю в электронном виде. Функция регистрации ЗПУ будет оставаться также за дилерами.

Повысится безопасность перевозимого груза за счет исключения некачественных ЗПУ у грузоотправителя. Качественные показатели данной услуги:

- надежность и безопасность перевозки;
- повышение уровня клиентоориентированности;
- cross– sell продажи транспортно– логистических услуг;
- цифровая трансформация услуги; машинное обучение;
- проактивные продажи;
- up– sell комплекса продаж;
- недопущение к использованию некачественных и контрафактных ЗПУ;
- информатизация в подборе ЗПУ (для клиента);
- бесплатная доставка (для клиента).

В среднем, например на станции Круглое Поле, на вагоны навешивалось 295 250 ЗПУ в год. При средней стоимости одного ЗПУ 129 руб., одной закрутки – 90 руб. грузоотправители потратили на ЗПУ 38087250 руб. Агентское вознаграждение от принципала для Куйбышевского ТЦФТО будет составлять 10 % (договорной показатель) от стоимости ЗПУ. Таким образом, дополнительная прибыль для ОАО «РЖД» в год только от этой станции составит более трех миллионов рублей.

#### Список литературы

- 1 Гудок [Электронный ресурс] : офиц. сайт. – Режим доступа : <https://www.gudok.ru>. – Дата доступа : 05.05.2022.
- 2 Устав железнодорожного транспорта Российской Федерации : Федер. закон от 10.01.2003 N 18-ФЗ [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_40444/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_40444/). – Дата доступа : 20.02.2022.
- 3 Правила перевозок грузов железнодорожным транспортом. Сборник – книга 1. – М. : Юртранс, 2003. – 712 с.
- 4 Технические условия размещения и крепления грузов в вагонах и контейнерах. – М. : Юртранс, 2003. – 544 с.
- 5 Обеспечение грузовых перевозок на железнодорожном транспорте : учеб. пособие / Е. Н. Клименко. – М. : Учеб.-метод. центр по образованию на ж.-д. трансп., 2017. – 125 с.

## **МЕТОД ОЦЕНКИ СООТВЕТСТВИЯ УРОВНЯ ПОДГОТОВКИ КАНДИДАТА В КАДРОВЫЙ РЕЗЕРВ РУКОВОДИТЕЛЕЙ ТРАНСПОРТНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ**

*А. Г. ЗЕНКЕВИЧ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

При формировании кадрового резерва руководителей, в условиях высокой конкуренции, наниматель вынужден принимать важное и ответственное решение, от которого в дальнейшем будет зависеть не только социально-психологический климат в коллективе, но и эффективность трудовой деятельности транспортного предприятия. В данном случае необходимо учитывать не только профессиональные качества руководителей разного уровня (высший, средний и низовой), являющихся претендентами на определенную вышестоящую должность, но и рассматривать также личные качества претендентов: дружелюбность, общительность, исполнительность, пунктуальность, ответственность, умение работать в команде. Необдуманное решение или ошибка могут привести к неоправданным материальным затратам либо другим негативным последствиям.

Процесс формирования кадрового резерва руководителей транспортного предприятия необходимо рассматривать как процесс управления в сложной социальной системе. Здесь в качестве объектов выступают, с одной стороны, транспортное предприятие, с другой – претенденты на вышестоящую должность, обладающие соответствующими уникальными компетенциями (профессиональными, личностными). Автоматизировать данный процесс, разработав универсальную формализованную модель, невозможно, т. к. в различных предприятиях свои специфические требования к кандидатам на вышестоящие руководящие должности. В то же время есть смысл говорить о повышении эффективности управления этим процессом, если на базе разработки метода оценки соответствия уровня подготовки кандидата в кадровый резерв руководителей транспортного предприятия создать систему поддержки принятия решений.

В настоящее время имеются подходы, которые позволяют осуществлять подбор кандидатов в кадровый резерв руководителей транспортного предприятия без использования формализованных методов оценки уровня подготовки претендента на должность. Однако, чтобы создать интеллектуальную систему поддержки принятия решений (далее – ИСППР) для управления подбором кандидатов в кадровый резерв руководителей, необходимо оценить уровень подготовки будущих руководителей.

Сегодня на одну руководящую должность претендуют несколько работников, обладающих разными индивидуальными профессиональными и личностными качествами. Выбор работника из нескольких претендентов в области организационного управления персоналом является одной из самых сложных и ответственных задач.

Для разработки метода оценки соответствия уровня подготовки кандидата в кадровый резерв руководителей транспортного предприятия и описания процесса подбора работников необходимо дать определение ряду понятий, которыми мы в дальнейшем будем оперировать.

Специалист – работник, который наиболее соответствует требованиям нанимателя и в отношении которого принято решение о включении его в кадровый резерв руководителей.

Претендент – работник, который может быть включен в кадровый резерв руководителей.

Кандидат – работник, который отобран в кадровый резерв руководителей из нескольких претендентов.

Подбор персонала – процесс выявления из нескольких претендентов в кадровый резерв руководителей одного или нескольких работников, наиболее полно удовлетворяющих установленным требованиям, и принятие решения об их включении в состав кадрового резерва руководителей транспортного предприятия.

Эксперты – специалисты, занимающиеся подбором работников в кадровый резерв руководителей транспортного предприятия.

Профессиональный процесс подбора работников в кадровый резерв руководителей транспортного предприятия может включать:

- 1) принятие решений о необходимости подбора работников в кадровый резерв руководителей;

- 2) определение методов поиска претендентов в кадровый резерв руководителей;
- 3) анализ рекомендаций претендентов в качестве кандидатов в кадровый резерв руководителей;
- 4) проведение первичного собеседования с претендентами и анкетирование претендентов на роль кандидатов в кадровый резерв руководителей УВО;
- 5) оценку профессиональных и личностных качеств, отбор кандидатов в кадровый резерв руководителей;
- 6) проверка отзывов, рекомендаций и анкетных данных кандидатов в кадровый резерв руководителей;
- 7) принятие решения о включении кандидата в кадровый резерв руководителей.

Не всегда возникает необходимость проводить все вышеописанные этапы подбора работников в кадровый резерв руководителей транспортного предприятия.

Эксперты, которые занимаются отбором кандидатов, изучая представленные претендентами документы, затрачивают много времени.

Иначе невозможно получить представление о возможностях дальнейшего профессионального роста претендентов и дать объективную оценку уровня их профессиональных и личностных качеств. Автоматизированная информационная поддержка, а точнее методы управления процессом подбора персонала не могут быть реализованы на всех семи этапах. С высокой степенью эффективности их можно реализовать только на этапах 3–7. Однако следует отметить, что не всегда можно получить достоверные результаты с помощью традиционного подхода оценки уровня компетентности и личностных качеств претендентов (анкетирование, тестирование, беседы и т. д.).

В настоящее время получил активное развитие компетентностный подход к описанию деятельности специалиста (руководителя). Понятие компетентности относится к показателям труда и связано с теми факторами, которые влияют на высокий уровень индивидуальных результатов работы и, следовательно, эффективности организации. Соответственно, компетентным работником является тот, кто удовлетворяет ожидания нанимателей и способен использовать свои знания, навыки и свойства личности для достижения установленных целей и стандартов. Факторы компетентности являются «подтвержденным критерием», то есть они получены в результате анализа ключевых аспектов поведения или навыков, которые отличают эффективное выполнение работы от менее эффективного, для чего, в первую очередь, определяется, каким набором компетенций должен обладать специалист (руководитель).

Таким образом, процесс оценки соответствия уровня подготовки претендентов требованиям нанимателя целесообразно проводить с использованием ИСППР. В основу ИСППР должна быть положена комплексная модель претендента, формирование параметров экземпляра которой осуществляется с использованием интеграции методов анкетирования и тестирования. Экземпляр модели, формируемый в процессе анкетирования и тестирования, в целях повышения эффективности необходимо дополнить рядом формализованных данных, получаемых в процессе анализа комплекта документов претендента и собеседования с экспертами. Это позволит получить объективную оценку соответствия уровня подготовки претендентов требованиям нанимателя, а также сократить затраты времени на сбор и обработку результатов собеседования претендента с экспертом на базе использования интеллектуальных информационных технологий.

УДК 656.13.08

## **УПРАВЛЕНИЕ ГОРОДСКОЙ МОБИЛЬНОСТЬЮ СНИЖЕНИЕМ ПОТРЕБНОСТИ В ПЕРЕДВИЖЕНИЯХ**

*С. Н. КАРАСЕВИЧ, А. В. РОГОВАЯ*

*Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва*

Города и мегаполисы являются центрами экономического развития и становятся всё более урбанизированными. Высокие темпы урбанизации влекут за собой экономические и социальные издержки, связанные с перемещениями, дорожно-транспортную аварийность и другие угрозы для жизни и здоровья человека, вызывают перегруженность транспортной инфраструктуры, загрязне-

ние окружающей среды, повышение уровня шумового воздействия. Особенно остро данные проблемы проявляются в крупнейших городских агломерациях. Состояние транспортных систем и подходов к организации дорожного движения в крупнейших городах в настоящее время не удовлетворяет потребности современного общества. В современных условиях урбанизация требует поиска и реализации решений проблемы эффективной и безопасной мобильности жителей городов. Востребованы новые подходы в области организации дорожного движения и механизмов управления транспортными системами крупных городов, мегаполисов, агломераций. Согласно целям устойчивого развития ООН к 2030 году планируется, что все смогут пользоваться безопасными, недорогими, доступными и экологически устойчивыми транспортными системами на основе повышения безопасности дорожного движения, расширения использования общественного транспорта.

Традиционные подходы к решению основных транспортных проблем крупнейших городов наряду с активным развитием систем общественного пассажирского транспорта предусматривают применение вынужденных мер по организации дорожного движения, связанных с введением платы за пользование транспортной инфраструктурой (платная парковка, платный въезд в центр города и т. п.), введение ограничений или запрета для движения транспортных средств на определенные городские территории, изменение режима (времени начала и конца) работы предприятий и организаций в часы пик и многие другие. Однако все существующие действенные подходы и мероприятия в условиях продолжающегося массового многоэтажного строительства жилых домов и кварталов в мегаполисах и крупных городах не позволяют обеспечить эффективное и радикальное решение транспортных проблем, связанных с перегрузкой улично-дорожной сети, подвижного состава городского пассажирского транспорта и т. д. Вопросы, касающиеся регулирования транспортного спроса в крупнейших городах, по-прежнему остаются открытыми, и видна необходимость сокращения генерации транспортного спроса за счет реализации наиболее действенных подходов и мероприятий по организации дорожного движения.

Влияние градостроительных факторов на формирование транспортного спроса доказано во многих исследованиях и не требует дополнительных подтверждений. Транспортное поведение населения формируется под воздействием социально-экономических и градостроительных факторов, что требуется учитывать при разработке решений по организации дорожного движения, а также на стадиях транспортного и градостроительного планирования. Транспортная подвижность населения возрастает с увеличением численности населения в городах, что объясняется расширением городской территории, возрастает средняя дальность передвижения.

Известно, что многие горожане не могут гибко выбирать время поездок, место проживания и работы и добираются до работы и обратно в течение длительного времени. Потери времени пассажирами на передвижения зачастую значительно превышают допустимые нормы, провозная способность городского пассажирского транспорта снижается. Нередко в таких городах, как Москва, Санкт-Петербург и других, только время поездки к месту работы составляет 2 часа и более, что влечет за собой значительные издержки для горожан и общества в целом. При пятидневной рабочей неделе житель проводит в пути на работу и обратно 20 часов в неделю (80 часов в месяц). При этом существует ли объективная потребность ежедневно приезжать на рабочее место каждому сотруднику или есть разумная и рациональная альтернатива организации трудовой деятельности частично или в полном объеме удаленно? Сегодня развитие современных информационных технологий и различных программных средств позволяют решать многие производственные и другие задачи удаленно.

В этой связи особую актуальность приобретает утверждение о том, что необходимо организовать социально-экономическую деятельность (трудовую, учебную и т. д.) в городе так, чтобы уменьшить потребность в транспорте и в нерациональных передвижениях. В крупных городах и мегаполисах назрела необходимость оптимизировать общую подвижность населения с трудовыми и иными целями. Повышение эффективности функционирования городских транспортных систем достигается рациональной и слаженной работой всех составляющих, обеспечивающих планирование, организацию и функционирование системы.

Следует заметить, что имеется неизученный опыт произошедших изменений в городской мобильности в условиях распространения COVID-19, когда во многих случаях трудовая и учебная деятельность были организованы удаленно, что существенно отразилось на объеме трафика, экологических показателях и показателях безопасности дорожного движения в городах. Даже без изучения данного опыта очевидно возможен и востребован новый формат организации городской мобильно-

сти, предусматривающий корректировку графиков работы сотрудников и предоставление им рабочих дней с удаленной работой. Безусловно, при внедрении нового формата организации мобильности к местам приложения труда или учебы не должна падать производительность труда, не должны меняться экономические и иные показатели деятельности предприятий и организаций.

Предлагаемая новая модель организации мобильности в крупных городских агломерациях и мегаполисах имеет большие потенциальные возможности эффективно управлять транспортным спросом и позволяет обеспечить равномерное распределение нагрузки на городскую транспортную инфраструктуру. Вместе с этим предложенный подход к управлению транспортным спросом создает масштабный мультипликативный эффект, который включает в себя суммарно очевидные выгоды для работника, работодателя, города и общества в целом.

Мультипликативный эффект выражается в снижении экономических, экологических, аварийных и социальных издержек и появлении резервов повышения производительности труда за счет сокращения затрат времени на перемещения и появление дополнительного времени на развитие всех участвующих в рассматриваемой системе сторон. При этом стоит отметить, что существует латентная заинтересованность всех сторон в реализации предложенного решения.

Новая концепция управления городской мобильностью позволяет гражданам изменять свой выбор в отношении поездок.

В связи с вышеизложенным первоначально актуальны обосновывающие расчеты на примере конкретных организаций и предприятий, учитывающие в своей совокупности экономические, экологические и социальные эффекты, и оценка уровня повышения безопасности дорожного движения за счет сокращения нерациональных передвижений. Востребована разработка общей методологии реализации предложенного решения и видна целесообразность использовать гибкий индивидуальный подход, учитывающий интересы всех сторон: работника, работодателя и общества в целом. Организация городской мобильности в новом формате потребует институциональных преобразований и принятия новых правовых актов, регламентирующих, в частности, трудовую деятельность.

Представляется, что внедрение предложенного решения на большинстве организаций и предприятий позволит радикально повлиять на транспортную ситуацию в городе и значительно снизит экономические, экологические, аварийные и социальные потери общества в дорожном движении. Дополнительные улучшения городской мобильности населения обеспечиваются за счет приоритетного комплексного развития всех систем общественного транспорта и иных традиционно применяемых методов по организации дорожного движения в крупных городах и мегаполисах.

УДК 656.225

## **ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕВОЗКИ ДЛИННОМЕРНЫХ ГРУЗОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ ТРАНСПОРТОМ**

*Н. М. КАТЧЕНКО, Е. А. ГОПОВА*

*Белорусская железная дорога, г. Минск*

*М. Г. ГЕГЕДЕШ, С. А. ПЕТРАЧКОВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Основной нормативный документ, регламентирующий размещение и крепление грузов на открытом железнодорожном подвижном составе – Технические условия размещения и крепления грузов (Приложение 3 к Соглашению о международном железнодорожном грузовом сообщении (СМГС)) (далее – ТУ). В соответствии с ними для крепления отдельных грузовых мест в вагонах применяются стандартные устройства, а именно: растяжки, обвязки, стяжки (в том числе многозвенные), увязки, деревянные стойки, бруски и щиты, упорные башмаки, «шпоры», каркасы, каскеты, пирамиды, ложементы, турникетные устройства. При установке элементов крепления и крепежных устройств используются стандартные крепежные изделия, например болты, шпильки, гвозди, строительные скобы. Расчет количества этих средств крепления осуществляется по методике, приведенной в ТУ. Данная методика не учитывает свойств грузов, позволяющих значительно уменьшить нагрузку на средства крепления. Одним из таких свойств является упругость (внутренняя упру-



гость). К грузам с высокой внутренней упругостью можно отнести прокат сортовой стали (арматура, круг, квадрат, шестигранник, сталь полосовая, уголок, швеллер и др.), рельсы, трубы малого диаметра, сваи металлические и др.

В соответствии с ТУ прокат сортовой стали перевозят на открытом подвижном составе (платформы, полувагоны, транспортеры). Груз формируют в связки. Отдельные единицы сортовой стали в связке размещают параллельно без перекрещивания или в пачках (далее – связки). Каждую связку сортовой стали (профиль до 180 мм включительно) увязывают поперечными увязками из проволоки диаметром не менее 6 мм в две нити при длине металла до 6000 мм в двух местах, а при большей длине – в трех местах. Допускается увязывать механизированным способом связки длиной до 6000 мм поперечными увязками из проволоки диаметром не менее 6,5 мм в одну нить в четырех местах, а при большей длине – в шести местах. Каждую связку сортовой стали (профиль более 180 мм) увязывают поперечными увязками из проволоки диаметром не менее 6 мм в две нити в двух местах при длине связки до 9000 мм, а при большей длине – в трех местах. Допускается увязывать механизированным способом связки длиной до 9000 мм поперечными увязками из проволоки диаметром не менее 6,5 мм в одну нить в четырех местах, а при большей длине – в шести местах.

Арматурную сталь в связках длиной 15000 или 18000 мм размещают в полувагоне с открытыми торцевыми дверями в два-три яруса симметрично относительно плоскостей симметрии вагона с прикрытием с обеих сторон порожнями или загруженными попутным грузом платформами сцепа (рисунок 1).

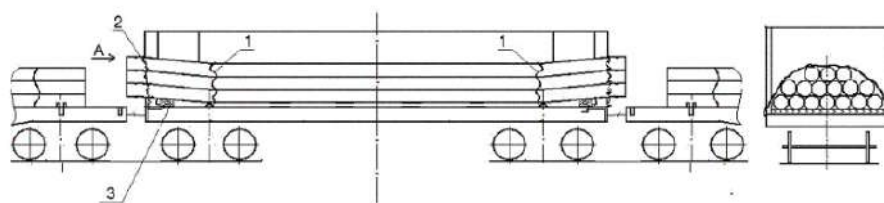


Рисунок 1 – Схема размещения и крепления арматурной стали длиной 15000 или 18000 мм в полувагоне:  
1 – обвязка; 2 – обвязка торцевая; 3 – подкладка поездов

К длинномерным относятся грузы, которые при погрузке в вагон выходят за пределы одной или обеих его концевых балок рамы более чем на 400 мм. Длинномерные грузы размещают на сцепе вагонов с опорой на один вагон или с опорой на два вагона в зависимости от их длины и массы. Сцеп вагонов может состоять из грузонесущих вагонов, вагонов прикрытия и промежуточных вагонов. Вагоны прикрытия могут загружаться грузом, следующим в адрес того же получателя. Размещение длинномерных грузов на сцепе с опорой на два вагона производится с применением турникетов (рисунок 2).

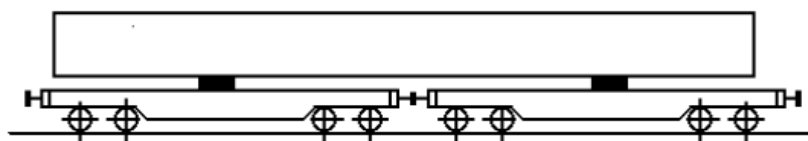


Рисунок 2 – Схема размещения и крепления длинномерного груза с опорой на два вагона

Турникет – это комплект опорно-крепёжных устройств (турникетных опор), предназначенный для компенсации всех видов усилий, действующих на груз в процессе перевозки, а также для обеспечения безопасного прохождения сцепа по криволинейным участкам пути и участкам с переломным профилем при различных режимах движения. Применяются турникеты двух видов: неподвижные турникеты, обеспечивающие неподвижное закрепление груза в продольном направлении относительно одной из грузонесущих платформ; подвижные турникеты, обеспечивающие закрепление груза на двух грузонесущих платформах с возможностью ограниченного продольного перемещения груза относительно обеих платформ.

Однако некоторые грузы за счет своей упругости перевозятся с опорой на два вагона без применения турникетных опор. Например, рельсы размещают на сцепе из двух платформ (рисунок 3). Разница в высоте пола платформ сцепа в порожнем состоянии не должна превышать 25 мм.

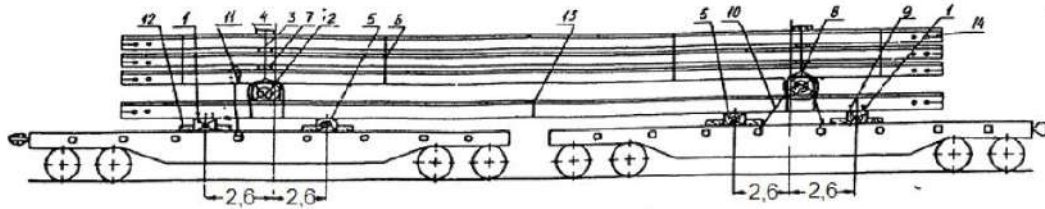


Рисунок 3 – Схема размещения и крепления рельсов длиной 25000 на платформе:

1 – подкладка; 2 – утолщенная прокладка; 3 – увязка; 4 – деревянная накладка; 5 – подкладка с металлической накладкой; 6 – увязка; 7 – прокладка; 8, 9 – железнодорожные костыли; 10 – растяжка; 11 – растяжка; 12 – упорный брусок; 13 – увязка; 14 – торцевая увязка

До погрузки рельсов на каждую платформу сцепы на расстоянии 2600 мм от поперечной плоскости симметрии платформы укладывают подкладки поз. 1 и поз. 5 (см. рисунок 3). Подкладка (поз. 1) может состоять из одного деревянного бруса размером 150×250×2700 мм или быть составной из двух брусков сечением 145×135 мм, уложенных в пазы из трех отрезков швеллера № 30, два из которых размещают по концам подкладки, а один – в середине. Подкладка (поз. 5) может состоять из одного бруса размером 145×250×2700 мм или быть составной из двух брусков размерами 140×135×2700 мм. Сверху на подкладку (поз. 5) прибивают 15 гвоздями длиной 100 мм металлическую накладку размером 4×150×2700 мм. Вместо деревянной подкладки (поз. 5) может применяться рельс Р50, укладываемый на четыре рельсовые подкладки КБ-50, или шахтная стойка, размещаемая на четырех рельсовых подкладках КБ-65. При этом высота подкладки (поз. 5) не должна превышать высоту подкладки (поз. 1). Рабочая поверхность подкладки (поз. 5) должна быть обильно смазана для повышения скольжения. Каждую подкладку (поз. 1) и (поз. 5) закрепляют четырьмя упорными брусками (поз. 12) размером не менее 50×150×270 мм. Каждый брусок закрепляют к полу платформы пятью гвоздями диаметром 5 мм и длиной не менее 100 мм.

В настоящее время отсутствует теория, позволяющая определить возможность перевозки длинномерных грузов с опорой на два вагона без использования турникетных опор.

*Работа выполнена при поддержке БРФФИ (проект № T22M-073).*

#### Список литературы

1 Технические условия размещения и крепления грузов. Приложение 3 к Соглашению о международном железнодорожном грузовом сообщении: по состоянию на 1 июля 2022 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [https://www.railway.ge/app/uploads/2022/07/Pril-3-SMGS\\_Tom-1\\_2022-PDF.pdf](https://www.railway.ge/app/uploads/2022/07/Pril-3-SMGS_Tom-1_2022-PDF.pdf). – Дата доступа : 20.08.2022.

УДК 656.212.5:656.2.08

### ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ РАБОТЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТАНЦИЙ ЗА СЧЕТ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ КОМИССИОННЫХ МЕСЯЧНЫХ ОСМОТРОВ

*В. Г. КОЗЛОВ, О. А. ТЕРЕЩЕНКО, М. А. КИЛОЧИЦКАЯ, Ю. О. ЛЕИНОВА, А. А. СТРАДОМСКАЯ  
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В рамках цифровой трансформации перевозочной деятельности Белорусской железной дороги сотрудниками научно-исследовательской лаборатории «Управление перевозочным процессом» вместе со специалистами железной дороги разработана и в настоящее время проходит опытную эксплуатацию автоматизированная система «Комиссионный месячный осмотр» (АС КМО). Организация и проведение комиссионных месячных осмотров железнодорожных станций является одной из ключевых задач системы обеспечения безопасности движения на железнодорожном транспорте, автоматизация которой позволит повысить эффективность принятия соответствующих управленческих решений.

На первой стадии разработки изучен опыт и произведен системный бизнес-анализ процессов организации и проведения КМО на железнодорожных станциях различных категорий. В результате

лабораторией разработаны соответствующие НТПА, регламентирующие процесс проведения КМО с учетом реализации адаптивного механизма идентификации значений параметров неисправностей элементов инфраструктуры. Разработан классификатор неисправностей, необходимых для однозначной идентификации объектов проведения КМО, комплекса технических средств железнодорожной станции, возможных неисправностей технических средств и нормативов их устранения. В основе АС КМО применяется трехуровневая система классификации, которая позволяет автоматически формировать акты проведения КМО в унифицированной форме для всех железнодорожных станций, осуществлять контроль и проводить системный анализ полученных результатов. При этом параметры объекта станции могут зависеть друг от друга, отсутствовать в базе данных или иметь значение, отличное от классификатора.

Для оптимизации процесса формирования акта, уменьшения количества операций, связанных с набором значений параметров объектов и их неисправностей, разработаны карта возможных состояний объектов инфраструктуры и адаптивный механизм идентификации значений параметров в классификаторе. Адаптивный механизм идентификации позволит на основе карты возможных состояний по части вводимых параметров объекта инфраструктуры автоматически определить и сформировать значения остальных его параметров. Это унифицирует и ускоряет процесс формирования акта КМО о неисправностях объекта инфраструктуры железнодорожной станции. Необходимо отметить, что адаптивный механизм идентификации построен на концепции создания гибких цифровых систем. При изменении классификатора или карты возможных состояний объектов не требуется вносить изменения в программное обеспечение или базу данных АС КМО – механизм автоматически настроится к новым входным (исходным) данным. При этом изменения не коснутся предыдущих результатов КМО, а при анализе будут учитываться все варианты и изменения классификатора. Это позволит проводить комплексный план-факторный анализ и оперативный контроль технического состояния инфраструктуры станций.

Внедрение АС КМО на Белорусской железной дороге сократит технические и трудовые ресурсы при проведении комиссионных месячных осмотров железнодорожных станций, расширит инструментарий анализа и постоянного контроля, увеличит прозрачность организационно-отчетных процедур в системе КМО. 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 одновременно с решением задач повышения безопасности перевозочной деятельности.

УДК 656.078

## **ОБЕСПЕЧЕНИЕ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ МУЛЬТИМОДАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ**

*О. В. КОРНЕЕВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В связи с увеличением численности, площади городских поселений, протяженности маршрутов система смешанных перевозок перестает справляться с задачей ввиду увеличения времени доступа [6]. Требования рынка к срокам доставки товаров, как и доставки пассажиров, сводятся к интервалу от 20 до 60 минут. Об этом свидетельствует устойчивый спрос на услуги такси, средства индивидуальной мобильности и доставку товаров до 1 час [5, 7].

Временные затраты на перемещение эволюционно смещаются в сторону комфортного интервала – 30 минут. Это соответствует описанию постоянной Маркетти [1], которая говорит о стремлении человека выбирать свое положение в пространстве с учетом постоянных перемещений длительностью, близкой к 30 минутам. Другими словами, комфортная для человека затрата времени на перемещение в пункт назначения составляет в среднем 30 минут. Соответственно, появление и выбор способа перемещения (пешеходный, водный, гужевой, рельсовый, автомобильный, воздушный) зависит от способности произвести доставку в комфортные сроки, коррелирует с научно-техническим, технологическим, пространственным развитием.

В любом крупном городе существуют различные виды транспорта, свойственные месту его использования, подчеркивающие отличительные особенности транспортного средства и эффективную эксплуатацию. Перевозка является процессом и способна протекать в соответствующих условиях или в соответствующей транспортной системе, например, единой транспортной системе [3].

Основным механизмом регуляции любых процессов в государстве, городе, предприятии являются федеральные законы, уставы транспорта, ГОСТы, своды правил и т. п. Основной задачей нормативного документа является регламентация деятельности в рамках подведомственных структур, которые описаны в документе, для сокращения рисков, присущих соответствующим процессам области применения документа или серийном производстве.

В каждом документе существует статья понятийного аппарата, на который опирается нормативный документ. Фокус, направленность нормативного документа, лежит в описании его основных понятий. Понятия и определения описывают сложившиеся во времени наиболее выгодные в эксплуатации свойства объекта регламентации.

Для того чтобы предоставить эффективное в обороте определение, необходимо понимать и представлять, зачем это нужно, как будет взаимодействовать описываемый предмет регламентации в рамках объекта регламентации. Для сокращения рисков существует моделирование процессов, помогающее понять взаимодействие предметных областей в объекте регламентации.

Таким образом, в организации мультимодальных транспортных систем можно выделить основные аспекты формирования правового обеспечения, показанные на рисунке 1.



Рисунок 1 – Аспекты правового обеспечения мультимодальной транспортной системы

Основным свойством данной схемы является способность проверки и идентификации направленности, дееспособности создаваемого нормативного документа, посредством сравнения промежуточных результатов в рамках показанных прямых и обратных связей. Понятия и определения должны включать предмет формализации. Другими словами, если предметом формализации являются «регулярные перевозки пассажиров и багажа» [4], то понятия и определения будут гарантированно содержать пункты, соответствующие данной тематике: пассажир, перевозчик, график, остановочный пункт и т. д. Появление определений (внутренние воды, токоприемник) не логичны для этой части закона.

Например, цель законопроекта можно также понять из определений, которые отражены в статье 2 [2]. Данный набор определений свидетельствует о направленности законопроекта на отражение правовых основ регулирования отношений, возникающих между участниками. На это указывают названия статей законопроекта основной части. Закон не регламентирует технологию перевозочного процесса или правила перевозки в комплексе, например, как [4]. Изначально формулировка понятия «прямое смешанное сообщение – перевозка грузов, пассажиров и багажа разными видами транспорта по единому транспортному документу, оформленному на весь путь следования грузов, пассажиров и багажа» (далее – ПСС), говорит о существовании нового вида сообщения, при котором перевозят разные виды транспорта по единому документу. Всё вращается вокруг оформления перевозки, а не технологии и принципах сокращения рисков перевозчиков ПСС, в виде требований к перевалке, пересадочным узлам и т. п.

Изменить концепцию законодательного акта можно, изменив базу понятийного аппарата: для влияния законодательного акта на процесс формирования условий устойчивого развития мультимодальных перевозок пассажиров в рамках мультимодальной транспортной системы необходимо

прежде всего предоставить единое, полное, однозначное определение мультимодальной перевозки, удовлетворяющее потребности заинтересованных сторон.

Выводы: использование принципов мультимодальных перевозок, независимо от их названия, неизбежно в крупных городах согласно требованиям рынка и принципу комфортного расселения человека; мультимодальные перевозки способны развиваться в определенных условиях: в рамках мультимодальной транспортной системы или единой транспортной системы, которую формируют законы и нормативные акты; любой нормативный документ имеет определенную структуру, направленность зависит от интерпретации понятий и определений; организация мультимодальных транспортных систем начинается с обозначения предмета регулирования – его определения, удовлетворяющего все заинтересованные стороны.

#### Список литературы

- 1 **Блинкин, М. Я.** Мобильность города: вчера сегодня, завтра [Электронный ресурс] // Режим доступа : <https://www.youtube.com/watch?v=V-az5naW89Y>. – Дата доступа : 21.08.2022.
- 2 Законопроект № 1179766-7 «О прямых смешанных (комбинированных) перевозках и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» с датой внесения 25.05.2021 // Система обеспечения законодательной деятельности [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://sozd.duma.gov.ru/bill/1179766-7>. – Дата доступа : 03.05.2022.
- 3 **Правдин, Н. В.** Взаимодействие различных видов транспорта (примеры и расчеты) / Н. В. Правдин, В. Я. Негрей, В. А. Подкопаев. – М. : Транспорт, 1989. – 208 с.
- 4 Федеральный закон «Устав автомобильного транспорта и городского наземного электрического транспорта» от 08.11.2007 № 259-ФЗ (последняя редакция) [Электронный ресурс] // КонсультантПлюс. – Режим доступа : [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_72388/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_72388/). – Дата доступа : 23.08.2022.
- 5 **De Bortoli, A.** Consequential LCA for territorial and multimodal transportation policies: Method and application to the free-floating e-scooter disruption in Paris / A. De Bortoli, Z. Christoforou // Journal of Cleaner Production. – 2020. – Vol. 273. – 122898.
- 6 **Krygsman, S.** Multimodal public transport: an analysis of travel time elements and the interconnectivity ratio / S. Krygsman, M. Dijst, T. Arentze // Transport Policy. – 2004. – Vol. 11, no. 3. – P. 265–275.
- 7 **Rose J. M.** Demand for taxi services: new elasticity evidence / J. M. Rose, D. A. Hensher // Transportation. – 2014. – Vol. 41, no. 4. – P. 717–743.

УДК 656.25

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ УЧЕТА ПРОИСШЕСТВИЙ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ТРАНСПОРТНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

*И. М. ЛИТВИНОВА, М. Ю. СТРАДОМСКИЙ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В настоящее время на Белорусской железной дороге для учета происшествий при осуществлении транспортной деятельности применяется технология автоматизированного учета нарушений безопасности движения в поездной и маневровой работе, отказов технических средств и иных происшествий [1].

Технология позволяет не только формировать единую информационную базу о допущенных случаях нарушений нормальной работы железнодорожного транспорта общего пользования и осуществлять автоматизированный учет таких случаев, но и контролировать причины допущенных случаев и проведение их расследования, реализацию принятых мер, вести архив материалов расследования и причин допущенных случаев, формировать различные формы отчетности, осуществлять информационное взаимодействие с автоматизированными системами, эксплуатирующимися на Белорусской железной дороге.

Обработка и передача информации о происшествиях охватывает различные уровни: линейный (предприятия подчинения отделений дороги), отделенческий (отделения дороги), дорожный (Управление дороги), уровень республиканских органов государственного управления (Министерство транспорта и коммуникаций) [2].

Информация о нарушениях безопасности движения в поездной и маневровой работе, отказах технических средств и иных происшествиях вводится в Многопользовательскую дорожную систему (МДС). Схема движения информации о нарушениях безопасности движения на железнодорожном транспорте по различным уровням представлена на рисунке 1.



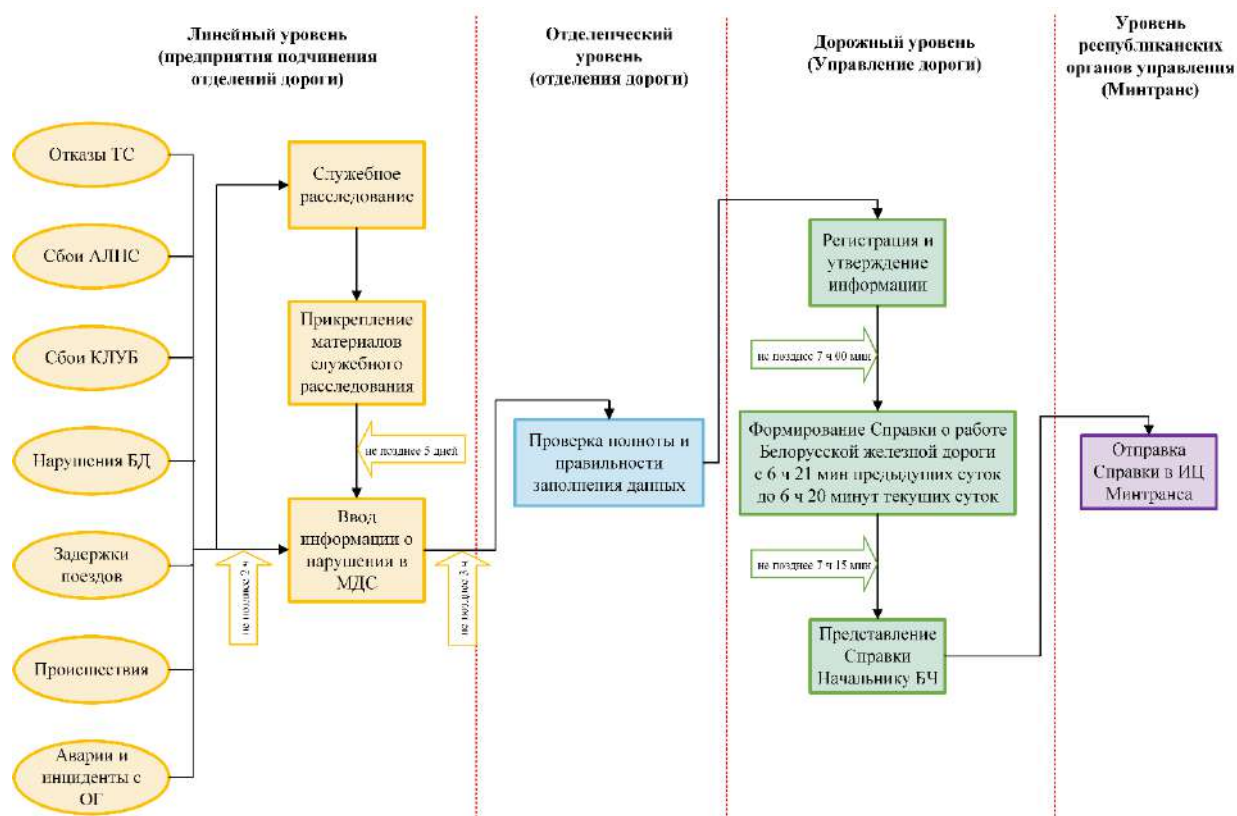


Рисунок 1 – Схема движения информации о нарушениях безопасности движения на железнодорожном транспорте по различным уровням

Применяемая на Белорусской железной дороге технология автоматизированного учета нарушений охватывает различные виды происшествий, возникающих при осуществлении транспортной деятельности, позволяет осуществлять оперативную обработку и передачу информации о них на различные уровни, формировать необходимые выходные данные для форм отчетности и автоматизированных систем, расширять и углублять анализ причин допущенных нарушений, принимать управленческие решения для предотвращения происшествий.

Однако применяемая технология автоматизированного учета распространяется на предприятия и организации, входящие в состав Белорусской железной дороги. В то же время более 800 предприятий и организаций осуществляют транспортную деятельность с использованием железнодорожной инфраструктуры, имеют на балансе железнодорожные пути необщего пользования и не входят в состав как Белорусской железной дороги, так и Министерства транспорта и коммуникаций. В связи с этим необходимо расширение полигона сбора информации о происшествиях при осуществлении транспортной деятельности на железнодорожном транспорте за счет включения в систему учета предприятий и организаций, не входящих в состав Белорусской железной дороги и в систему Министерства транспорта и коммуникаций, имеющих на балансе железнодорожные пути необщего пользования.

Кроме этого, информация о происшествиях при осуществлении транспортной деятельности на железнодорожном транспорте, передаваемая на уровень республиканских органов управления, носит избыточный характер, содержит сведения о малозначительных событиях (отказах в работе технических средств, не повлекших ущерба, и т. п.), поэтому необходима корректировка состава собираемой информации.

Результаты анализа систем учета происшествий при осуществлении транспортной деятельности на различных видах транспорта показывают значительные отличия в классификации происшествий и приводящих к ним причин как на республиканском, так и на международном уровне.

Опыт развития систем учета и анализа происшествий при осуществлении транспортной деятельности в Европейском союзе [3, 4], Российской Федерации и других странах, а также результаты научных исследований в сфере обеспечения безопасности на железнодорожном транспорте под-

тверждают эффективность использования при анализе системы индикаторов, определяемых в том числе относительно ключевых измерителей транспортной работы. Применение такого подхода дает значительно более информативное представление о тенденциях и закономерностях изменения уровня транспортной опасности. Без применения системы относительных индикаторов невозможно применение методов оценки рисков транспортных процессов, которые в настоящее время являются наиболее эффективной основой построения систем управления безопасностью и надежностью транспортных процессов.

В условиях цифровизации транспортного комплекса созданы необходимые условия для применения инструментов анализа больших данных о ходе реализации транспортных процессов и, соответственно, внедрения системы индикаторов, основанных на относительных показателях, что является обязательным условием для выработки управленческих решений, в том числе с использованием самообучающихся систем.

Эти и другие особенности учета происшествий при осуществлении транспортной деятельности на железнодорожном транспорте в частности и в транспортном комплексе Республики Беларусь в целом требуют разработки ряда комплексных мероприятий по развитию и совершенствованию системы учета.

Дальнейшее развитие системы учета связано с процессами ее цифровизации и интеграции в национальную и международные системы учета. Развитие современных информационных технологий в области обработки и анализа больших данных, самообучающихся систем и методологий моделирования предопределяет актуальность и необходимость развития методологий анализа в сфере транспортной безопасности, основанной на анализе больших данных и использовании сложных имитационных моделей.

#### Список литературы

1 Технология автоматизированного учета нарушений безопасности движения в поездной и маневровой работе, отказов технических средств и иных происшествий на Белорусской железной дороге : утв. приказом первого заместителя Начальника Белорусской железной дороги от 19.06.2020 № 503НЗ.

2 Регламент информационного центра Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь : утв. приказом М-ва трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь от 29.04.2020 № 141-Ц.

3 О безопасности на железнодорожном транспорте : директива № 2016/798 Европейского парламента и совета ЕС (новая редакция), Страсбург, 11 мая 2016 г. : опубл. в Офиц. журнале № L 138. – 2016. – С. 102–149.

4 Об эксплуатационной совместимости железнодорожной системы внутри Сообщества : директива (EU) 2016/797 Европейского парламента и Совета от 11 мая 2016 г., Страсбург. – 2016.

УДК 656.045.21

## ОЦЕНКА РИСКОВ В РАБОТЕ ОПЕРАТИВНО-ДИСПЕТЧЕРСКОГО ПЕРСОНАЛА

*Е. С. МАКСИМОВА*

*Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва*

Повышение уровня культуры безопасности является ключевым приоритетом для компании ОАО «РЖД». Стратегия обеспечения гарантированной безопасности и надежности перевозочного процесса в холдинге «РЖД» формирует перечень мероприятий по развитию системы управления функциональной безопасностью и созданию методологической основы безопасности управления перевозочным процессом с высоким уровнем надежности.

По итогам работы 2021 года целевой показатель уровня безопасности движения в холдинге «РЖД» выполнен со снижением на 3,4 % к плану и со снижением на 12 % к уровню 2020 года. На инфраструктуре ОАО «РЖД» допущено 1,8 тыс. происшествий, из которых 97 % по внешним причинам – происшествия с людьми в зоне движения поездов и инциденты на железнодорожных переездах.

Приоритетными направлениями деятельности на 2022 год являются:

– управление рисками в области безопасности движения и эксплуатации железнодорожного транспорта (снижение ущерба от нарушений безопасности движения на 10 %);

– повышение показателей функциональной безопасности железных дорог (снижение на 10 % к уровню прошлого года);

- приведение объектов инфраструктуры ОАО «РЖД» к требованиям ПТЭ (снижение количества несоответствий на 10 %).

Система управления рисками позволяет определить целесообразность корректирующих мероприятий, направленных на снижение уровня риска для оперативно-диспетчерского персонала и обеспечить повышение уровня безопасности движения поездов при эксплуатации железнодорожного транспорта с учетом специфики деятельности диспетчерских центров управления перевозками.

Источниками рисков являются производственные процессы ОАО «РЖД», связанные с движением поездов. На качество выполнения производственных процессов оказывают влияние различные факторы, находящиеся в непосредственном ведении структурных подразделений, а также причины, не относящиеся к зоне их непосредственной ответственности (риск несоответствия инфраструктуры установленным требованиям; риск, связанный с эксплуатацией технических средств с истекшим сроком годности и т. п.).

Основными производственными процессами, находящимися в непосредственном ведении диспетчерских центров управления перевозками, являются контроль, планирование, принятие оперативных и упреждающих решений по организации перевозочной деятельности в рамках соответствующего подразделения (в том числе поездов с опасными грузами), предупреждение и решение конфликтных ситуаций, координация работ по устранению сбойных ситуаций. Таким образом, факторы, обуславливающие риски, связанные с нарушением правил безопасности движения и эксплуатации железнодорожного транспорта, характеризуют, в первую очередь, технологическую дисциплину персонала, режимы эксплуатации и состояние технических средств.

На основе данных положений в компании разработаны Методика оценки рисков, связанных с нарушением правил безопасности движения и эксплуатации железнодорожного транспорта на ответственности диспетчерских центров управления перевозками, и факторный анализ рисков. Указанные нормативные документы дают возможность своевременно выявлять дестабилизирующие факторы и проактивно реагировать на риски и негативные изменения внешней и внутренней среды посредством снижения уровня их воздействия на эксплуатационные процессы, которые направлены на полную реализацию безопасности движения, а также планирования и осуществления мероприятий по воздействию на риск.

Однако применительно к дежурно-диспетчерскому персоналу необходимо рассматривать риски не только в части функциональной безопасности движения и эксплуатации железнодорожного транспорта. Процесс управления рисками встраивается во все виды деятельности и бизнес-процессы компании. В процессе принятия и осуществления управленческих решений руководители подразделений всех уровней управления должны учитывать информацию о рисках, последствия их влияния на результаты производственной деятельности компании, а также данные об эффективности мероприятий, направленных на минимизацию вероятности возникновения нежелательных событий. При этом основным вектором в процессе производственной деятельности является соблюдение баланса между возможностями для компании и рисками, связанными с реализацией данных возможностей.

В связи с этим для эффективной организации перевозок необходимо учитывать загрузку оперативно-диспетчерского персонала в процессе осуществления производственных функций как при обработке большого объема информации, так и при выполнении определенных операций по организации и управлению эксплуатационной работой. Набор выполняемых функций напрямую зависит от принятой технологии работы станций и всего участка, объемов и интенсивности поездной и местной работы, а также состояния технических средств.

Несвоевременные и недостаточно обоснованные решения оперативно-диспетчерского персонала на каждом этапе в зависимости от принятой технологии организации и управления эксплуатационной работой могут приводить к недостаточному использованию пропускной способности участков и перерабатывающей способности станций, ухудшению показателей использования подвижного состава. Ожидание выполнения операций, ограничение ресурсов инфраструктуры, нарушение технологических сроков оборота вагонов на железнодорожных путях необщего пользования, технологические нарушения в результате действия или бездействия персонала и пр. вызывают рост непроизводительных простоев поездов и вагонов.

При возникновении эксплуатационных затруднений увеличивается объем перерабатываемой информации, нагрузка на оперативно-диспетчерский персоналкратно возрастает, что требует по-



вышенной концентрации внимания. Сотрудникам необходимо уметь планировать и прогнозировать развитие эксплуатационной обстановки, предвидеть возможные отклонения от установленной технологии и развитие эксплуатационных затруднений.

Ненадлежащая организация перевозочного процесса приводит к возникновению рисков снижения эффективности управления парком грузовых вагонов и непроизводительным занятиям инфраструктуры железнодорожного транспорта, что в свою очередь приводит к нарушениям сроков доставки. Таким образом, технологические нарушения вызывают непроизводительное использование имеющихся инфраструктурных мощностей ОАО «РЖД», риски нарушения сроков доставки грузов и порожних вагонов и, как следствие, репутационные издержки и потери в финансовом результате.

Стоимостная оценка рисков посредством отнесения дополнительных расходов (складываются из величины возможного ущерба вследствие выставления штрафных санкций за просрочку доставки грузов и порожних вагонов, дополнительных издержек по организации перевозочного процесса и упущенной выгоде) к разнице фактических и плановых вагоно-часов простоя поездов и вагонов поможет нивелировать негативные последствия и может являться основой для выработки эффективных управляющих решений.

#### Список литературы

1 Годовой отчет ОАО «РЖД» за 2021 год [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://ar2021.rzd.ru/ru>. – Дата доступа : 20.08.2022.

2 **Максимова, Е. С.** Развитие теории управления рисками / Е. С. Максимова, В. Н. Шмаль // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2022. – Т. 16, № 2. – С. 39–46.

3 **Прокофьева, Е. С.** Исследование культуры безопасности на железнодорожном транспорте / Е. С. Прокофьева, В. Н. Шмаль // Научно-технические аспекты комплексного развития железнодорожного транспорта : материалы III Международ. науч.-практ. конф. в рамках Междунар. науч. форума Донецкой Народной Республики. – 2017. – С. 123–126.

4 **Шаров, В. А.** Оценка факторов, влияющих на возникновение рисков в области функциональной безопасности движения поездов // Безопасность движения поездов : тр. VIII Всерос. науч.-практ. конф. – 2017. – С. VIII-36.

5 **Шаров, В. А.** Оценка рисков и дестабилизирующих факторов в области функциональной безопасности движения поездов / В. А. Шаров, Е. С. Прокофьева, В. Н. Шмаль // Безопасность движения поездов : тр. XIX Всерос. науч.-практ. конф. – 2018. – С. VI-34–VI-36.

6 **Прокофьева, Е. С.** Стоимостная оценка вагоно-часа с учетом рисков в производственной деятельности ОАО «РЖД» / Е. С. Прокофьева // Экономика железных дорог. – 2018. – № 4. – С. 19–28.

УДК 656.025.4

### ЭТАП «ПОСЛЕДНЕЙ МИЛИ» В ВОПРОСЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ ТРАНСПОРТНЫХ ПЕРЕВОЗОК

*В. К. МАЛЮЧЕНКО*

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

*В. А. ГЛИНСКИЙ*

*Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации, Российская Федерация*

«Последняя миля» – это шаг, на котором посылка отправляется из распределительного центра в конечный пункт назначения – к клиенту, заказавшему товар онлайн.

Логистическая часть относится к физическим пространствам, программному обеспечению, паркам доставки, персоналу доставки и водителям доставки, а также ко всему остальному, что делает доставку этой посылки возможной.

Проблема «последней мили» по-прежнему остается критической точкой, ограничивающей развитие логистической отрасли. В основном это связано с заторами в городах, а также с плохой дорожной инфраструктурой в сельской местности. Доставка последней мили составляет менее 5 % от всего расстояния доставки товара покупателю, но среднее время транспортировки составляет примерно 5 часов. Последняя миля составляет 45 % всего логистического цикла, а ее затраты составляют более 50 % от общих, которые необходимо понести для доставки товаров покупателю. Поставщики логистических услуг сталкиваются с различными проблемами при преодолении «последней мили», такими как высокая стоимость выполнения заказов для чувствительных к цене клиентов, сильная конкуренция за бесплатные услуги доставки клиентов, повышенные ожидания

клиентов в отношении времени доставки, индивидуальные запланированные сроки доставки, отслеживание с возможностью изменения или адаптации заказа и выбора возможного альтернативного места доставки заказа и безуспешных попыток доставки товаров или их возможной рекламации и возврата. Например, в случае почтовых услуг расходы, связанные с транспортировкой почтовых отправлений, являются одним из наиболее важных факторов, влияющих на общую стоимость почтовых услуг. Однако важны и решения о размещении, которые часто приводят к оптимальным решениям различных общественных и частных проблем. Эти решения можно считать критическими или стратегическими, поскольку неудачное размещение может привести, например, к увеличению затрат, потере конкурентного преимущества и доли рынка.

Большую роль конкурентного преимущества играет и безопасность доставки грузов на этапе последней мили. На восприятие клиентами той или иной службы доставки влияют как качество самой перевозки (отзывы о поведении курьеров, информативность процесса доставки), так и результат (целостность груза, скорость). Компаниям следует уделять повышенное внимание данному вопросу для повышения лояльности клиентов и их количества.

Можно выделить несколько способов повышения безопасности «последней мили».

1 Меры для прозрачности проведения логистических операций. Прозрачность обеспечивается за счет трех обязательных уровней:

- 1) идентификация участников рынка;
- 2) наглядное представление участников и контрактов между участниками;
- 3) отслеживание данных о логистических операциях в реальном времени.

Обозначенные аспекты могут нивелироваться и не исполняться за счет ограниченных прав на информацию.

Подобная прозрачность операций желательна для всех видов услуг и может быть достигнута за счет определенного расширения информационного доступа к рынку международных автомобильных грузоперевозок. В таком случае все перевозчики, допущенные к выполнению перевозок, будут иметь специальную лицензию в международном органе. Единственная проблема в данном предложении – это непрофессиональные доставщики, которым осуществить процедуру получения лицензии очень сложно.

2 Положение о безопасности доставки.

Разделить безопасность доставки грузов можно на 2 группы: безопасность перевозки и правила доставки посылок. К первой можно отнести положения о времени вождения и отдыха, определенные условия работы водителем. Такие требования соответствуют международным конвенциям о дорожном движении и правилам осуществления грузовых перевозок.

Также желательно дополнительное обучение перевозчиков и водителей по обеспечению безопасности доставки грузов. Предлагается два пути развития такого обучения. Первый заключается во включении мер безопасности в качестве особых курсов компании-перевозчика для своих сотрудников (водителей и курьеров). Второй путь преследует цель обязательного обучения и сертификации на знание и применение нормативных актов об опасных грузах.

3 Инфраструктура обмена данными (конвейеры данных).

Использование конвейеров данных для обмена информацией между участниками логистического процесса (перевозчики, клиенты, государственные органы) позволит быстро и без потерь получать доступ к нужной информации о перевозке. Такие конвейеры данных систематизируют информацию с различных источников и формируют входящие данные в соответствии с бизнес-требованиями. Этот процесс обеспечивает быстрый анализ и стабильное качество данных.

Однако цепочки поставок B2C в значительной степени оцифрованы, а существующая инфраструктура позволяет обмениваться данными с помощью инструментов отслеживания. Таким образом, проектирование конвейера данных, направленное на повышение прозрачности и безопасности доставки, не должно приводить к возникновению многих технологических проблем. В доставке B2C используется QR-код, позволяющий повторно сканировать все посылки при каждом перемещении, предоставляя инструменты планирования транспортировки и отслеживания. Эти потоки данных могут быть подключены к конвейеру данных. Конвейер данных может быть дополнительно поддержан более новыми инновациями, представленными на рынке: технологиями, использующими дополненную реальность (AR), отслеживание событий в процессе обработки посылок; датчики с поддержкой GPS, обеспечивающие просмотр посылок в режиме реального времени; и интегриро-

ванные системы доставки для оптимизации и планирования логистической и транспортной деятельности через более централизованные пункты доставки посылок.

С точки зрения розничного продавца конвейер данных может свести к минимуму риск своевременного уведомления о каких-либо форс-мажорных ситуациях в процессе доставки. Ритейлер автоматически получит информацию об отказе от доставки, что позволит ему немедленно вмешаться и обеспечить свои последующие права в отношении перевозчика. Это будет способствовать заинтересованности розничного рынка в присоединении к системе передачи данных.

В заключение можно сказать, что проблема «последней мили», действительно, очень широко рассматривается в компаниях. Исследуются вопросы ее оптимизации, уменьшения рисков и затрат. Вышеперечисленные способы повышения безопасности рассматриваемого этапа – лишь малая часть исследований в этой области.

#### Список литературы

- 1 Палагин, Ю. И. Транспортная логистика и мультимодальные перевозки. Технологии, оптимизация, управление : учеб. пособие / Ю. И. Палагин. – СПб. : Политехника, 2015. – 266 с.
- 2 Verheyen, W. Enhancing safety in B2C delivery chains / W. Verheyen, M. K. Kolacz // Transport Policy. – 2022. – Vol. 117. – P. 12–22.
- 3 Sustainable last mile delivery on e-commerce market in cities from the perspective of various stakeholders. Literature review / M. Kiba-Janiak [et al.] // Sustainable Cities and Society. – 2021. – Vol. 71. – 102984.
- 4 Афанасенко, И. Д. Цифровая логистика : учеб. для вузов / И. Д. Афанасенко, В. В. Борисова. – СПб. : Питер, 2019. – 272 с.
- 5 Якунина, Ю. С. Логистика «последней мили» доставки товара: европейский опыт / Ю. С. Якунина, А. И. Ухова // Современные технологии: тенденции и перспективы развития, 2021. – С. 64–69.

УДК 656.222

## НАДЕЖНОСТЬ ГРАФИКА ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ

*О. В. МЛЯВАЯ*

*Конструкторско-технический центр Белорусской железной дороги, г. Минск*

*В. Г. КУЗНЕЦОВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Совершенствование системы управления перевозочным процессом на железнодорожном транспорте в условиях развития международных товарно-транспортных рынков должно обязательно учитывать основные требования логистических подходов и риски, которые возникают при перевозке грузов и пассажиров. В системе организации движения грузовых поездов логистические требования можно сформулировать как соблюдение сроков доставки грузов, перемещения вагонов в соответствии с условиями их перевозки, заявленными потребителями услуг и обеспеченными всеми участниками перевозочного процесса.

Свойство надежности в перевозочном процессе можно рассматривать как способность выполнять задачи перевозки в существующих условиях эксплуатации железнодорожного транспорта. В этом случае надежность является фактором, который влияет на логистические показатели транспортной деятельности железной дороги [1, 2].

Система управление поездной работой является подсистемой перевозочного процесса и выполняет ответственные технологические процессы по организации движения поездов в железнодорожной сети от станций формирования до станций расформирования.

Организационно-технологической основой системы организации движения поездов являются в план формирования (ПФ) грузовых поездов и график движения поездов (ГДП), которые определяют возможности по доставке грузов, перемещению вагонов в организованных грузоотправителями, операторами подвижного состава, перевозчиками в грузовых поездах на участках инфраструктуры железных дорог от станций образования грузопотока (вагонопотока) до станций погашения грузопотока (вагонопотока). Сложность поездной работы на железнодорожных участках (узлах) заключается во множестве поездов различных категорий, которые необходимо упорядочить в соответствии с установленными требованиями и приоритетами.

График движения поездов (ГДП) как модель представляет собой совокупность грузовых и пассажирских поездов различных категорий, которые запланированы в виде ниток графика (траекторий следования) и имеют пространственно-временную идентификацию в течение суток и по каждому объекту учета (раздельные пункты) железнодорожного участка, узла [3, 4].

ГДП на железнодорожном участке (узле) является технологической подсистемой перевозочного процесса и требует технологического взаимодействия с иными связанными с поездной работой подсистемами: технологической увязки расписаний грузовых поездов со станционной технологией; технологической увязки ГДП смежных участков железной дороги, организации эксплуатации поездных локомотивов и работы локомотивных бригад, технологией технического и коммерческого осмотра, выполнением ремонтно-профилактических и иных работ на инфраструктуре и др. Реализация ГДП осуществляется посредством системы диспетчерского управления, которая осуществляет процессы планирования, оперативного контроля и регулирования поездной работы. Основой процесса диспетчерского управления является контроль параметров ГДП, осуществления процессов на станциях с поездами, оценки состояния поездной работы, в том числе и состояний отказов (сбоя) поездной работы и принятия мер регулирования, направленных на минимизацию потерь в поездной работе, отклонений от расчетного режима движения поездов, эффективного использования ресурсов для восстановления нормативного движения поездов [5].

Важнейшими характеристиками ГДП являются:

- размеры движения поездов, установленные в ГДП, с учетом структуры грузовых и пассажирских поездов, планируемых к перемещению на железнодорожном участке в соответствии с планом формирования поездов; ГДП должен быть адаптирован к тенденциям изменения спроса на перевозки, обладать резервированием ниток ГДП, резервированием времени движения поезда по элементам участка (перегонам), резервом свободного времени в ГДП для восстановления движения поездов в случае возникновения сбоев в движении;

- качество составления графика движения поездов всех категорий, позволяющее эффективно использовать инфраструктуру участка (путевую, средства сигнализации и связи, энергоснабжения) и тяговый подвижной состав, осуществлять рациональные способы прокладки поездов; параметрически качество построения ГДП может быть оценено через различные виды скоростей движения;

- надежность выполнения ГДП, связанная с надежностью инфраструктуры, подвижного состава, системы диспетчерского управления поездов и иных факторов, которые могут привести к отказам (сбоям) в движении поездов.

Поездообразование на станциях формирования поездов осуществляется как под нитки постоянного расписания, так и под нитки свободного расписания ГДП. Стохастичность процесса поездообразования может приводить к несовпадению времени образования поезда на технической станции и времени нитки ГДП, что приводит к снижению надежности перевозочного процесса, неэффективности использования объектов инфраструктуры и подвижного состава.

Надежность ГДП на железнодорожном участке, ограниченном двумя техническими станциями, следует рассматривать как вероятность обеспечения отправления грузовых поездов с технических станций на участок, а также вероятность соблюдения времени по проследованию на участке до следующей технической станции.

Система руководства движением поездов позволяет при возможных отказах (сбоях) устранить нарушения движения поездов и как можно быстрее восстановить движение по графику.

Критерием оценки качества выполнения графика является отправление или проследование поездов по расписанию (в процентах) [6]. Процент отправления или проследования поездов по расписанию ( $\alpha$ ) определяется по формуле

$$\alpha = (N_{o.p.}/N_{общ}) \cdot 100 \%, \quad (1)$$

где  $N_{o.p.}$  – количество отправок (проследований) по расписанию за сутки;  $N_{общ}$  – общее количество отправок (проследований) за тот же период.

Надежность системы управления движением поездов можно рассматривать по следующим процессам:

- отправление с технической станции;
- проследование по перегонам;
- проследование по промежуточным станциям;
- прибытие на техническую станцию.

Надежность системы управления движением поездов обеспечивается техническим состоянием объектов инфраструктуры, технологий поездной работы, системой оперативного контроля и регулирования движения поездов.

Для оценки надежности подсистемы поездной работы устанавливается состояние и предельное состояние как функция времени. Предельное состояние, соответствующее технической невозможности эксплуатации объектов инфраструктуры, подвижного состава на участке, обусловлено как требованиями безопасности из-за их отказов, так и неустраняемым снижением эффективности. Возникновение отказов приводит к снижению работоспособности подсистемы поездной работы. Работоспособное состояние подсистемы поездной работы – состояние подсистемы поездной работы, при котором значения параметров (показателей) качества поездной работы соответствуют нормативам, установленным ГДП. Неработоспособное состояние подсистемы поездной работы – состояние поездной работы, при котором значения параметров (показателей) качества поездной работы не соответствуют нормам, установленным ГДП [1, 2].

Комплексное изучение вопросов надежности поездной работы позволяет: установить закономерности возникновения отказов и восстановления работоспособности; рассмотреть влияние внешних и внутренних факторов на работу отдельных объектов системы управления движением поездов; разработать методы оценки надежности с учетом специфики работы системы управления движением поездов; изыскать способы повышения надежности на этапах жизненного цикла объектов инфраструктуры и подвижного состава в поездной работе.

Единая технология перевозочного процесса (ЕТПП) на железнодорожных полигонах большой размерности предъявляет новые требования к уровню надежности технических средств, подвижного состава и оценки всех видов рисков, которые возникают в их подсистемах. Цена любого сбоя, нештатной ситуации, отказа в процессе реализации поездной работы на участке (узле) при невозможности его локализации в пределах объекта управления (участка, узла) возрастает по причине появления рисков нарушения перевозочного процесса в целом, доставки грузов.

Управление рисками в подсистеме поездной работы можно рассматривать как процесс принятия и выполнения управленческих решений, направленных на снижение вероятности возникновения неблагоприятного результата при возникновении отказов (сбоев) в поездной работе и минимизацию возможных потерь, связанных с переходом подсистемы поездной работы в неработоспособное состояние.

Показатель риска потерь в поездной работе – вероятность эксплуатационных потерь при реализации процессов поездной работы за расчетное время вследствие возникновения неработоспособного состояния поездной работы. Показатель риска экономического ущерба в поездной работе – вероятность экономического ущерба при реализации процессов поездной работы за расчетное время вследствие перехода подсистемы в неработоспособное состояние.

Система управления рисками в организации поездной работы на участках (узлах) включает две стадии: разработку нормативного ГДП, учитывающего состояние объектов инфраструктуры и подвижного состава в планируемом расчетном периоде (год, месяц), и оперативное управление поездной работой в текущих условиях эксплуатационной работы (оперативное планирование и диспетчерское регулирование).

Система управления движением поездов является сложной, и возникновение нежелательных событий может приводить и возникновению иных видов риска: социального, экологического, технического и экономического, либо их сочетанию. Так, при отказах технических средств объектов инфраструктуры могут пострадать окружающее население (социальный риск), подвижной состав и инфраструктура (технический риск), имущество (экономический риск), а также может произойти загрязнение окружающей среды (экологический риск). При реализации системы управления рисками на начальном этапе проводится идентификация всех возможных опасностей, как правило, с использованием экспертных методов. Далее формируется перечень рисков и задаются их приемлемые уровни на основе действующих нормативных документов или статистических данных о частоте нежелательных (опасных, неопасных) событий и причиненном ими ущербе за расчетный период.

Выполнение основных условий – возможности проявления нежелательного события и восприимчивости поездной работы к его влиянию – является достаточным основанием для признания факта существования риска. При этом риск расценивают как сочетание вероятности возникновения нежелательного события и его вероятных последствий. Неконтролируемые риски могут приводить к незапланированным эксплуатационным расходам, причинению вреда людям, окружающей среде, имуществу и другим негативным последствиям.

При построении математических моделей анализа надежности системы управления движением поездов [3] оценка производится по следующим основным показателям: вероятность безотказной работы системы в течение периода эксплуатации  $P(t)$  и коэффициент технического использования  $k_T$ , определяемый отношением среднего времени работы до отказа  $T_o$ , среднего времени восстановления работоспособности и среднего времени выполнения профилактических работ.

При разработке графика движения поездов, составляемого на максимальные размеры движения, когда отклонения от расписаний движения могут быть компенсированы избыточными основными и резервными «нитками» графика, можно ввести обобщенный показатель, характеризующий уровень качества выполнения поездной работы, так называемый «коэффициент технологического использования графика» (по аналогии с коэффициентом технического использования в теории надежности), который определяется по формуле [3]

$$k_T = \frac{T_o}{T_o + t_{сб} + t_{пер}}, \quad (2)$$

где  $t_{сб}$  – средняя продолжительность задержки одного опоздавшего поезда в пределах участка;  $t_{пер}$  – средняя продолжительность плановых перерывов движения, приходящихся на один поезд.

Существующий показатель «процент выполнения графика движения поездов» можно интерпретировать применительно к теории надежности как вероятность безотказной работы системы в течение периода  $t$ , т. е.

$$P(t) = \frac{N - N_o}{N}, \quad (3)$$

где  $N$  – общее число грузовых поездов, проследовавших по участку;  $N_o$  – число поездов за сутки, проследовавших по участку с нарушением графика.

Объединяя два показателя  $k_T$  и  $P(t)$  в виде их произведения, получают обобщенный коэффициент, характеризующий уровень использования графика движения поездов в условиях оперативной эксплуатации технологической системы и ее надежность в части регламента продвижения поездов:

$$k_{ТО} = k_T P(t) = \frac{24(N - N_o)}{(24 + t_{сб} N_o) N}. \quad (4)$$

Обобщенный коэффициент технологического использования графика движения поездов более комплексно отражает качество исполненного движения, так как в данной формуле учитывается и число опоздавших поездов, и общее время их опоздания.

Поскольку процесс управления рисками находится в непосредственной связи с управлением эксплуатационными расходами и учитывает случайный характер последствий отказов, то качество системы управления поездной работой возможно оценивать с позиции рисков. Объективная оценка их величины с учетом мониторинга фактического состояния объектов инфраструктуры участка, подвижного состава и их изменения во времени дает возможность принимать решение о той или иной стратегии и вида технического обслуживания и текущего ремонта, проведении капитального ремонта или модернизации, либо обосновать возможность продления срока службы системы на определенный период, в течение которого риск не достигнет недопустимых значений. Такой подход позволяет оптимизировать ресурсы на обеспечение и реализацию поездной работы на участках (узлах) в соответствии с общими требованиями ЕТПП.

#### Список литературы

- 1 Грунтов, П. С. Эксплуатационная надежность станций / П. С. Грунтов. – М. : Транспорт, 1986. – 247 с.
- 2 Лисенков, В. М. Статическая теория безопасности движения поездов : учеб. для вузов / В. М. Лисенков. – М. : ВИНТИ РАН, 1999. – 332 с.
- 3 Каретников, А. Д. График движения поездов / А. Д. Каретников, Н. А. Воробьев. – М. : Транспорт, 1979. – 302 с.
- 4 Редько, Л. А. Разработка графика движения поездов : учеб.-метод. пособие / Л. А. Редько, И. М. Ермак. – Гомель : БелГУТ, 2006. – 105 с.
- 5 Учет выполнения графика движения грузовых поездов / Г. А. Кузнецов [и др.] // Железнодорожный транспорт. – 2011. – № 3. – С. 20–25.
- 6 Инструкция о порядке учета выполнения графика движения поездов на Белорусской железной дороге : утв. Приказом начальника Белорусской железной дороги 17Н от 19.01.2018.
- 7 Фёдоров, Е. А. Методические подходы к проведению комплексного анализа системы организации движения поездов при реализации процессной модели следования поездов по назначениям плана формирования / Е. А. Федоров // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2019. – № 1 (38). – С. 86–89.

## ЦИФРОВИЗАЦИЯ РАБОЧИХ МЕСТ В ГРУЗОВОЙ РАБОТЕ КАК ИННОВАЦИОННЫЙ МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ И КАЧЕСТВА ПРИЁМА ГРУЗОВ К ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ПЕРЕВОЗКЕ

*О. В. МОСКВИЧЕВ, Е. Е. МОСКВИЧЕВА*

*Самарский государственный университет путей сообщения, Российская Федерация*

Цифровизация рабочих мест является одним из ведущих трендов как на сети российских железных дорог, так и за рубежом, основной задачей которой является сокращение числа работников, находящихся в зоне интенсивного движения, и обеспечение безопасных условий труда [1].

Помимо этого, в современных реалиях широко распространена практика по совмещению рабочих профессий в отрасли железнодорожного транспорта, что приводит к повышению трудоемкости работников и возникновению рисков некачественного выполнения должностных обязанностей [2]. Например, на станционных работников грузового движения, а именно приёмосдатчиков груза и багажа, возложены обязанности по обработке поездной информации и перевозочных документов, оформлению перевозочных документов или их комплектованию и передаче для оформления посредством автоагента и других операций; чрезмерная загруженность приёмосдатчиков создаёт риски некачественного приёма груженых и порожних вагонов к перевозке (зачастую без фактического выхода работника к вагонам из-за нехватки времени), что, в свою очередь, создаёт предпосылки к возникновению нарушения безопасности движения поездов.

Одним из инновационных методов, ориентированных на повышение уровня безопасности движения поездов и труда работников, удовлетворенности клиентов ОАО «РЖД» качеством предоставляемых услуг, является технология «Цифровой приёмосдатчик» (ЦПС) [3]. В её основе лежит процедура дистанционного приёма порожних и груженых вагонов к перевозке, без личного присутствия приёмосдатчика груза и багажа на путях необщего пользования, в видеоформате посредством электронного обмена данными с клиентом через безопасный корпоративный мессенджер с сохранением видеофайлов в системе хранения данных [4].

Эта технология применима к железнодорожным станциям, где осуществляется прием к перевозке грузов в подвижном составе крытого типа (крытые вагоны, зерновозы, цементовозы, минераловозы), опломбированных ЗПУ или с наложением закруток установленного типа, а также порожних вагонов открытого типа (хопперы-дозаторы, полувагоны, думпкары, платформы без съёмного оборудования).

В последующем с развитием и широким распространением 5 поколения мобильной связи 5G будет возможен вариант коммерческого осмотра в онлайн-режиме с использованием функции «умное зрение», записью и сохранением видеофайлов осмотра, что позволит значительно расширить охват технологией типов подвижного состава, например, при приёме к перевозке цистерн на наливных эстакадах, где в настоящее время запрещено использование мобильных телефонов.

Необходимо отметить, что наибольший эффект от реализации технологии «Цифровой приёмосдатчик» возможен на станциях, где отсутствует приёмосдатчик груза и багажа, для приёма вагонов к перевозке работник ОАО «РЖД» должен прибыть с опорной станции.

В целом реализация указанной технологии позволяет компании ОАО «РЖД» вывести работников из зоны риска при нахождении на железнодорожных путях и высоте, обеспечить безопасные условия труда, снизить загрузку станционных работников, сократить время от момента предъявления груза к перевозке до оформления перевозочных документов. Кроме того, наличие базы видеофиксации принятых к перевозке вагонов позволит иметь доказательную базу при предъявлении претензий по несохранным перевозкам грузов и возможность получения дополнительного дохода от операторов подвижного состава за счёт предоставления материалов по запросу.

Положительными аспектами внедрения технологии «Цифровой приёмосдатчик» для клиентов являются:

- сокращение времени ожидания прибытия приёмосдатчика груза и багажа к месту приёма вагона к перевозке;
- реализация дистанционного метода работы с исключением личного посещения клиентом железнодорожной станции.

С целью дальнейшего развития и внедрения новой технологии дистанционного приёма порожних и груженых вагонов к перевозке в цифровом формате требуется устранить ряд барьерных мест. К ним относятся:

- несовершенство нормативной базы, не позволяющей оказывать полный спектр цифровых приёмо-сдаточных операций;
- необходимость переработки Типовой должностной инструкции приёмосдатчика груза и багажа ОАО «РЖД», утвержденной распоряжением от 15.02.2005 № 198р, Регламента многоступенчатого контроля по обеспечению безопасности движения поездов при приёме груза и порожних вагонов к перевозке, в пути следования и при выдаче груза, утвержденного распоряжением ОАО «РЖД» 28.11.2017 № 2451р, и др.

В таблице 1 представлен SWOT-анализ, дающий многокритериальную оценку технологии дистанционного приёма порожних и груженых вагонов к перевозке в цифровом формате – «Цифровой приёмосдатчик».

Таблица 1 – SWOT-анализ технологии дистанционного приёма порожних и груженых вагонов к перевозке в цифровом формате – «Цифровой приёмосдатчик»

Сильные стороны	Слабые стороны
<p>Выведение работников ОАО «РЖД» из зоны риска при нахождении на железнодорожных путях; обеспечение безопасных условий труда.</p> <p>Снижение трудоемкости работников и экономия фонда заработной платы.</p> <p>Реализация бесконтактного метода работы, исключение необходимости посещения Клиентом железнодорожной станции.</p> <p>Сокращение времени на ожидание Клиентом прибытия приёмосдатчика к месту приёма вагона к перевозке.</p> <p>Наличие видеofиксации принятых к перевозке вагонов как доказательной базы при предъявлении претензий по несохранности перевозимых грузов.</p> <p>Сокращение времени работы от момента предъявления груза к перевозке до оформления перевозочных документов</p>	<p>Оказание полного спектра приёмо-сдаточных операций по технологии ЦПС возможно только после пересмотра действующих нормативных документов.</p> <p>Отсутствие возможности удаленного приёма к перевозке всего перечня грузов, перевозимых железнодорожным транспортом.</p> <p>Затраты на приобретение Клиентом необходимого оборудования видеofиксации</p>
Возможности	Угрозы
<p>Привлечение новых Клиентов и повышение лояльности к перевозкам железнодорожным транспортом</p>	<p>Возникновение нештатных ситуаций (выход из строя оборудования, отключение электроэнергии, вирусные атаки и пр.)</p>

#### Список литературы

- 1 Стратегия цифровой трансформации ОАО «РЖД» до 2025 года : одобр. Правлением ОАО «РЖД» (Протокол № 20 от 25.03.2019 г.). – 52 с.
- 2 Москвичева, Е. Е. Цифровая трансформация станционных технологических процессов / Е. Е. Москвичева // Наука и образование – транспорту. – 2020. – № 1. – С. 133–135.
- 3 На Куйбышевской железной дороге запущен в промышленную эксплуатацию проект «Цифровой приемосдатчик» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://kbsh.rzd.ru/ru/3673/page/>. – Дата доступа : 20.08.2022.
- 4 Шашкова, А. С. Цифровые принципы работы приемосдатчика груза и багажа / А. С. Шашкова, Е. Е. Москвичева // Дни студенческой науки : сб. материалов 49-й науч. конф. обучающихся СамГУПС. – Сер. Технические науки. – 2022. – С. 50–52.

УДК 625.8

## ОСМОТР ФИТИНГОВЫХ УПОРОВ ВАГОНОВ-ПЛАТФОРМ ПРИ ПЕРЕВОЗКЕ КРУПНОТОННАЖНЫХ КОНТЕЙНЕРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

*Е. Е. МОСКВИЧЕВА, Е. А. ШИМАЛАКОВА*

*Самарский государственный университет путей сообщения, Российская Федерация*

Согласно требованиям нормативных документов ОАО «РЖД» в части обеспечения безопасности движения поездов осмотр железнодорожных платформ, предназначенных для перевозки крупнотон-



нажных контейнеров, на состояние фитинговых упоров производится в порожнем состоянии [1]. Данный метод требует значительных временных и материальных затрат, так как контейнерный поезд в среднем состоит из 57–60 единиц железнодорожных платформ, загруженных до 120 20-футовых или до 60 40-футовых контейнеров, что в общей сложности составляет от 240 до 480 фитинговых упоров.

Помимо этого, пользователи услуг железнодорожного транспорта, для которых были открыты параграфы Тарифного руководства № 4, предусматривающие проведение грузовых операций с крупнотоннажными контейнерами без их снятия с фитинговых платформ, вынуждены нести также временные затраты и финансовые издержки по заключению договоров со структурными подразделениями региональной дирекции инфраструктуры по оказанию услуги технического осмотра вагонов на путях необщего пользования (включающего доставку осмотрщика вагонов к месту осмотра), приобретению (содержанию) или аренде дорогостоящих грузоподъемных и грузозахватных механизмов (в случае их отсутствия).

Таким образом, актуальным направлением научно-технических работ является разработка нового метода осмотра фитинговых упоров вагонов-платформ, который позволил бы сократить эксплуатационные расходы, повысить сохранность перевозки контейнеров и обеспечить безопасность движения поездов.

В рамках решения данной проблемы была рассмотрена технология осмотра фитинговых упоров специализированных платформ без снятия контейнера с платформы при помощи нового технического средства – мобильного видеоэндоскопа.

Применение видеоэндоскопа позволяет определять техническое состояние фитинговых упоров при нахождении крупнотоннажного контейнера на платформе, что сокращает количество грузовых операций с контейнером в пути следования, исключает нежелательные маневровые операции по выводу порожних вагонов на пути станции для осмотра или дополнительные переформирования контейнерного поезда, а также использование погрузочно-разгрузочных машин на грузовых фронтах. Кроме этого, использование видеоэндоскопа позволяет определять наличие и номер пломб, производить осмотр дверей контейнера.

В качестве примера мобильного видеоэндоскопа можно рассмотреть прибор, разработанный компанией «Модуль». Данное устройство успешно внедрено на ряде станций Октябрьской железной дороги ОАО «РЖД»: Купчинская, Сегежа, Нигозеро. Видеоэндоскоп представляет собой экран с джойстиком и зондом, который крепится, в свою очередь, на рукоятке телескопического удлинителя. Вокруг камеры зонда расположены светодиоды, с помощью которых производится подсветка осматриваемого объекта. Эксплуатационный температурный минимум прибора составляет –30 °С, при этом он имеет устойчивость к агрессивной среде. Параллельно через камеру осмотра ведется контрольная запись процесса на съемный носитель [2, 3].

В работе по результатам исследования были составлены технологические графики осмотра фитинговых упоров вагонов-платформ для перевозки крупнотоннажных контейнеров [4, 5] по существующему (текущему) состоянию и предлагаемому (будущему) состоянию.

Технологическая карта осмотра фитинговых упоров вагонов-платформ по существующей технологии (в порожнем состоянии) приведена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Технологическая карта осмотра фитинговых упоров вагонов-платформ по существующей технологии (в порожнем состоянии)



Таким образом, использование видеоэндоскопа для осмотра фитинговых упоров специализированных платформ на местах погрузки, выгрузки или технических станциях без снятия контейнеров позволит сократить следующие временные и финансовые потери:

- исключить нежелательные маневровые операции по выводу порожних вагонов на пути станции для осмотра, или дополнительных переформирований контейнерного поезда, тем самым снизив загрузку маневрового локомотива и, соответственно, эксплуатационные расходы;
- минимизировать отвлечение ОРВ и приемосдатчиков груза и багажа контейнерных площадок от основного процесса работы;
- сократить количество грузовых операций с контейнером, тем самым снизив эксплуатационные расходы, приходящиеся на грузоподъемные механизмы;
- обеспечить повышение безопасности движения поездов и сохранность перевозимых контейнеров и грузов.

#### Список литературы

- 1 Технология осмотра фитинговых вагонов-платформ, следующих по замкнутым кольцевым маршрутам на инфраструктуре ОАО «РЖД» № 911-2020 ПКБ ЦВ. – 2021. – 9 с.
- 2 Гудок. – Вып. 18 (26867). – 2021. – 4 февр. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://gudok.ru/newspaper/>. – Дата доступа : 25.08.2022.
- 3 Гудок. – Вып. 233 (26842). – 2019. – 18 дек. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://gudok.ru/newspaper/>. – Дата доступа : 25.08.2022.
- 4 Москвичева, Е. Е. К вопросу совершенствования производственной деятельности контейнерных терминалов / Е. Е. Москвичева, Д. В. Васильев // Наука и образование транспорту. – 2019. – № 1. – С. 149–154.
- 5 Москвичева, Е. Е. Цифровая трансформация станционных технологических процессов / Е. Е. Москвичева // Наука и образование транспорту. – 2020. – № 1. – С. 133–135.

УДК 004.942

## МЕТОДЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ПРАВОНАРУШЕНИЙ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ, АВТОМОБИЛЬНОМ И ВОДНОМ ТРАНСПОРТЕ

*М. И. МУКОНИНА, В. Д. ШВАЛОВ*

*Ростовский государственный университет путей сообщения,  
г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация*

Прогнозирование правонарушений является одной из самых сложных задач, особенно когда анализ имеет тенденцию оценивать предполагаемые деяния. В этой работе мы используем стратегию модели временных рядов и систем машинного тестирования для оценки степени правонарушений. В рамках нашего исследования были применены различные методы прогнозирования количества возможных правонарушений на объектах железнодорожного, автомобильного и водного транспорта на ближайшие пять лет.

Прогнозирование временных рядов – это один из универсальных подходов, позволяющих решать задачу прогнозирования с использованием большого набора данных. Временной ряд относится к последовательности данных, результаты которой получены после обучения и тестирования системы в заданных временных интервалах. Полученные результаты становятся первичными данными для следующей итерации обучения и тестирования.

Метод Бокса – Дженкинса [1] предполагает, что стационарный временной ряд можно аппроксимировать с помощью модели авторегрессии – скользящего среднего (ARMA). Однако если временной ряд нестационарен, его можно аппроксимировать интегрированной моделью авторегрессии (ARIMA). Метод состоит из четырех этапов: идентификация, оценка, диагностическая проверка и прогнозирование. Метод ARIMA полезен для анализа данных с корреляцией между соседними наблюдениями и анализа многомерных временных рядов.

На первом этапе модель использует данные вместе с другой связанной информацией для выбора подкласса, чтобы он мог дать наилучшие обобщенные данные. На втором этапе модель использует данные для получения коэффициентов. На третьем этапе метод Бокса – Дженкинса оценивает модель в рамках имеющихся данных. Затем он проверяет области, в которых модель может быть улучшена при диагностической проверке, после чего прогнозируются результаты четвертого этапа.

Для прогнозирования в методе простого среднего используется среднее значение всех данных. В методе скользящего среднего каждое новое наблюдение становится переменной. Рассчитывают новое среднее значение, отбрасывая старое значение и добавляя новое значение. Затем полученное скользящее среднее используют для прогнозирования следующего периода.

Нейронные сети зарекомендовали себя в выявлении скрытых особенностей, которые пропускают другие алгоритмы [2]. В рамках нашей работы была реализована искусственная нейронная сеть (ИНС), которая содержит несколько скрытых слоев и функцию активации в виде выпрямленного линейного блока (*ReLU*), которая возвращает значение  $x$ , если  $x$  положительно, и  $0$  – в противном случае (рисунок 1). Модель ИНС будет фиксировать отношения между разными временами года, местоположениями, полом и возрастными группами, а также то, как уровень правонарушений изменяется в течение сезона, в определенном месте в зависимости от пола или возрастной группы. Программный код для реализации разработанной модели ИНС на языке *Python* представлен на рисунке 2.

Среди существующих функций активации функция активации *ReLU* чаще всего используется в случае свёрточных нейронных сетей, принимая во внимание операции по обработке изображений и задачи классификации изображений. Подход, использованный в нашем решении, оказался высокоэффективным с точки зрения точности и запоминаемости, «потери с течением времени» сокращаются с точки зрения количества эпох. *ReLU* действует как модифицированная функция идентичности, которая равна нулю на отрицательной оси  $x$  и идентичности на положительной оси  $x$ . Это помогает сохранить значения признаков и, таким образом, предоставляет конкретные числовые значения в качестве входных данных для следующего уровня ИНС.

Большинство практических приложений машинного обучения используют контролируемое обучение, в котором у нас есть одна или несколько входных переменных или функций ( $X$ ) и результирующая переменная или метка ( $Y$ ). Для того чтобы модель могла предсказать значения  $Y$ , необходимо использовать любой алгоритм для определения функции сопоставления от функций к метке на основе новых функций, которые заранее неизвестны. Основная цель обучения – использовать эффективное сопоставление, чтобы при появлении новой входной функции или данных ( $X$ ) модель могла предсказать правильную метку ( $Y$ ) для этого конкретного набора значений. Данный процесс классифицируется как пример контролируемого обучения. Алгоритм многократно делает прогнозы на обучающих данных для желаемого количества циклов, чтобы изучить отображение, и корректируется путем внесения обновлений для изучения нового метода отображения. Процесс повторного обучения останавливается, когда алгоритм достигает приемлемого уровня производительности.

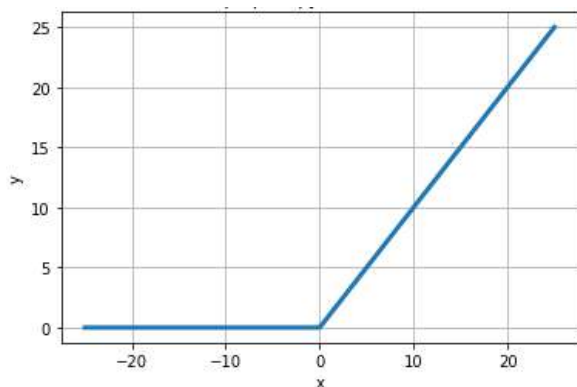


Рисунок 1 – График функции *ReLU*

```
rm(list = ls())
data=read.csv(file.choose(),header = T);data
attach(data)
plot.ts(data$TOTALCRIME,main="Number of crime",xlab="YEAR",ylab="TOTALCRIME")
plot.ts(data$Diff)
library(tseries)
adf.test(Diff,alternative="stationary")
acf(data$Diff,main="ACF of AR(1) process")
acf(data$Diff,main="ACF of MA(1) process")
pacf(data$Diff,main="PACF of AR(1) process")
pacf(data$Diff,main="PACF of MA(1) process")
fit=arima(data$Diff,order=c(1,1,1))
fit
fit1=arima(data$Diff,order=c(2,1,1))
fit2=arima(data$Diff,order=c(2,1,2))
fit3=arima(data$Diff,order=c(1,0,2))
fit4=arima(data$Diff,order=c(1,0,1))
par(mfrow=c(1,1))
tsdiag(fit2)
data.pred=predict(fit2,n.ahead=5)
data.pred
Box.test(fit$residuals,lag=1)
```

Рисунок 2 – Построение ИНС на языке *Python*

В качестве алгоритма машинного обучения был выбран алгоритм *KNN* [3], который применяется для автоматической классификации объектов или регрессии, использовали «евклидово расстояние» для вычисления расстояния до ближайшего соседа. В регрессоре *KNN* прогнозируемое значение является средним значением из ближайших соседей. На рисунке 3 показан псевдокод алгоритма регрессионного теста *KNN*.

Для оценки работоспособности ИНС, построенной по принципам, которые изложены в рамках нашей работы, было проведено тестирование алгоритмов машинного обучения на находящемся в свободном доступе наборе данных, в результате которого было установлено, что процент верных ответов, полученных ИНС после обучения, составляет 86,95 % (рисунок 4).

```

from sklearn.neighbors import KNeighborsRegressor as KNR
knr = KNR(n_neighbors=10)
knr.fit(years, y_new)
knr_df = pd.DataFrame()
knr_df['Actual'] = list(y_new[:5])
y_pred = knr.predict(x_fut)
knr_df['Predicted'] = y_pred
knr_df['Difference'] = y_pred - y_new[5,:]
knr_df.to_excel('KNR.xls', index=False)
plot(x_fut, y_pred, 'rx-', 'KNN')

```

Рисунок 3 – Псевдокод алгоритма регрессионного теста KNN

```

Console 1/A x
300/300 [=====] - 1s 5ms/step - loss: 0.3088 - mae: 0.0347 - accuracy: 0.8925
Epoch 96/100
300/300 [=====] - 1s 5ms/step - loss: 0.3079 - mae: 0.0346 - accuracy: 0.8927
Epoch 97/100
300/300 [=====] - 1s 5ms/step - loss: 0.3070 - mae: 0.0345 - accuracy: 0.8927
Epoch 98/100
300/300 [=====] - 1s 5ms/step - loss: 0.3061 - mae: 0.0344 - accuracy: 0.8937
Epoch 99/100
300/300 [=====] - 1s 5ms/step - loss: 0.3053 - mae: 0.0343 - accuracy: 0.8933
Epoch 100/100
300/300 [=====] - 1s 5ms/step - loss: 0.3046 - mae: 0.0342 - accuracy: 0.8935
313/313 [=====] - 1s 2ms/step - loss: 0.3644 - mae: 0.0381 - accuracy: 0.8695
Процент верных ответов на тестовых данных: 86.95

```

Рисунок 4 – Результат работы ИНС

Таким образом, применение различных методов прогнозирования и предотвращения нарушений правил пользования средствами железнодорожного, автомобильного и водного транспорта позволит идентифицировать человека, нарушающего правила пользования объектами транспортной системы, а также составить статистику, позволяющую заранее спрогнозировать опасные участки транспортной инфраструктуры и предотвратить правонарушения.

### Список литературы

- 1 **Mohri, M.** Foundations of machine learning / M. Mohri, A. Rostamizadeh, A. Talwalkar. – Cambridge, MA : The MIT Press, 2018 – 488 p.
- 2 **Давыдов, Ю. В.** Анализ способов построения гибридных интеллектуальных систем на основе приближенных множеств и искусственных нейронных сетей / Ю. В. Давыдов, М. А. Бутакова // Актуальные проблемы и перспективы развития транспорта, промышленности и экономики России : сб. науч. тр. Всерос. нац. науч.-практ. конф. ТрансПромЭк-2018. – Ростов н/Д, 2018. – Т. 1. Технические науки. – С. 29–33.
- 3 **Шумский, С. А.** Машинный интеллект. Очерки по теории машинного обучения и искусственного интеллекта / С. А. Шумский. – М. : РИОР, 2019. – 340 с.

УДК 656.2.08

## ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРЕВОЗОЧНОГО ПРОЦЕССА

*В. Я. НЕГРЕЙ, Д. В. КОЗЛОВИЧ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Стратегической задачей развития железнодорожного транспорта является повышение безопасности и энергоэффективности перевозочного процесса.

В настоящее время для оценки безопасности работы железнодорожного транспорта отсутствуют эталонные показатели, относительно слабо исследовано взаимодействие энергетической эффективности и безопасности [1]. Например, срыв стоп-крана, экстренное торможение, задержка поезда у запрещающих сигналов, неграфиковые остановки поездов, опоздание пассажирских поездов, предупреждение и ограничения скорости, повреждение вагонов на сортировочных, участковых и грузовых станциях и другие примеры негативно сказываются на уровне безопасности и энергоэффективности перевозочного процесса.

Массовый характер носит ограничение скорости движения грузовых поездов. В статье показано, что процесс движения поездов по участку при ограничении носит логико-вероятностный характер [2]. Исследования показали, что колебания продолжительности реакции машинистов и продолжительности срабатывания тормозов, а также в значительной мере случайный характер коэффициента сцепления необходимо учитывать при выборе длины ограничения и обеспечения безопасности движения.

Ряд ситуаций с высоким уровнем опасности: срыв стоп-крана, экстренное торможение, опасные соударения вагонов при расформировании-формировании поездов, скрытые повреждения подвижного состава при выполнении погрузочно-разгрузочных работ и другие причины – снижают энергоэффективность перевозочного процесса. Другими словами, снижение уровня безопасности приводит к существенным энергетическим и материальным потерям. Поэтому учёт влияния безопасности перевозочного процесса позволяет существенно повысить энергоэффективность работы транспорта.

При срыве стоп-крана, экстренном торможении и других опасных ситуациях, требующих снижения скорости, прямые потери энергии

$$R = 4,17(m_{л} + m_{с})(v_1^2 - v_2^2) \cdot 10^{-6}, \quad (1)$$

где  $m_{л}$  – масса локомотива, т;  $m_{с}$  – масса состава т;  $v_1, v_2$  – скорости в начале и в конце торможения соответственно, км/ч.

Экстренное торможение вызывает, по сравнению со срывом стоп-крана, гораздо бóльшие затраты энергии.

Количество срывов стоп-крана на случай экстренного торможения носит вероятностный характер [3] и с достаточной для практики расчетов точностью описывается нормальным законом распределения

$$P(Z) = \frac{1}{\sigma_Z \sqrt{2\pi}} \exp - \frac{(Z - \bar{Z})^2}{2\sigma_Z^2}, \quad (2)$$

где  $Z$  – количество срывов стоп-крана или случаев экстренного торможения;  $\bar{Z}$  – математическое ожидание количества срывов или экстренного торможения;  $\sigma_Z$  – среднеквадратическое отклонение случайной величины  $Z$ .

При высоком уровне количества срывов или экстренного торможения прямые потери топлива

$$B^{\max} = \bar{B} + 3\sigma_T, \quad (3)$$

где  $\bar{B}$  – математическое ожидание прямых потерь топлива (энергии) в течение года;  $\sigma_T$  – среднеквадратическое отклонение потерь топлива (энергии),

$$\sigma_T = \beta \sqrt{\lambda_Z L_c}, \quad (4)$$

где  $\beta$  – коэффициент, учитывающий влияние системы управления на количество опасных случаев ( $\beta = 0,6 \dots 0,7$ );  $L_c$  – длина эксплуатируемой сети железной дороги, км;  $\lambda_Z$  – интенсивность опасных случаев (срыв стоп-крана или экстренное торможение), ед./км.

Для средних условий, например, количество срыва стоп-крана  $\lambda_{ск} = 0,12 \dots 0,17$  ед./км.

Если  $L_c = 5500$  км, км, а  $\lambda_{ск} = 0,15$ , то

$$\sigma_c = 0,7 \sqrt{0,15 \cdot 5500} = 20,1.$$

Срыв стоп-крана вызывает потери топлива (средние условия) 15–20 кг. Для анализируемого в статье полигона сети  $\bar{B}_{ск} = 13035$  кг, а  $B^{\max} = 13035 + 3 \cdot 20,1 \cdot 15,8 = 13988$  кг  $\approx 14$  т.

Таким образом, используя приведённые в статье методики можно получить оценку энергетических потерь при различных опасных случаях, повысить энергоэффективность и безопасность перевозочного процесса.

#### Список литературы

1 Негрей, В. Я. Энергоэффективность перевозочного процесса / В. Я. Негрей // Тихомировские чтения: Синергия технологии перевозочного процесса : материалы Междунар. науч.-практ. конф. / под общ. ред. А. А. Ерофеева. – Гомель : БелГУТ. – 2019. – С. 29–32.

2 Негрей, В. Я. Логико-вероятностный метод в оценке безопасности транспортных систем / В. Я. Негрей, С. А. Пожидаев // Проблемы безопасности на транспорте : материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Гомель : БелГУТ, 2021. – С. 48–49.

3 Винтцель, Е. С. Исследование операций / Е. С. Винтцель. – М. : Советское радио, 1972. – 552 с.

УДК 656.212.5.08

## НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ СОРТИРОВОЧНЫХ УСТРОЙСТВ

В. Я. НЕГРЕЙ, С. А. ПОЖИДАЕВ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

В настоящее время в БелГУТе по заказу ГО «Белорусская железная дорога» завершается разработка и согласование проекта нормативного технического документа СТП «Правила и нормы про-



ектирования сортировочных устройств на Белорусской железной дороге». Данный документ разрабатывается впервые в Республике Беларусь. Он призван заменить действующие в настоящее время нормы ВСН-207-89 МПС СССР (1992 г.), разработанные еще в советское время.

Разработка новых правил и норм велась в течение длительного периода. Они направлены на формирование технической политики, современных правил, норм и требований в области проектирования сортировочных горок и других сортировочных устройств колеи 1520 мм на железнодорожных станциях, обновление и модернизацию горочных сортировочных комплексов, повышение безопасности и эффективности их функционирования. Анализ содержательной части основных регламентирующих документов в области проектирования сортировочных устройств показывает, что в них сохранены важнейшие концепции, принятые в ВСН 207-89.

1 *Высота сортировочной горки* определяется по условию докатывания легковесных одиночных отцепов до расчетной точки «трудного» по уровню работы удельных сил сопротивления движению пути сортировочного парка при неблагоприятных климатических условиях роспуска (встречный ветер, отрицательная температура наружного воздуха, снег и иней).

2 *Интервально-прицельное регулирование скорости движения отцепов*, скатывающихся с сортировочной горки, в соответствии с которым сортировочные горки оборудуются 1–4 тормозными позициями, оснащенными вагонными замедлителями.

Политика проектирования сортировочных устройств на Белорусской железной дороге, реализуемая в разработанном документе СТП, соответствует следующим основным принципам и подходам.

1 С учетом сложившейся практики проектирования и эксплуатации сортировочных устройств различных типов и принципов функционирования необходимо *расширение их классификации* (например, по мощности, уровню технического оснащения и автоматизации, допуску устройства к роспуску вагонов с опасными грузами с учетом оснащения этого устройства модулями, системами и устройствами автоматизации, обеспечивающими безопасность сортировочного процесса). Такое расширение, в частности, предусматривается проектом Памятки Р 836 комиссии ОСЖД комиссии по инфраструктуре и подвижному составу (г. Варшава).

2 Расширен порядок определения такого основного параметра, как высота сортировочной горки. Минимально необходимая высота сортировочной горки (по условию докатывания легковесных одиночных отцепов до расчетной точки сортировочных путей при неблагоприятных условиях работы) повышенной, большой и средней мощности может определяться как средневзвешенная величина из всех значений высоты горки  $H_j$ , вычисленных для отдельных румбов встречного ветра, находящихся по одну сторону от плоскости, перпендикулярной направлению роспуска, с учетом повторяемости значений скорости ветров в неблагоприятные периоды работы горки  $P_j$  (месяц года, в течение которого возможна наибольшая величина дополнительного удельного сопротивления движению от воздушной среды и ветра). Кроме того, дано развернутое выражение для определения высоты горки в условиях значительного разброса значений расчетных параметров.

3 Усовершенствован порядок расчета основных параметров сортировочных горок малой мощности, в т. ч. с одной тормозной позицией. Минимально необходимая высота сортировочной горки малой мощности должна определяться для наиболее трудного румба встречного ветра в неблагоприятных метеорологических условиях роспуска для «длинных» горочных горловин с коэффициентом нормированного отклонения «1,75». Учтены особенности проектирования таких горок на грузовых станциях.

4 Правила и нормы проектирования путевого развития сортировочной горки *разработаны с учетом требований обеспечения безопасной переработки современного длиннобазного подвижного состава* (увеличены радиусы круговых кривых (минимальная величина 200 м), длина прямых вставок, в т. ч. между обратными кривыми для безопасного прохода и автоматического сцепления длиннобазных вагонов, требования локализации потенциально опасных участков путей).

5 Расширен подход к технико-экономическому обоснованию и оптимизации параметров конструкции и технического оснащения сортировочных устройств, разработан новый раздел для анализа конструкций сортировочных устройств.

6 В теоретические положения по расчету параметров сортировочных устройств внесены следующие дополнения и изменения. Величина  $g'$ , называемая до сих пор «ускорение силы тяжести с учетом инерции вращающихся масс», является по своей сути просто коэффициентом. В проекте СТП  $g'$  принят как *коэффициент, характеризующий изменение кинетической энергии отцепа с учетом инерции вращающихся частей вагона*. Осевая нагрузка, от которой фактически зависит величина  $g'$ , имеет случайный характер и распределена по нормальному закону. При одной и той же осевой нагрузке

разброс ее значений может быть самым различным и зависит от структуры потока. Исходя из этого в реальных условиях коэффициент  $g'$  необходимо рассчитывать вероятностным способом. В противном случае поправка  $g'$  будет определяться с ошибкой. Так, учет величины колебаний осевой нагрузки позволяет повысить точность расчета энергетической высоты, эквивалентной скорости роспуска на вершине горки, примерно на 6–9 %. Уточняются скоростные параметры движения отцепов на спускной части горки и на сортировочных путях, которые влияют на временные интервалы между отцепами и условия их взаимодействия. Правильный расчет этих интервалов непосредственно оказывает влияние на безопасность работы горки, сохранность подвижного состава и грузов.

Получены новые выражения для расчета практически достижимой скорости входа ОХБ на первую тормозную позицию в зависимости от ряда определяющих факторов (высота горки, крутизна и длина скоростных участков горки, максимальная скорость роспуск, количество путей в сортировочном парке и др.). Величина этой скорости важна при проектировании тормозных средств сортировочной горки (потребной мощности тормозных позиций, рационального количества вагонных замедлителей), продольного профиля ее спускной части и начала сортировочных путей. По сути, предпринята попытка разрешения одной из неопределенностей в горочной теории.

7 Обычно мощность вагонных замедлителей задается средней величиной. Однако этого в современных условиях работы сортировочных горок уже явно недостаточно. Тормозная мощность одного замедлителя есть величина случайная с математическим ожиданием  $h_t$  и среднеквадратическим отклонением  $\sigma_t$ . Поэтому нельзя говорить о том, что суммарная мощность тормозных средств равна сумме мощностей отдельных замедлителей, т. е. необходимо говорить о суммарной мощности тормозных средств только как о вероятностной величине, которая будет гарантирована с определенной вероятностью. В данном случае учтено, что расчетная потребная тормозная мощность горки не превышала бы наличную, например, в 1 случае из 100. Увеличение количества замедлителей увеличивает общую тормозную мощность не пропорционально, а экспоненциально, т. е. наблюдается эффект насыщения. Если же разброс характеристик замедлителей возрастает, то условия работы горки ухудшаются. В связи с этим в документе приведены адаптированные выражения для расчета потребной мощности 1, 2 и 3-й тормозных позиций сортировочных горок.

8 С учетом изменения характеристик подвижного состава на роликовых подшипниках, улучшения их ходовых качеств и увеличения осевой нагрузки пересмотрены подходы к проектированию немеханизированных сортировочных устройств, как правило, горок малой мощности местного и регионального значения. Обоснована мощность тормозных позиций и допустимая длина юза при башмачном торможении отцепов для предотвращения образования термомеханических повреждений на поверхности катания колес вагонов, рекомендуемая величина которой равна 10–12 м, а максимально допустимая – 15 м. Необходимо предусматривать на таких горках применение дополнительных устройств для проворота колесных пар во время движения юзом, применение специальных (композитных) горочных тормозных башмаков.

9 Приведены характеристики, особенности конструкции и использования новых технических средств (замедлителей, компрессорных установок, гидравлических станций, аппаратно-программных комплексов и др.), перспективных устройств закрепления подвижного состава на приемо-отправочных, сортировочно-отправочных путях парков станций типа «ЗУБР», «УВУ», устройств заграждения на сортировочных путях парков «БЗУ-ДУ-СП», ТВЗ (стопперы) в одиночном и комплексном исполнении. На основе данных механических устройств разрабатываются автоматизированные системы закрепления подвижного состава в парках станций для повышения безопасности перевозочного процесса, сокращения локомотиво- и вагоно-часов простоя, вывода персонала из опасных зон.

УДК 625.16.096

## ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ БЕЗОПАСНОСТИ РАБОТЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПЕРЕЕЗДОВ

В. Я. НЕГРЕЙ, Г. В. ЧИГРАЙ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Развитие теории безопасности транспортных систем в значительной мере связано с разработкой эталонных алгоритмов расчета основных параметров, определяющих безопасность перевозочного процесса.



Одним из кластеров, определяющих безопасность работы автомобильного и железнодорожного транспорта, являются железнодорожные переезды; ключевым параметром, определяющим безопасность, – тормозной путь.

Безопасность перевозочного процесса всегда оставалась приоритетом в развитии железнодорожного транспорта. Одно из наиболее опасных мест на железных дорогах – переезд. Здесь совершается пересечение в одном уровне железной дороги с автомобильной. Кроме того, преимуществом в движении пользуются поезда, которые имеют гораздо больший, чем автомобили, тормозной путь. Если же учесть, что машинист поезда часто имеет ограниченную видимость переезда, то он не может предотвратить нарушения, которые допускает водитель автомобиля на переезде.

На железнодорожном транспорте для определения длины тормозного пути используется логико-вероятностный подход. В рамках существующих методов расчета этого параметра исходят из детерминированной природы протекающих процессов. В частности, допускается, что время реакции машиниста является детерминированной величиной и не зависит от целого ряда факторов. Еще более серьезные допущения принимаются в отношении времени срабатывания автотормозов. В действительности указанные параметры подвержены существенным колебаниям, которые носят вероятный характер. Об этом говорят многочисленные эргономические и технические эксперименты, выполненные как на транспорте, так и в других отраслях науки и техники.

Еще более сложный характер имеет такая величина, как тормозной путь автомобиля. На автомобильном транспорте расчет величины тормозного пути ведется для детерминированных условий по формуле

$$S_m^a = \frac{v^2}{2g(\varphi \pm i_a)}, \quad (1)$$

где  $v$  – скорость движения автомобиля в момент начала торможения, м/с;  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $\varphi$  – коэффициент сцепления автомобильных шин с дорожным покрытием;  $i_a$  – уклон автомобильной дороги, ‰.

Анализ выражения (1) показывает, что оно не учитывает расстояние, которое пройдет автомобиль за время реакции водителя, и длину самого транспортного средства. В действительности тормозной путь является частью полного пути торможения.

Исследования показывают, что проектирование режимов безопасного движения на переездах нуждается в существенных изменениях. Статистика позволяет отметить, что особый подход требуется к обеспечению безопасности движения при снятии охраны на переезде. Для практики проектирования и эксплуатации железнодорожных переездов важно установить опасную зону торможения – расстояние, на котором остановится автомобиль с учетом всех факторов.

В общем виде выражение для расчета длины опасной зоны торможения имеет вид

$$L_{от} = v_a t_p + \frac{v^2}{2g(\varphi \pm i_a)} + l_a + l_{п} (+\Delta), \quad (2)$$

где  $v_a$  – скорость движения автомобиля в начале опасной зоны, км/ч;  $t_p$  – продолжительность реакции водителя, с;  $l_a$  – длина автомобиля, м;  $l_{п}$  – расстояние от входного до выходного шлагбаума, м.

Принятые в действующей практике нормативы длины опасной зоны торможения на переездах не соответствуют реальным условиям эксплуатации, так как справедливы только для детерминированного случая, когда отсутствует влияние случайных факторов. Расчеты показали, что в диапазоне скорости движения от 5 до 60 км/ч относительная ошибка в определении важнейшего параметра безопасности движения на переезде детерминированным методом составляет 40–60 % и требует изменения сложившейся ситуации. Однако в реальных условиях продолжительность реакции водителя, начальная скорость торможения, коэффициент сцепления и другие факторы являются случайными величинами.

Выполненные исследования показывают, что продолжительность реакции водителя  $t_p$  описывается нормальным законом распределения, т. е.

$$P(t_p) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t_p - \bar{t}_p)^2}{2\sigma^2}}, \quad (3)$$

где  $\bar{t}_p$  – математическое ожидание продолжительности реакции водителя, с;  $\sigma$  – среднее квадратическое отклонение продолжительности реакции водителя, с.

Если случайна величина  $t_p$ , то и величина  $l_p$  является случайной и будет описываться нормальным законом распределения.

$$P(t_p) = \frac{1}{\sigma v \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t_p - \bar{t}_p)^2}{2(\sigma v)^2}}, \quad (4)$$

Учет вероятностного характера составляющих величин позволит повысить точность расчета длины тормозного пути и обеспечить достаточный уровень риска и безопасности движения транспортных средств на железнодорожных переездах.

Принцип выбора пороговых значений величины длины тормозного пути для железнодорожного и автомобильного транспорта представлен на рисунке 1.

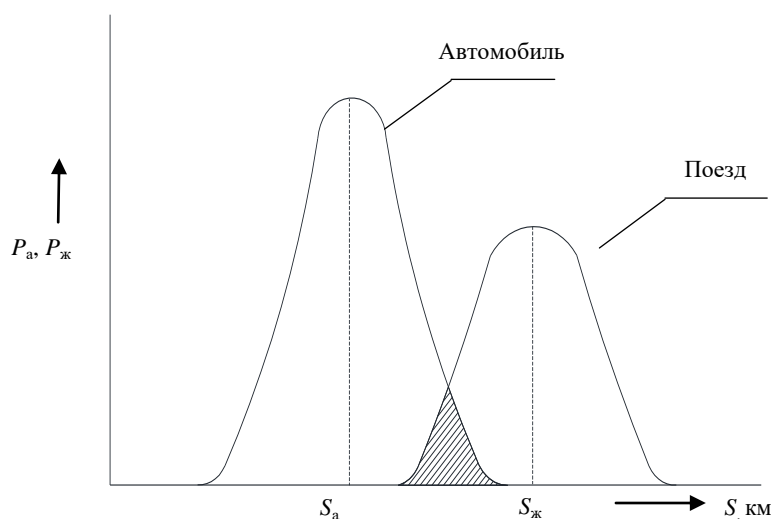


Рисунок 1 – Выбор пороговых значений величины длины тормозного пути для железнодорожного и автомобильного транспорта

Заштрихованная область  $\psi$  на рисунке 1 представляет собой уровень риска при движении по автомобильному переезду и является разницей двух случайных величин.

Таким образом, учет вероятностных характеристик движения поездов и автомобилей указывает на необходимость проведения целой системы мер, направленных на увеличение расстояния видимости и длины расчетного тормозного пути.

Поэтому для уменьшения случаев крушений, аварий и браков важное значение имеет разработка эталонных алгоритмов и методик проектирования (эксплуатации) транспортных объектов.

УДК 656.225 + 06

## К ВОПРОСУ РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ

*И. А. СОЛОП, Е. А. ЧЕБОТАРЕВА*

*Ростовский государственный университет путей сообщения,  
г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация*

*П. В. КУРЕНКОВ*

*Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва*

Соблюдение безопасности движения на железнодорожном транспорте является ключевым фактором, обеспечивающим эффективность работы перевозочного процесса. Развитие скоростного движения поездов и повышение скоростей движения [1], расширение сфер функционирования железнодорожного транспорта [2], охватывающее внутригородские перевозки растущих мегаполисов и аэроэкспрессы, ввод в эксплуатацию железных дорог в сложных климатических условиях требуют постоянного совершенствования уровня безопасности для пассажиров, перевозимых грузов и

всего окружения железных дорог. Для решения вопросов безопасности движения требуется высокий уровень организационной работы и современных технических средств.

Компания ОАО «РЖД» определяет политику в области безопасности движения, которой обязаны следовать все подразделения Российских железных дорог. Единый подход к обеспечению безопасности движения необходим для недопущения транспортных происшествий и событий, таких как аварии и крушения. В этих целях издаются нормативные документы, инструкции, обязательные для исполнения всеми участниками перевозочного процесса.

Рассмотрим, как реализуется Система менеджмента безопасности движения (СМБД) на сети дорог, в частности, на Северо-Кавказской железной дороге. СМБД представляет собой часть общей системы управления (менеджмента) организации холдинга «РЖД» применительно к безопасности движения. Целью СМБД является безопасность пассажиров, сохранность грузов, а также безопасность людей и транспортной инфраструктуры, окружающей объекты железнодорожного транспорта. Задачей является приоритет обеспечения безопасности во всех процессах деятельности, связанных с движением поездов. Вся система менеджмента безопасности движения состоит из восьми управляемых видов деятельности, или элементов (рисунок 1).



Рисунок 1 – Элементы Системы менеджмента безопасности движения

Рассмотрим некоторые из них. Первый и основной элемент – это реализация политики в области безопасности движения. Все мероприятия, проводимые на транспорте, направлены на обеспечение безопасных условий труда, снижение производственного травматизма, сохранение жизни и здоровья работников. На основе нормативных документов каждая железная дорога разрабатывает свои местные (локальные) документы, применительно к местным условиям. Например, ряд участков Северо-Кавказской железной дороги пролегает в зонах со сложным рельефом, климатическими особенностями. На дороге располагается много мостов и тоннелей большой протяженности. Транспортная инфраструктура железной дороги должна быть защищена от природных явлений (селей, оползней) в горных районах, затоплений и прочих негативных природных воздействий. Однако наибольший риск возникновения нарушений безопасности движения исходит от самих людей. Это так называемый «человеческий фактор». Поэтому очень важно, чтобы работники были компетентны в своей сфере и ответственно подходили к своим должностным обязанностям.

К сожалению, примеры негативного влияния «человеческого фактора» на сети железных дорог нашей страны редкостью не являются. 3 августа 2021 г. на перегоне Алеур – Бушулей Забайкальской железной дороги допущено столкновение грузовых поездов со сходом 7 вагонов и вытеканием нефтепродуктов. Причиной явилось нарушение требований инструкций и нормативных документов работниками хозяйства автоматики и телемеханики при выполнении работ по техническому обслуживанию и ремонту устройств.

В деятельности подразделений существуют недостатки, которые могут при определенных условиях стать причиной или способствовать возникновению транспортных происшествий и событий, о которых говорится выше. Это так называемые «факторы риска» [3]. В холдинге «РЖД» формируются специальные перечни – реестры рисков. Они различаются для каждого хозяйства. Например, для хозяйства пути и локомотивного комплекса они будут разными. Среди них протяженность

участков пути с вылесками, количество пар плетей вне оптимальной температуры закрепления на участках обслуживания дистанций пути, нарушения при управлении автотормозами со стороны локомотивных бригад, нарушение режима их труда и отдыха руководителями эксплуатационных локомотивных депо и многие другие факторы. Контроль за степенью проявления таких факторов очень важен, еще важнее воздействовать на них, сводя к минимуму негативное влияние на безопасность движения. Мониторинг, анализ и управление рисками называется риск-менеджментом. Если управление рисками не организовано или организовано слабо, транспортные происшествия и события не заставят себя долго ждать. Например, из-за отсутствия со стороны дистанции пути должных мер по снижению негативного влияния фактора риска 4 февраля 2022 г. был допущен сход и опрокидывание тепловоза на перегоне Комсомольская – Апшеронская.

Одним из элементов СМБД является формирование качественных и количественных показателей. Это показатели, достижение которых устанавливается в качестве цели на определенный период для подразделений холдинга, обычно на год. Их достижение или недостижение говорит не только о состоянии безопасности движения, но и об эффективности функционирования подразделения. Качественные показатели определяют пути улучшения для функционирования процессов деятельности предприятия. Их достижение не должно быть препятствием для обеспечения безопасности движения. Количественные показатели характеризуются численным выражением. Применительно к вопросам безопасности движения они представляют собой предельные значения для негативных факторов, которые нельзя превышать. Например, это может быть допустимое количество отказов технических средств. Для достижения целевых показателей разрабатываются адресные планы мероприятий, выполнение которых необходимо контролировать.

Если планы мероприятий не выполняются, это может привести не просто к неудовлетворительной статистике, а напрямую спровоцировать возникновение транспортных происшествий и опасных событий, таких как столкновения и сходы подвижного состава, в том числе угрожающие жизни и здоровью граждан, утрата и порча груза, утечка опасных грузов, пожар и другие. Проведенный анализ некоторых элементов Системы менеджмента безопасности движения позволяет понять основу того, как функционирует эта система и насколько важны ее элементы в деятельности всего холдинга «РЖД». Это, безусловно, поможет в дальнейшем принимать наиболее эффективные решения по повышению производственной эффективности работы компании в целом.

#### Список литературы

- 1 **Зубков, В. Н.** Повышение участковой скорости в условиях развития скоростного движения пассажирских поездов на полигоне Северо-Кавказской железной дороги / В. Н. Зубков, А. Г. Черняев, Е. А. Сергеева // Вестник РГУПС. – 2013. – № 3. – С. 124–131.
- 2 Развитие транспортно-логистической системы для повышения эффективности перевозок / Д. Г. Кучинский [и др.] // Вестник РГУПС. – 2020. – № 1. – С.121–128.
- 3 **Веревкина, О. И.** Методы оценки показателей процессного подхода к управлению рисками в обеспечении безопасности движения / О. И. Веревкина // Вестник РГУПС. – 2018. – № 1. – С.76–81.

УДК 621.08

## КУЛЬТУРА БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ МАНЕВРОВЫХ РАБОТ

*Н. М. СОСЕВИЧ, В. Н. ПАНЧЕНКО, Я. В. АКИМЕНКО*

*Самарский государственный университет путей сообщения, Российская Федерация*

Основными целями холдинга «РЖД» в области безопасности движения поездов следует считать обеспечение заданного уровня безопасности при минимизации последствий от транспортных происшествий и сохранности жизни и здоровья людей, грузов, подвижного состава, объектов инфраструктуры [1, с. 35].

Цель процесса менеджмента безопасности состоит в том, чтобы безошибочно и эффективно задавать параметры и управлять параметрами, относящимися к безопасности движения.

В настоящее время Стратегия безопасности и надежности перевозочного процесса в холдинге «РЖД» основана на построении эффективных систем менеджмента безопасности движения, опирающихся на инструменты риск-менеджмента и принципы формирования культуры безопасности [2].

Культура безопасности – это результат осознания работниками железнодорожного транспорта важности обеспечения безопасности движения и своей социальной ответственности за нее, осознания того, что достижение безопасности движения является приоритетной целью и личной потребностью при выполнении всех работ. Важно прививать понимание необходимости открытого обмена информацией, бережного отношения к персоналу. Необходимо осознавать и признавать возможности совершенствования безопасности, выделять необходимые ресурсы для достижения этой цели.

Результаты анализа причин происшествий на железнодорожном транспорте свидетельствуют о том, что они носят системный характер. В частности, в качестве признаков низкой культуры безопасности можно выделить следующие технологические нарушения: нарушение допуска персонала к работе, неудовлетворительная организация производственного процесса, низкая исполнительская дисциплина. Таким образом, «человеческий фактор» является наиболее частой причиной всех тяжелых транспортных нарушений на инфраструктуре ОАО «РЖД» [3, с. 4–8].

Для разработки мероприятий, направленных на снижение влияния человеческого фактора на безопасность движения, необходимо создать культуру безопасности, а для этого следует вести анализ существующего состояния объектов инфраструктуры и технических средств [4].

Очень редко железнодорожная катастрофа бывает результатом какого-то одного, ни с чем не связанного события. Чаще всего она происходит тогда, когда одновременно проявляются несколько факторов, каждый из которых сам по себе может и не привести к тяжелым последствиям.

Деятельность машиниста направлена на решение двух по существу различных, но взаимосвязанных задач: управление энергетической и механической системами локомотива и наблюдение за внешней средой в процессе ведения поезда. Эти задачи приходится решать в условиях постоянного значительного нервно-эмоционального напряжения, вызываемого сознанием огромной ответственности за жизнь пассажиров, сохранность материальных ценностей, соблюдение графика движения, выполнение ПТЭ.

За 8 ч поездной работы на машиниста магистрального локомотива действуют в среднем около 7000 различных раздражителей, из которых 900 являются производственно важными, определяющими безопасность движения поезда (путевые сигналы, сигналы железнодорожных переездов и др.). В течение этого же времени машинист проделывает около 1100 операций по управлению.

Весьма загружен и машинист маневрового локомотива, особенно при работе на безгорочной станции. За смену ему приходится делать до 350 остановок на станции, из них около 250 продолжительностью до 3 мин. За это время он воспринимает и перерабатывает до 1400 различных сигналов, получает по 30–50 заданий, порой даже противоречивых. Таким образом, деятельность машиниста – это процесс переработки непрерывно получаемой информации.

Ошибки, допускаемые машинистом, можно условно разделить на две группы:

- ошибки в самих действиях (неправильное использование тормозов, неправильный набор позиций контроллера, неправильное трогание поезда с места и т. п.);
- ошибки по времени выполнения действия (запоздалое применение тормозов, запоздалые действия по прекращению боксования и т. п.). Отсюда следует, что одним из основных показателей надежности служит своевременность действия. Несвоевременные действия часто приводят к тому же результату, что и явно совершенная ошибка.

Кроме того, безопасность движения находится в прямой зависимости от состояния технических средств, от соблюдения установленных сроков и правил производства ремонта, обслуживания их в поездах, своевременного выявления и устранения неисправностей.

**Маневровая работа является наиболее опасным видом движения.**

Маневровая работа на станции выполняется в соответствии с технологическим процессом работы данной станции и оперативным планом работы. Общее руководство маневровой работой возлагается на маневрового (станционного) диспетчера, а при его отсутствии на дежурного по станции. Общее руководство выполнением маневров в отдельных парках или горловинах парков крупной станции может также возлагаться на дежурного по горке или дежурного по парку.

Маневровая работа выполняется маневровой бригадой, состоящей, как правило, из следующих лиц:

- составителя поездов (руководитель);
- помощника составителя;
- машиниста маневрового локомотива;
- регулировщика скорости движения вагонов;
- операторов постов электрической централизации (ЭЦ) и горочных распорядительного и исполнительных постов.

С целью экономии средств на перевозку на станциях состав маневровой бригады сокращают, что, к сожалению, отрицательно влияет на обеспечение безопасности проведения маневров и их продолжительность.

Руководителем маневров называется лицо, непосредственно руководящее действиями его участников. Такое руководство выполнением маневровой работы в пределах маневрового района станции возложено на составителя поездов. Он отвечает за точность, своевременность и безопасность выполнения задания ДСЦ и должен обеспечивать личную безопасность работников, входящих в маневровую бригаду либо привлекаемых к выполнению определенных видов маневровой работы работников станции.

В соответствии с технологическим процессом перед началом работы составителем поездов осуществляется рациональная расстановка людей, занятых на маневрах, передача плана выполнения маневровой работы. Основой организации маневровой работы станции являются: оперативный план на смену и текущий на 4–6 часов, требования технологического процесса, ТРА станции, ПТЭ и инструкции.

План содержит задание на маневровую работу. При его выполнении должны быть обеспечены: беспрепятственный прием поездов, наименьшие затраты времени на расформирование и формирование составов, подача и уборка вагонов, рациональное использование локомотива, безопасность при маневрах и техника безопасности работников маневровой бригады.

С целью обеспечения безопасного выполнения маневровой работы станция разбивается на маневровые районы (часть станции, которая включает группу путей, обслуживаемых одним локомотивом), их границы определяются ТРА. Это позволяет улучшить условия работы, лучше знать свое рабочее место, производительнее работать. Маневровые локомотивы работают только в одном районе. Но это не исключает взаимопомощи локомотивов. Переезд локомотива или маневрового состава из одного района в другой согласно ПТЭ выполняется только по распоряжению одного работника (с разрешения ДСЦ или ДСП) с предупреждением работников маневрового района, куда перемещается маневровый состав, о необходимости прекращения выполнения работ. Маневровые локомотивы оборудованы радиосвязью. Для оперативного руководства маневровой работой составители поездов используют переносные радиостанции и напольную громкоговорящую связь.

При обслуживании маневровым локомотивом нескольких станций передвижение маневровых передач осуществляется поездным порядком по согласованию дежурных по станциям и поездного диспетчера.

Обеспечение безопасности и сохранности подвижного состава – важнейшее условие выполнения маневровой работы.

При выполнении различных видов маневровой работы скорости передвижения не должны превышать предельно допустимых, установленных ПТЭ:

- 60 км/ч – при следовании по свободным путям одиночных локомотивов и локомотивов с вагонами, прицепленными сзади с включенными и опробованными автотормозами;
- 40 км/ч – при движении локомотива с вагонами, прицепленными сзади, а также при следовании одиночного специального самоходного подвижного состава по свободным путям;
- 25 км/ч – при движении вперед вагонами по свободным путям, а также восстановительных и пассажирских поездов;
- 15 км/ч – при движении с вагонами, занятыми людьми, а также с негабаритными грузами боковой и нижней негабаритности 4, 5 и 6-й степеней;
- 5 км/ч – при маневрах толчками, при подходе отцепы вагонов к другому отцепу в подгорочном парке;
- 3 км/ч – при подходе локомотива (с вагонами или без них) к вагонам.

Кроме районирования маневровой работы для повышения производительности труда осуществляется специализация маневровых бригад по видам маневровой работы.

Станция является зоной повышенной опасности, поэтому при выполнении маневров необходимо соблюдать определенные требования, предусмотренные специальными правилами и инструкциями.

Ответственность за обеспечение безопасных приемов труда на станции возлагается на начальника станции и главного инженера или инженера по охране труда. Они должны организовать постоянный контроль за исправным состоянием и содержанием всех устройств на станции, выполнением требований Инструкции по технике безопасности, своевременно предъявлять требования к другим службам по

содержанию технических устройств. Всю территорию станции необходимо вовремя очищать от мусора, негабаритные места – ограждать постоянными предупредительными знаками «ОСТОРОЖНО, НЕГАБАРИТНОЕ МЕСТО», освещать рабочие места согласно установленным нормам.

Каждый работник, участвующий в маневрах, обязан соблюдать следующие правила.

1 Прежде чем начать передвижение, нужно внимательно осмотреться, убедиться в отсутствии движущегося подвижного состава.

2 Передвигаться посередине междупутья или перпендикулярно путям.

3 Если путь занят, следует пользоваться переходными площадками.

4 Нельзя подлезать под вагоны, сходить с вагона на ходу маневрового состава при скорости более 3 км/ч.

5 Переходить пути между вагонами, когда вагоны неподвижны и расстояние между ними не менее 10 м. Обходить вагоны следует на расстоянии не менее 5 м.

6 Сходить с вагона нужно лицом к вагону. На работу и с работы ходить по установленным на станции маршрутам, специальным дорожкам и переходам.

7 Разъединять рукава необходимо после перекрытия концевых кранов, первым закрывать кран со стороны машиниста.

8 При расцепке вагона нельзя заходить в межвагонное пространство.

9 Тормозные башмаки на рельс надо укладывать заранее или с помощью специальной вилки. При этом следует стоять вполборота к движущемуся вагону и укладку производить в межвагонном пространстве вагона.

10 Не приближаться к контактному проводу ближе двух метров.

#### Список литературы

1 Шайдуллин, Ш. Н. Политика в области безопасности движения / Ш. Н. Шайдуллин // Железнодорожный транспорт. – 2015. – № 2. – С. 35–38.

2 Об утверждении стратегии обеспечения гарантированной безопасности и надежности перевозочного процесса в холдинге «РЖД»: распоряжение ОАО «РЖД» (Вместе со Стратегией): утв. 08.12.2015. – № 2855р [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cssrzd.ru/orders/2855.php>. – Дата доступа: 20.02.2022.

3 Шайдуллин, Ш. Н. Эффективно использовать инструменты системы менеджмента безопасности движения / Ш. Н. Шайдуллин // Железнодорожный транспорт. – 2014. – № 12. – С. 4–8.

4 Суворов, О. О. Развитие культуры безопасности как инструмент повышения безопасности движения поездов / О. О. Суворов // Современные технологии обеспечения безопасности на железнодорожном транспорте: материалы III Всерос. с междунар. участием науч.-практ. конф. / отв. ред.: У. М. Шереметьева. – Новосибирск, 2016. – 165 с.

5 Шайдуллин, Ш. Н. Совершенствовать технологическую дисциплину и управление качеством работ / Ш. Н. Шайдуллин // Железнодорожный транспорт. – 2014. – № 2 – С. 4–9.

УДК 656.078

### О НЕКОТОРЫХ АСПЕКТАХ РЕГУЛИРОВАНИЯ ВОПРОСОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

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

Одним из приоритетных принципов функционирования железнодорожного транспорта является обеспечение безопасности деятельности организаций железнодорожного транспорта, создание условий для сохранения жизни и здоровья граждан, окружающей среды.

Действующая редакция Закона Республики Беларусь «О железнодорожном транспорте» [1] (далее – Закон) содержит статьи, регулирующие отдельные вопросы в области безопасности на железнодорожном транспорте: обеспечение безопасности движения и эксплуатации железнодорожного транспорта (статья 26); зоны повышенной опасности (статья 27); железнодорожные переезды и железнодорожные пешеходные переходы (статья 28); ответственность за нарушение правил безопасности движения и эксплуатации железнодорожного транспорта (статья 29); охрана грузов и объектов организаций железнодорожного транспорта общего пользования от противоправных посягательств (статья 30); охрана общественного порядка (статья 31); организация работы в чрезвычайных ситуациях (статья 32).

Безопасность движения и эксплуатации железнодорожного транспорта является составной частью организации перевозочного процесса [2, 3]. Следовательно, в Законе необходимо определить основные условия обеспечения безопасности на принципах системности и комплексности. Положения, определяющие безопасность функционирования железнодорожного транспорта, должны быть регламентированы в Законе как по общим условиям организации перевозочного процесса, так и по отдельным наиболее ответственным процессам и видам деятельности при перевозке грузов и пассажиров (рисунок 1).

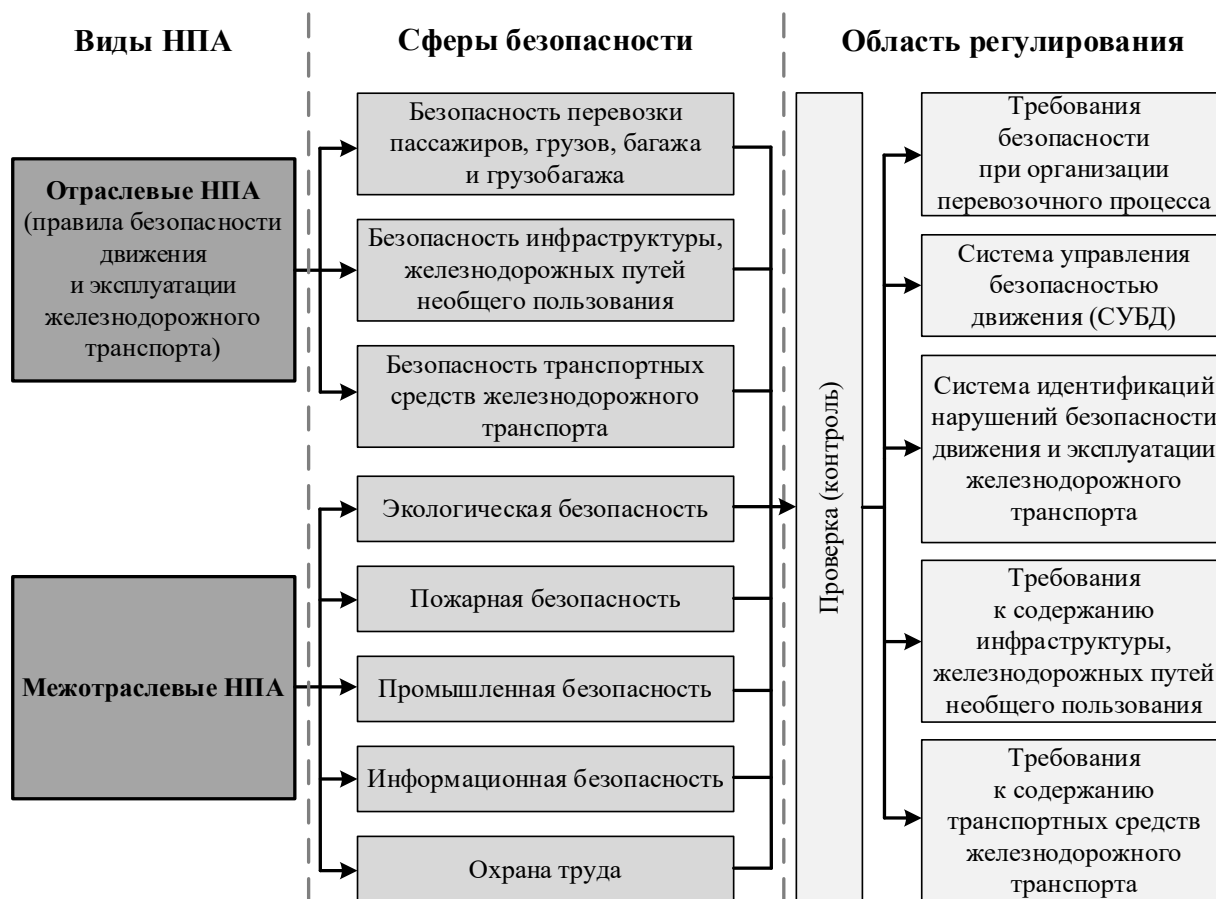


Рисунок 1 – Структурная схема регулирования вопросов обеспечения безопасности на железнодорожном транспорте

Организации железнодорожного транспорта, оказывающие услуги (выполняющие работы), должны иметь систему управления безопасностью движения (СУБД) и осуществлять деятельность в рамках Правил безопасности движения или эксплуатации железнодорожного транспорта, которые представляют собой свод требований безопасности по существенным процессам организации и обеспечения перевозочного процесса [4].

Важным условием обеспечения безопасности на железнодорожном транспорте является формирование нормативно-правовой среды, регламентирующей требования по учету и расследованию допущенных нарушений. Белорусской железной дорогой как оператором инфраструктуры железнодорожного транспорта общего пользования утверждена классификация нарушений безопасности движения и эксплуатации железнодорожного транспорта в поездной и маневровой работе [5] (далее – нарушения безопасности движения поездов).

Для формирования единой информационной базы допущенных на железнодорожном транспорте общего пользования нарушений безопасности движения поездов применяется технология их автоматизированного учета [6], которая включает сбор информации не только о нарушениях безопасности движения в поездной и маневровой работе (транспортные происшествия (крушения, аварии), события, связанные с нарушением правил безопасности движения и эксплуатации железнодорожного транспорта), но и о других видах нарушений:



- отказов технических средств и задержек поездов по техническим причинам;
- сбоев в работе устройств автоматической локомотивной сигнализации непрерывного действия (АЛСН), комплексных локомотивных устройств безопасности (КЛУБ);
- происшествий (дорожно-транспортные происшествия, непродуманный травматизм, производственный травматизм, противоправные действия на объектах железнодорожного транспорта, обнаружение предметов, имеющих признаки взрывного устройства, пожары на железнодорожном подвижном составе и объектах железнодорожного транспорта);
- нарушений правил по обеспечению безопасности перевозки опасных грузов (аварии, инциденты).

В настоящее время порядка 840 организаций железнодорожного транспорта, не входящих в систему Министерства транспорта и коммуникаций и в состав Белорусской железной дороги, имеют на балансе железнодорожные пути необщего пользования. При этом действие классификации нарушений безопасности движения и технологии их автоматизированного учета не распространяется на владельцев железнодорожных путей необщего пользования иной ведомственной подчиненности.

В связи с этим необходимо на законодательном уровне установить, что субъектами сбора информации о происшествиях при осуществлении транспортной деятельности на железнодорожном транспорте являются организации, имеющие на балансе железнодорожные пути необщего пользования. Все организации железнодорожного транспорта должны осуществлять учет нарушений правил безопасности движения и эксплуатации железнодорожного транспорта, допущенных на инфраструктуре, железнодорожных путях необщего пользования, при эксплуатации транспортных средств железнодорожного транспорта, а также своевременно информировать о нарушениях и их причинах соответствующий контролирующий (надзорный) орган.

Важнейшим элементом системы реагирования на нарушения правил безопасности движения и эксплуатации железнодорожного транспорта является их расследование. Поэтому в Законе целесообразно регламентировать, что нарушения правил безопасности движения и эксплуатации железнодорожного транспорта, допущенные на инфраструктуре, железнодорожных путях необщего пользования, при эксплуатации транспортных средств железнодорожного транспорта, подлежат обязательному расследованию организациями железнодорожного транспорта, а также в случаях, установленных законодательством, – соответствующим контролирующим (надзорным) органом в целях установления причин и принятия мер по их недопущению.

При этом классификация нарушений безопасности движения и эксплуатации железнодорожного транспорта в поездной и маневровой работе, порядок учета, информирования и расследования указанных нарушений в целях охвата организаций железнодорожного транспорта независимо от их ведомственной подчиненности должны устанавливаться уже не Белорусской железной дорогой, а Министерством транспорта и коммуникаций.

Важной и актуальной составляющей системы мер по обеспечению безопасности при функционировании железнодорожного транспорта является обеспечение информационной безопасности, требования к которой необходимо установить в Законе с учетом специфики транспортной деятельности и большого объема информации, связанной с перевозкой грузов и пассажиров.

В ноябре 2021 года в Республике Беларусь вступил в силу Закон Республики Беларусь «О защите персональных данных» [7]. В соответствии с его положениями организации железнодорожного транспорта при взаимодействии с потребителями услуг железнодорожного транспорта (далее – потребители) могут осуществлять обработку их персональных данных, т. е. выступать в качестве оператора персональных данных. Установлено, что оператором персональных данных должны быть приняты следующие меры: назначено лицо (создано структурное подразделение), ответственное за осуществление внутреннего контроля за обработкой персональных данных; разработаны документы, определяющие политику в отношении обработки персональных данных; определен порядок доступа к персональным данным; внесены изменения в должностные инструкции работников, осуществляющих обработку персональных данных и прочие [8].

Обеспечение информационной безопасности также регулируется Законом Республики Беларусь «Об информации, информатизации и защите информации» [9], в котором установлено, что целями защиты информации является недопущение неправомерного доступа, уничтожения, модификации (изменения), копирования, распространения и (или) предоставления информации, блокирования правомерного доступа к информации, а также иных неправомерных действий. На основании этого в Законе целесообразно установить правовую норму, позволяющую Министерству транспорта и

коммуникаций устанавливать технические требования к информационным системам, применяемым на железнодорожном транспорте, в части обеспечения защиты информации.

В связи с тем, что организации железнодорожного транспорта при оказании услуг (выполнении работ) потребителям обрабатывают их персональные данные (т. е. берут на себя ответственность в отношении использования, хранения и защиты таких данных), а также должны обеспечивать защиту собственной информации (в том числе составляющей государственную и коммерческую тайну), в Законе целесообразно установить, что организации железнодорожного транспорта должны принимать правовые, организационные, технические и иные меры по защите информации, неправомерные действия в отношении которой могут причинить вред ее обладателю, пользователю или иному лицу.

Железнодорожные пути, железнодорожные станции, пассажирские платформы и остановочные пункты, а также другие объекты инфраструктуры, предназначенные для движения транспортных средств железнодорожного транспорта, являются зонами повышенной опасности. Поэтому инфраструктура железнодорожного транспорта должна обладать высоким уровнем безопасности в отношении работников железнодорожного транспорта, потребителей его услуг, населения. Требования к данной сфере безопасности требуют совершенствования в Законе по мере развития нормативных правовых актов, регулирующих эти вопросы.

Указом Президента Республики Беларусь «О республиканской системе мониторинга общественной безопасности» [10] в целях повышения уровня общественной безопасности создана республиканская система мониторинга общественной безопасности. Предусмотрено, что с использованием системы мониторинга может осуществляться фиксация административных правонарушений против безопасности движения и эксплуатации транспорта.

Действующей редакцией Закона установлено, что зоны повышенной опасности при необходимости в целях обеспечения безопасности движения и эксплуатации железнодорожного транспорта подлежат ограждению их владельцами. В связи с расширением использования современных информационно-коммуникационных технологий важно не только ограждать зоны повышенной опасности, но и осуществлять установку на них систем видеонаблюдения и видеоконтроля, что целесообразно закрепить на уровне Закона.

Таким образом, учитывая наличие отдельных неурегулированных аспектов обеспечения безопасности на железнодорожном транспорте, а также необходимости приведения отдельных положений и норм права в соответствии с законодательством и правоприменительной практикой, в Законе целесообразно представить обновленные нормы, регулирующие на законодательном уровне важные положения по обеспечению безопасности в деятельности организаций железнодорожного транспорта.

#### Список литературы

1 О железнодорожном транспорте : Закон Респ. Беларусь от 06 янв. 1999 г. № 237-3 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://etalonline.by/document/?regnum=h19900237>. – Дата доступа : 06.10.2022

2 Кузнецов, В. Г. Требования к системе безопасности перевозчика при организации перевозок на участках оператора инфраструктуры / В. Г. Кузнецов, Н. П. Улащик // Проблемы безопасности на транспорте : материалы VII Междунар. науч.-практ. конф. – Гомель : БелГУТ, 2015. – С. 139–140.

3 Кулаженко, Ю. И. Совершенствование механизмов государственного контроля безопасности транспортной деятельности на железнодорожном транспорте / Ю. И. Кулаженко, А. А. Ерофеев, В. Г. Кузнецов // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2017. – № 1 (34). – С. 23–27.

4 Кулаженко, Ю. И. Система управления безопасностью участника перевозочного процесса на железнодорожном транспорте / Ю. И. Кулаженко, А. А. Ерофеев, В. Г. Кузнецов // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт, – 2017. – № 2 (35). – С. 70–75.

5 Об организации работы по обеспечению безопасности движения и эксплуатации железнодорожного транспорта на Белорусской железной дороге : приказ Нач. Бел. ж. д. от 29 нояб. 2021 г. № 370Н. – Минск, 2021.

6 Об утверждении Технологии автоматизированного учета нарушений безопасности движения в поездной и маневровой работе, отказов технических средств и иных происшествий на Белорусской железной дороге : приказ первого зам. Нач. Бел. ж. д. от 19 июня 2020 г. № 503НЗ. – Минск, 2020.

7 О защите персональных данных : Закон Респ. Беларусь от 07 мая 2021 г. № 99-3 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://pravo.by/document/?guid=3961&p0=H12100099>. – Дата доступа : 06.10.2022.

8 Закон о защите персональных данных в Беларуси: что он значит для компаний и граждан? / Единый портал финансовой грамотности Национального банка Респ. Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://fingramota.by/ru/guide/practical/zaschita-personalnih-dannyh>. – Дата доступа : 06.10.2022.

9 Об информации, информатизации и защите информации : Закон Респ. Беларусь от 10 нояб. 2008 г. № 455-3 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=h10800455>. – Дата доступа : 06.10.2022.

10 О республиканской системе мониторинга общественной безопасности : Указ Президента Респ. Беларусь от 25 мая 2017 г. № 187 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=P31700187&p1=1>. – Дата доступа : 06.10.2022.

## ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПЕРЕЕЗДАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРИНЦИПА ПЕРЕМЕННОЙ ДЛИНЫ УЧАСТКА ПРИБЛИЖЕНИЯ

*Е. М. ТАРАСОВ, А. Е. ТАРАСОВА, В. А. НАДЕЖКИН*

*Самарский государственный университет путей сообщения, Российская Федерация*

Основной системой регулирования потока автотранспорта на железнодорожных переездах является автоматическая переездная сигнализация (АПС), функционирующая по «жесткому» алгоритму с заранее определенной длиной участка контроля приближения поезда к переезду. Длина участка приближения зависит от максимальной скорости обращаемых на участке поездов и системы ограждения и управления переездной сигнализацией. Суммарное время безопасного закрытия переезда для автотранспорта при АПС составляет 45 с, и при максимальной скорости движения поездов 140 км/ч длина участка приближения составляет около 1,7 км. В связи с тем, что на сети железных дорог ОАО «РЖД» высокоскоростные и тихоходные поезда курсируют по одним и тем же путям, при движении по участку с фиксированной длиной участка приближения медленно движущихся поездов, время ожидания и проследования поезда через переезд значительное, особенно на двухпутных участках [1]. По этой причине ежегодно случается большое количество ДТП на переездах [2]. Для сокращения времени ожидания прибытия и проследования поезда через переезд необходимо ввести виртуальную переменную длину участка приближения, зависящую от скорости движения поездов.

Переменная длина участка приближения определяется выражением

$$L_{\text{уп}} = 0,38v_{\text{п}} \left( \frac{L_{\text{п}} + 29}{v_{\text{ат}}} + 14 \right), \quad (1)$$

где  $v_{\text{п}}$  – скорость поезда;  $v_{\text{ат}}$  – скорость автотранспорта, следующего через переезд;  $L_{\text{п}}$  – длина переезда.

Из выражения (1) следует, что для организации переменной длины участка приближения необходимо непрерывно определять скорость приближающегося поезда, учитывая, что длина переезда и скорость движения автотранспорта нормированы.

Решить задачу непрерывного определения координаты и скорости приближающегося поезда возможно разработкой и использованием многопараметрического датчика с самонастраивающимся алгоритмом уравнения движения поезда (решающей функции):

$$d(x) = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n),$$

где  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$  – первичные информативные признаки, зависящие от скорости и координаты приближающегося поезда. Авторами в качестве информативных признаков предлагается использовать комплексные напряжения и токи на входе рельсовой цепи участка приближения  $U_1 e^{j\varphi_1}$  и  $I_1 e^{j\psi_1}$ , измеренные на питающем конце рельсовой линии [3].

Структурная схема системы непрерывного распознавания координат поезда представлена на рисунке 1.

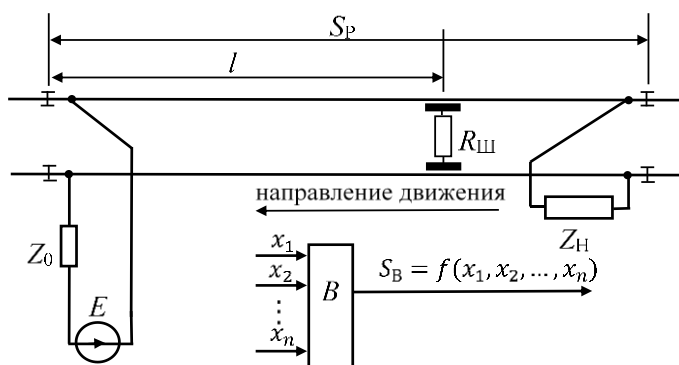


Рисунок 1 – Структурная схема распознавания координаты поезда на участке приближения к переезду:

$B$  – вычислитель координаты поезда;  $R_{\text{ш}}$  – сопротивление шунта поезда;

$x_1, x_2, \dots, x_n$  – информативные признаки на входе РЦ УП;  $S_{\text{в}}$  – уравнение координаты поезда

Вступление поезда на участок приближения и движение от релейного к питающему концу рельсовой линии сопровождаются непрерывным изменением образа состояния рельсовой линии  $X_n = (\dot{U}, \dot{I}_1) = f(L_{yn})$  [6].

Диаграмма временных и координатных интервалов функционирования системы представлена на рисунке 2.



Рисунок 2 – Временные интервалы информационно-управляющей системы управления АПС с корректирующим алгоритмом

Первичные параметры рельсовых линий в процессе эксплуатации непрерывно изменяются вследствие воздействия климатических факторов и динамических воздействий тяжеловесных и высокоскоростных поездов, следовательно, изменяются и значения первичных информативных признаков.

Это явление зависимости информативных параметров от дестабилизирующих воздействий приводит к необходимости циклической корректировки уравнения координаты поезда для обеспечения инвариантности функции уравнения координаты поезда к дестабилизирующим воздействиям алгоритмом адаптивных систем [4, 5]. Известно, что чем выше свойства самонастраивающихся систем к адаптации изменившимся условиям, тем более устойчиво функционирование системы в нестационарной среде.

Самонастройку системы удобно осуществлять в момент вступления поезда на начало участка приближения, когда его фактическая координата известна, (т. к. известна длина участка приближения)  $X_p(i)$ . Тогда сравнением вычислений координаты  $X_p(i)$  возможно определить сигнал ошибки  $e_k(i)$ , который инициализирует процесс управления обратной связью, компенсирующей  $e_k(i)$ . На рисунке 3 представлена структурная схема компенсации ошибки вычисления координаты.

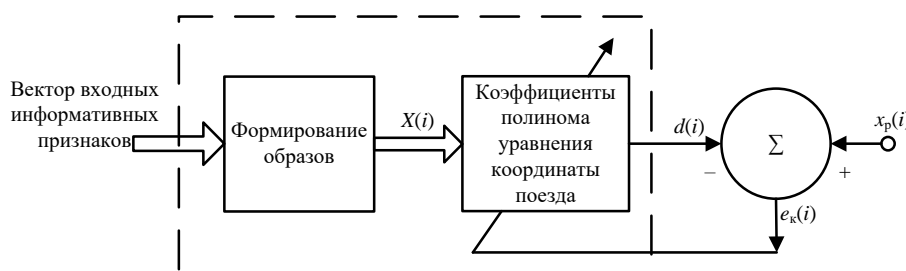


Рисунок 3 – Структурная схема самонастраивающейся системы распознавания координаты поезда

В качестве уравнения координаты в работе использован полином Колмогорова – Габора второй степени сложности, и, следовательно, самонастройка уравнения подразумевает корректировку коэффициентов полинома вида

$$d_v(i) = \sum_{j=1}^n C_{ij} x_j^2 + \sum_{j=1}^{n-1} \sum_{k=1}^n C_{jk} x_j x_k + \sum_{j=1}^n C_j x_j + C_{n+1},$$

выражением

$$\Delta C_{kj}(i) = \eta e_k(i) x_j(i),$$

где  $\eta$  – положительная константа, определяющая скорость корректировки.

Исследования ошибки вычисления координаты поезда синтезированным в работе полином уравнения координаты поезда вида

$$d_b(i) = 3,776 - 10,492U_1 - 0,0401\varphi_1 + 0,255U_1\varphi_1 + 5,132U_1^2$$

показали, что максимальная ошибка определения координаты поезда не превышает 2,5 %.

Таким образом, использование уравнения вычисления координаты, аргументами которой являются комплексные амплитуды напряжений и токов на входе рельсовой линии участка приближения к переезду, позволяет обеспечить требуемую точность определения текущей координаты поезда и, соответственно, скорость, и реализовать переменную длину участка приближения в зависимости от скорости приближающегося поезда. Переменная длина участка приближения позволяет сократить максимальное время закрытого состояния переезда до 2,5 мин и повысить безопасность движения поездов и автотранспорта в зоне переезда, а также сократить аварийность.

#### Список литературы

- 1 **Морозов, М. Г.** Безопасность движения на железнодорожных переездах / М. Г. Морозов // Евразия Вести. – 2015. – № 7.
- 2 **Тарасов, Е. М.** Анализ состояния безопасности движения и мероприятия по повышению безопасности на железнодорожных транспортных пересечениях / Е. М. Тарасов, Г. М. Третьяков, А. Г. Исайчева // Вестник транспорта Поволжья. – 2015. – № 5. – С. 85–90.
- 3 Способ управления автоматической переездной сигнализацией : пат. RU 2281219 / Е. М. Тарасов. – № 22 ; заявл. 14.02.2005 ; опубл. 08.10.2006.
- 4 **Лябах, Н. Н.** Автоматизация технологических процессов на железнодорожном транспорте на основе микропроцессоров с применением методов распознавания : учеб. пособие / Н. Н. Лябах, А. Е. Пирогов. – Ростов н/Д : РИИЖТ, 1984. – 76 с.
- 5 **Ивахненко, А. Г.** Техническая кибернетика. Системы автоматического управления с приспособлением характеристик / А. Г. Ивахненко. – Киев : Техника, 1962. – 422 с.
- 6 **Герус, В. Л.** Исследование информативности признаков при распознавании состояний рельсовых линий / В. Л. Герус, Е. М. Тарасов, А. Е. Тарасова // Вестник Мордовского университета. – 2018. – Т. 28, № 2. – С. 191–207.

УДК 648.8

## ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПЕРЕВОЗОЧНОМ ПРОЦЕССЕ

*Ю. П. ТЕЛЕГИНА*

*Оренбургский техникум железнодорожного транспорта – структурное подразделение  
Оренбургского института путей сообщения – филиала Самарского государственного  
университета путей сообщения, Российская Федерация*

Железнодорожный транспорт остается наиболее рентабельным для перевозки различных грузов в различных условиях с регулярностью перевозок и невысокой себестоимостью перевозочного процесса. Несмотря на то, что в настоящее время растет конкуренция между видами транспорта, железнодорожные перевозки остаются востребованными для организации перевозки пассажиров и грузов. В железнодорожном транспорте в настоящий момент сложилась такая ситуация, что уровень качества услуг, предоставляемый организациями железнодорожного транспорта, ниже уровня, запрашиваемого рынком. Железнодорожный транспорт теряет лидирующие позиции в сфере перевозок, решением для компании ОАО «РЖД» стал план совместной работы с ЗАО «Отраслевой центр внедрения новой техники и технологий» по внедрению и применению новой технологической платформы «Применения инновационных технологий для развития и повышения безопасности железнодорожного транспорта» [2].

Центральное место в функционировании железнодорожного транспорта занимает непрерывная оперативная работа, связанная с обеспечением устойчивого процесса перевозок пассажиров и грузов при безусловном выполнении требований безопасности, а также сохранности объектов перевозок и сегментов инфраструктуры предприятий. В первую очередь, это работники и объекты, непосредственно участвующие в перевозочном процессе и оперативном управлении на линейном и региональном уровнях. Техническое и, что гораздо важнее, технологическое (информационное) перевооружение с целью повышения эффективности функционирования указанной категории работников является одной из первоочередных задач развития отрасли в современных экономических условиях [1].

Учитывая, что ОАО «РЖД» является крупнейшей инженерной корпорацией, одной из приоритетных задач является комплексное развитие АСУ инфраструктуры и подвижного состава как основы перевозочного процесса компании.

АСУЖТ обеспечивает сбор и обработку информации, необходимой для оптимизации управления железнодорожным транспортом страны. В состав АСУЖТ входят функциональные подсистемы, соответствующие структуре управления железнодорожным транспортом (рисунок 1).

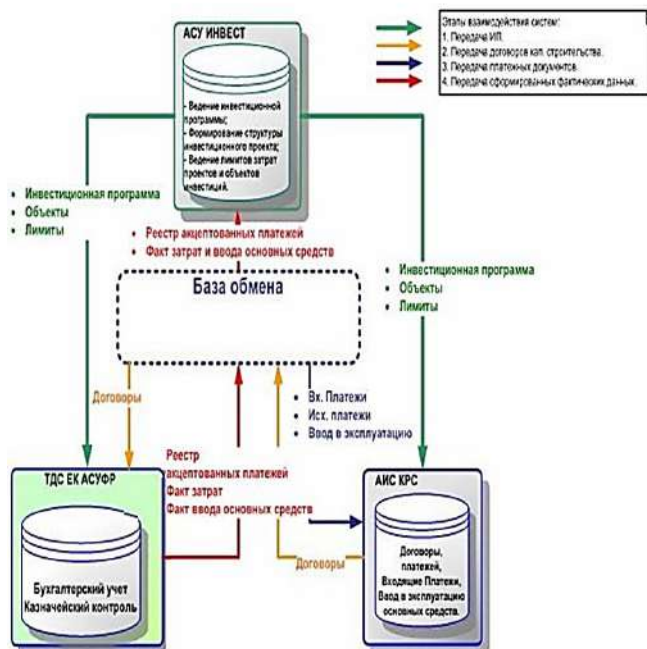


Рисунок 1 – Общая схема взаимодействия систем АСУ-Инвест, АИС КРС, ТДС ЕКАСУФ в рамках бизнес-процесса «Учет капитальных вложений» в подразделениях ОАО «РЖД»

Применительно к потребностям производственной деятельности Российских железных дорог, выделены следующие основные направления:

- диспетчеризация и обеспечение безопасности движения поездов, путевой ремонтной техники, средств диагностики, пожарных и восстановительных поездов;
- управление перевозочным процессом на перегонах и на станциях, включая мониторинг опасных и специальных грузов;
- мониторинг состояния и содержания железнодорожного пути и иных объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта, включая технологии спутниковой съемки, геодезического обеспечения изысканий, проектирования, строительства и ремонтов.

На сегодняшний день железнодорожная отрасль России находится в прямой зависимости от своей способности предсказывать конъюнктуру рынка; учитывать макроэкономические, макро-социальные и политические тенденции. Мерилом успешности и эффективности компании ОАО «РЖД» будет степень оперативности управления, реагирования и адаптации. Потеря монополии во многих сферах, необходимость выполнения социальных заказов, взятый курс на интенсификацию – все указанные факторы сформировали потребность в повышении качества управления технологическими процессами и развитием ОАО «РЖД» в целом. А это возможно только при наличии мощной корпоративной информатизации и существенной ревизии учетно-отчетной системы [1].

#### Список литературы

1 Информатизация ОАО «РЖД»: анализ возможностей [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [https://logistics.ru/9/2/i20\\_27128p0.htm](https://logistics.ru/9/2/i20_27128p0.htm). – Дата доступа : 06.10.2022.

2 Инновационные технологии на железнодорожном транспорте [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://e-koncept.ru/2015/85836.htm>. – Дата доступа : 06.10.2022.

3 Внедрение инновационных спутниковых и геоинформационных технологий [Электронный ресурс]. – Режим доступа : .. – Дата доступа : 06.10.2022.

## ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ТЯГОВОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

*С. В. ТИШУКОВ, Д. А. ЧЕМОДАНОВ*

*Самарский государственный университет путей сообщения, Российская Федерация*

На сегодняшний день цифровые технологии охватывают все аспекты нашей жизни, меняя целые отрасли и определяя характер изменения в лучшую сторону компаний, стремящихся занять или сохранить лидирующие позиции на рынке. Теперь совершенно ясно, что на современном этапе побеждает тот, кто активнее использует технологии. Ведущей частью является формирование технологий в сторону цифрового проектирования, где конечный потребитель – производственные предприятия, с минимальными затратами времени произвести лучший в классе продукт на рынке в любой сфере деятельности. С помощью такой технологии, как цифровой двойник, позволяющей обеспечить полное взаимодействие между двумя мирами, можно полностью спрогнозировать, как поведет себя физический объект на практике, а также рассмотреть все возможные отклонения.

Суть цифровых двойников заключается в том, что благодаря данной технологии можно повысить результативность рассматриваемого объекта в цифровом виде. Имея малый объем информации, можно с легкостью воспроизвести главные аспекты рассматриваемого объекта. Данная технология получила широкое распространение во многих видах производства. На данный момент создано бесчисленное множество цифровых копий предприятий, потому что сама технология доступна каждому и овладеть ей сможет каждый. Наибольшая эффективность достигается путем создания виртуальной модели рассматриваемого объекта. Цифровые двойники решают следующие задачи.

- 1 Провести тестовый запуск процесса или производственной цепочки быстро и без существенных вложений.
- 2 Обнаружить проблему или уязвимость до того, как будет запущено производство или объект поступит в эксплуатацию.
- 3 Повысить эффективность процессов или систем, отследив все сбои еще до старта.
- 4 Снизить риски, в том числе финансовые, а также связанные с безопасностью для жизни и здоровья персонала.
- 5 Повысить конкурентоспособность и прибыльность бизнеса.
- 6 Строить долгосрочные прогнозы и планировать развитие компании или продукта на годы вперед.
- 7 Повысить лояльность клиентов за счет точного прогнозирования спроса и потребительских качеств продукта;

В железнодорожном транспорте процессы, связанные с эксплуатацией подвижного состава, зачастую носят случайный характер. Это связано не только с большим разбросом реализуемых значений эксплуатационных воздействий, но и с тем, что реальный подвижной состав используется в условиях, когда он окружен физическими объектами, свойства которых могут сильно меняться в течение времени. Это говорит о том, что часто могут возникать ситуации, которые не реализовывались на физическом объекте в прошлом. В связи с этим можно сделать вывод, что применение систем, основанных на методологии цифровых двойников, в железнодорожном транспорте более эффективно, чем систем, построенных на основе цифровых теней, так как применение обратной связи, реализованной в рамках цифрового двойника, которая подразумевает отправку управляющих сигналов на вагон, может позволить избежать многих аварийных ситуаций конкретной эксплуатируемой единицы, связанных с изломом как элементов тележки, так и несущих элементов кузова. В настоящее время существуют различные классификации цифровых двойников, связанные с их конкретной областью применения. В рамках задач железнодорожного транспорта наиболее применимыми являются две системы. Первая система была введена Майклом Гривсом и называется «агрегатор цифрового двойника». Согласно Гривсу, для создания цифрового двойника необходимо существование:

- физического объекта вместе с физическим окружением, в котором он существует;
- виртуального объекта вместе с виртуальным окружением;
- каналов связи и центров анализа информации, организующих передачу и предиктивную обработку данных в обоих направлениях: измерения от системы мониторинга, установленной на эксплуатируемом изделии, к виртуальному объекту, управляющие команды/сигналы/предупреждения, которые получены в виртуальном пространстве, – к физическому.

Эта система представляет собой совокупность всей информации, которая собирается от всех цифровых двойников конкретных физических объектов, в рамках одного множества, объединенного по некому признаку (модель, модификация, партия и т. д.). Согласно предлагаемой классификации в рамках этой системы выделяется прототип цифрового двойника.

Прототип цифрового двойника описывает прототип физического объекта. Основан на иерархической последовательности цифровых моделей, которая позволяет прогнозировать поведение физического объекта в условиях эксплуатации. Содержит все данные, позволяющие приступить к производству изделия и все данные, используемые для производства физического объекта, информацию, поступающую от систем мониторинга, которые установлены на конкретном исследуемом объекте, и всю историю его эксплуатации с учетом истории замены различных узлов и агрегатов.

Вторая система возникла в рамках производственно-эксплуатационного подхода и называется «цифровой двойник производственной системы». Представляет собой цифровую модель всей производственной или эксплуатационной системы. В рамках этой системы выделяются цифровой двойник изделия.

Цифровой двойник изделия описывает конкретный физический объект. Цифровой двойник технологического процесса соответствует конкретному физическому производственному или эксплуатационному процессу. Благодаря ему можно рассматривать различные сценарии и анализировать успешность их выполнения.

Рассмотрим применение цифровых двойников при проектировании тягового подвижного состава. В рамках нашего обзора рассмотрим создание цифрового двойника прототипа тягового подвижного состава.

Сам процесс начинается с проектирования его цифровой модели в системе автоматизированного проектирования (САД). Далее рассматриваемый объект заполняется требующейся информацией и передается на следующие этапы создания двойника. С помощью системы инженерного анализа (САЕ) проектируются возможные факторы, которые могут повлиять на готовое изделие, а также его функционирование. Затем осуществляется переход в модуль автоматизированной системы (САМ), где разрабатывается непосредственно само изделие с полученными данными. Цифровые двойники подвижного состава обеспечиваются системами накопления информации и в дальнейшем передаются в систему цифрового проектирования, где сравнивается готовое от планового варианта. Чтобы это работало, для таких испытаний нужно вводить средства сбора информации, такие как цифровой паспорт или формуляры изделий, и наполнять его качественными данными.

Подводя итог всему вышесказанному, хочется отметить, что применение данной технологии может позволить проанализировать работу тягового подвижного состава. Достоинство данной технологии заключается в повышении эксплуатации транспорта, где цифровые двойники могут предсказать возможные поломки, а также повысить эффективность оценки технического оборудования.

#### Список литературы

- 1 Биктимиров, В. Р. Современные методики управления качеством. Цифровой двойник / В. Р. Биктимиров, А. А. Ращупкина // Современные научные исследования и разработки. – 2018. – № 8 (25). – С. 34–36.
- 2 Большая российская энциклопедия : в 35 т. Т. 27 / гл. ред. Ю. С. Осипов. – М. : Большая российская энциклопедия, 2015. – С. 585–586.
- 3 Боровков, А. И. Определение, разработка и применение цифровых двойников: подход Центра компетенций НТИ СПбПУ / А. И. Боровков, Ю. А. Рябов // Цифровая подстанция. – 2019. – № 12. – С. 20–25.
- 4 Цифровой двойник. Анализ, тренды, мировой опыт. – М. : АльянсПринт, 2020. – 401 с.

УДК 656.225

## ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ РАБОТЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ КРЕПЛЕНИЯ ГРУЗА В ВАГОНЕ

*Г. М. ТРЕТЬЯКОВ, В. В. ДЕНИСОВ, А. Б. ФОКЕЕВ*

*Самарский государственный университет путей сообщения, Российская Федерация*

Наиболее распространенными средствами крепления грузов при размещении их на железнодорожном транспорте являются растяжки, обвязки, стяжки, увязки, деревянные стойки, бруски и щиты.

Растяжки, обвязки, стяжки, увязки в большинстве случаев формируются из термически обработанной проволоки соответствующего диаметра.



В настоящее время постановка крепления и увязка груза производится путем закручивания нити проволоки ломиком вручную. Это приводит к невозможности контролировать напряжения, возникающие в проволоке при используемом способе установки крепления. При этом напряжение в растяжках, обвязках, увязках распределяется не равномерно, а зачастую вагоны еще с места погрузки идут со слабым креплением.

Исходя из этого применяемые методы и средства крепления грузов на подвижном составе не обеспечивают на 100 % следование грузов до станции назначения без нарушений технических условий погрузки грузов, угрожающих безопасности движения и эксплуатации железнодорожного транспорта.

Не исключена необходимость производить визуальный осмотр вагонов в пути следования работниками ОАО «РЖД», что приводит к увеличению времени коммерческого осмотра вагонов и поездов, увеличению занятости работников ОАО «РЖД», снижению качества осмотра вагонов.

Также работники ОАО «РЖД» должны производить отцепку вагонов в пути следования из-за расстройств крепления грузов и производить работы по закреплению грузов, что приводит к увеличению времени нахождения вагонов на промежуточных станциях, задержке отправления вагонов, дополнительной затрате реквизитов крепления, выделенных для станции, увеличению трудоемкости производственных операций.

Это в целом приводит к несоблюдению сроков доставки грузов.

Предлагается для механизации процесса натяжения проволочных элементов крепления использовать устройство для закрутки проволочных обвязок и растяжек с автоматическим определением усилия по патенту РФ № 2248920 (авторы – Третьяков Г. М., Денисов В. В. и др.).

Устройство для закрутки проволочных обвязок и растяжек с автоматическим определением усилия представлено на рисунке 1.

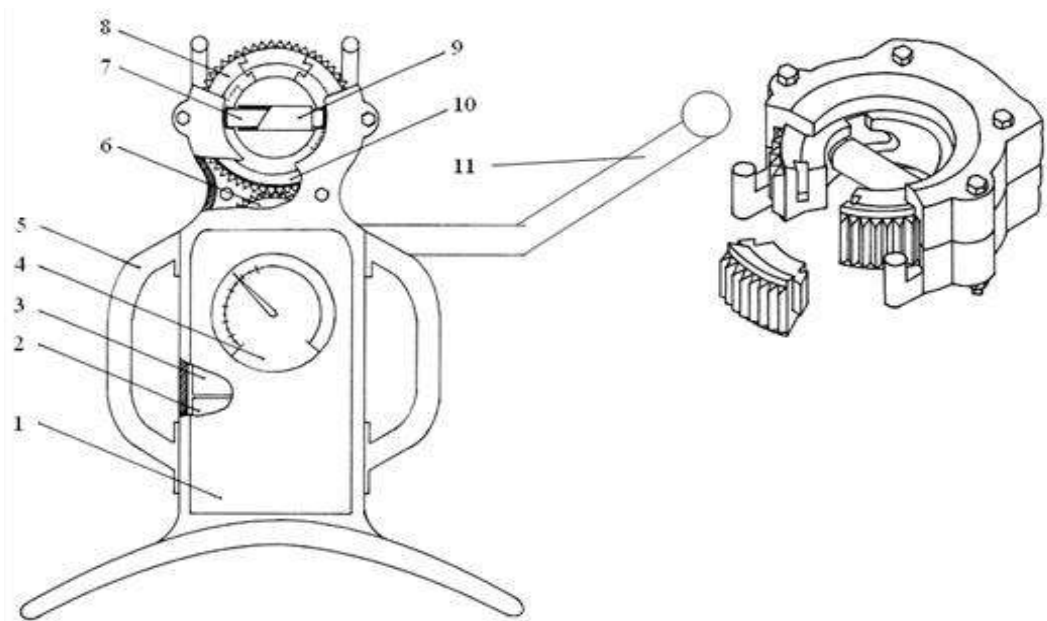


Рисунок 1 – Устройство для закрутки проволочных обвязок и растяжек

Устройство состоит из корпуса 1, в котором размещен электродвигатель 2 и редуктор 3, соединенные между собой валом, на котором размещен тензодатчик. На крышке корпуса размещено устройство отображения информации, по которому можно контролировать усилие закрутки. К корпусу с боков крепятся ручки 5, а снизу упор 11, который может устанавливаться как с левой стороны устройства, так и с правой, в зависимости от того, в какую сторону будет производиться закрутка.

Внутри корпуса 1 установлена ведомая шестерня 8, изготовленная в виде кольца, состоящего из двух частей. Это сделано для того, чтобы внутри неё можно было поместить нити проволоки для последующей их закрутки. Шестерня 8 вращается на двух подшипниках скольжения 10, изготовленных в виде полуколец. С внутренней стороны ведомой шестерни сделаны две прорези, в кото-

рые вставляется палец 7. Для того чтобы избежать возможного заклинивания пальца проволокой, а также для быстрого извлечения пальца из межвиткового пространства проволоки, допускается на него надевать втулку 9.

После установки крепления производится его натяжение, для этого между скручиваемыми нитями проволоки вставляется палец с надетой на него втулкой. После этого палец, с разделенными пополам нитями проволоки, через проем в шестерне 8 вставляется в предназначенные для этого прорези, а в шестерню 8 вставляется съемный сектор. Устройство готово к работе. Перед тем как включить питание электродвигателя, устанавливается упор 11. После включения электродвигателя натяжение проволочных нитей осуществляется за счет вращения шестерни 8, скорость вращения которой будет составлять примерно 10 оборотов в минуту. При этом работник, производящий закрутку, контролирует напряжение в проволоке при помощи тензодатчика через аналоговое или цифровое устройство отображения информации. Когда стрелка устанавливается в допустимых пределах и когда съемный сектор ведомой шестерни окажется снаружи, питание электродвигателя отключается. Снятие приспособления после увязки выполняется в обратном порядке.

Устройство работает следующим образом.

Закрепляемое изделие (груз) предварительно обматывается проволокой, как правило, в шесть или восемь нитей. Из корпуса извлекается сектор и палец. Через образовавшийся разрыв в первом зубчатом колесе заводится проволока, после чего в колесо вставляется палец и сектор так, чтобы половина нитей проволоки обвязки находилась с одной стороны пальца, а вторая половина – с другой. Сектор с пальцем фиксируется в первом зубчатом колесе. Штанга с упором прислоняется к упорной поверхности изделия, и включается двигатель. Вращение от двигателя через понижающий редуктор передается на вал. С вала вращение через второе зубчатое колесо передается на первое зубчатое колесо, которое, вращаясь, посредством пальца, производит натяжение проволочной обвязки (растяжки), расположенной вокруг изделия. Датчик определяет крутящий момент вала. При превышении крутящего момента заранее заданного значения (которое определяется в зависимости от решаемой задачи и используемого вида изделия) с выхода датчика, в котором используется, например, пороговая схема, выдается сигнал, который подается на схему управления работой двигателя, и происходит автоматическое отключение привода (двигателя).

Такое устройство имеет ряд преимуществ:

- равномерное и последовательное натяжение проволочных нитей;
- выполнение натяжения в широких пределах по длине;
- сокращение затрат ручного труда и простоя вагонов за счет уменьшения трудоемкости операций по установке крепления;
- повышение надежности крепления и сохранности груза и вагонов;
- обеспечение гарантированного требуемого натяжения с контролем усилия в растяжках;
- возможность использования при перевозке как тарно-штучных, так и других родов грузов, перевозимых на открытом подвижном составе.

УДК 656.086

## **ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА И ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ**

*Г. М. ТРЕТЬЯКОВ, И. И. КОНОНОВ, М. В. ПРУСОВ*

*Самарский государственный университет путей сообщения, Российская Федерация*

С целью повышения безопасности движения поездов и сохранности перевозимых грузов на железнодорожных станциях все прибывающие и отправляемые местные и транзитные груженные вагоны необходимо осматривать на пунктах коммерческого осмотра.

Согласно Распоряжению ОАО РЖД от 31.12.2019 г. № 3116/р «Об утверждении Единого типового технологического процесса коммерческого осмотра вагонов и поездов на железнодорожных станциях» коммерческий осмотр проводится перед отправлением состава поезда на станциях погрузки, по прибытии на станциях выгрузки, а также в пути следования на пунктах коммерческого

осмотра (ПКО) вагонов в поездах, постах коммерческой безопасности (ПКБ) или постах коммерческой диагностики (ПКД), на станции формирования и расформирования поездов, не являющихся ПКО, ПКБ, ПКД, а также перед отправлением со станции временного отставления поезда от движения.

Не выявленные своевременно коммерческие неисправности могут привести к отцепке вагона от поезда на промежуточной железнодорожной станции из-за нарушения технических условий погрузки грузов, к развалу груза в пути следования, угрожающему безопасности движения и эксплуатации железнодорожного транспорта в соответствии с Приказом Министерства транспорта РФ от 18.12.2014 г. № 344 «Об утверждении Положения о классификации, порядке расследования и учета транспортных происшествий и иных событий, связанных с нарушением правил безопасности движения и эксплуатации железнодорожного транспорта».

В настоящее время известны различные приспособления для визуального контроля и осмотра тех или иных узлов вагонов и подвижного состава. При этом становится возможным при помощи одного устройства производить осмотр: внутреннего пространства полувагонов на предмет полноты их очистки от остатков ранее перевозимых грузов и реквизитов креплений; состояния обвязок «шапки», погруженных в полувагоны пило- и лесоматериалов различного вида; состояния крыш контейнеров, перевозимых как на платформах, так и в вагонах-контейнерах; крыш крытых вагонов на предмет их целостности; состояния погрузки в хоппер-дозаторах; состояние люков цистерн, цементовозов и зерновозов, а также наличие (отсутствие) пломб на них.

Для повышения удобства работы при осмотре вагонов и сокращения простоя подвижного состава предлагается мобильное устройство для осмотра подвижного состава при одновременной простоте в использовании, компактности, мобильности, а также в повышении качества осмотра вагонов, в особенности в темное время суток [1].

Поставленная задача решается за счет того, что мобильное устройство для осмотра вагонов подвижного состава согласно рисунку 1 содержит выполненную из двух звеньев телескопическую штангу, на ее верхнем конце с возможностью вращения вокруг своей оси закреплен осветительный прибор, внутрь которого встроена видеокамера, выполненная с возможностью передачи и вывода изображения на монитор, установленный на противоположном конце телескопической штанги.

Реализация требований по обеспечению транспортной безопасности объектов транспортной инфраструктуры и транспортных средств железнодорожного транспорта была продиктована статьей 8 «Требований по обеспечению транспортной безопасности» Федерального закона РФ №16-ФЗ от 09.02.2007 г. «О транспортной безопасности».

Правоустанавливающие документы в указанной области:

– приказ Минтранса РФ от 08.02.2011 г. № 43 «Об утверждении требований по обеспечению транспортной безопасности, учитывающих уровни безопасности для различных категорий объектов транспортной инфраструктуры и транспортных средств железнодорожного транспорта»;

– постановление Правительства РФ от 26.04.2017 г. № 495 «Об утверждении требований по обеспечению транспортной безопасности, в том числе требований к антитеррористической защищенности объектов (территорий), учитывающих уровни безопасности для различных категорий объектов транспортной инфраструктуры и транспортных средств железнодорожного транспорта»;

– постановление Правительства РФ от 10.10.2020 г. № 1653 «Об утверждении требований по обеспечению транспортной безопасности, учитывающих уровни безопасности для транспортных средств железнодорожного транспорта».

Постановление Правительства РФ от 10.10.2020 г. №1653 «Об утверждении требований по обеспечению транспортной безопасности, учитывающих уровни безопасности для транспортных средств железнодорожного транспорта» включает следующие пункты:

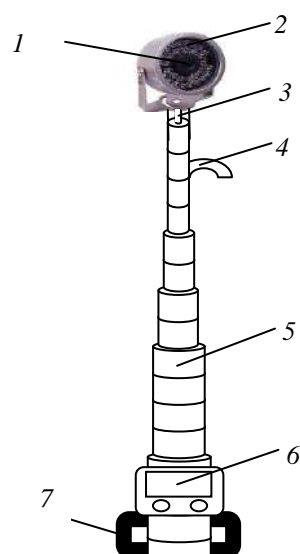


Рисунок 1 – Мобильное устройство для осмотра подвижного состава:

- 1 – беспроводная видеокамера;
- 2 – осветительные приборы;
- 3 – устройство регулировки видеокамеры;
- 4 – приспособление для фиксации устройства;
- 5 – телескопическая рукоятка;
- 6 – монитор;
- 7 – рукоятка для удержания устройства

«5. Настоящий документ является обязательным для исполнения субъектами транспортной инфраструктуры (перевозчиками) Российской Федерации, осуществляющими эксплуатацию транспортных средств, перевозчиками иностранных государств, выполняющими перевозки из пункта отправления в пункт назначения, расположенные на территории Российской Федерации, а также в Российскую Федерацию, из Российской Федерации, через территорию Российской Федерации (далее соответственно – субъекты транспортной инфраструктуры (перевозчики), перевозчики иностранных государств).

<...>

13. Субъекты транспортной инфраструктуры (перевозчики) в целях обеспечения транспортной безопасности транспортных средств обязаны... 5) проводить визуальный осмотр транспортного средства при подаче под погрузку и после выгрузки в целях выявления предметов и веществ, которые запрещены или ограничены для перемещения... .

14. ... 2) проводить внешний визуальный осмотр транспортного средства при стоянках в целях выявления предметов и веществ, которые запрещены или ограничены для перемещения... .

<...>

16 ... 4) силами подразделения транспортной безопасности объекта транспортной инфраструктуры, оснащенного переносными, мобильными средствами досмотра, проводить досмотр в целях обеспечения транспортной безопасности проходящих (перемещаемых) в зону транспортной безопасности транспортного средства физических лиц, багажа, личных вещей, почтовых отправлений, специальных поездных принадлежностей, иных материальных и технических объектов (далее – объекты досмотра) в соответствии с правилами, предусмотренными частью 13 статьи 12.2 Федерального закона РФ «О транспортной безопасности», если такое мероприятие не проводилось на объекте транспортной инфраструктуры отправления (проследования) транспортного средства. При перемещении объектов досмотра с железнодорожных пассажирских остановочных пунктов осуществлять наблюдение за ними и (или) проводить собеседование с ними, выборочно досмотр в целях обеспечения транспортной безопасности...».

Таким образом, предлагаемое устройство для осмотра и досмотра подвижного состава железнодорожного транспорта и транспортных средств позволяет при наличии мобильного цифрового программного обеспечения осуществлять беспроводную передачу служебной технической информации с мобильной видеокамеры на АРМ оператора товарной конторы в реальном режиме времени, и, в том числе, при организации защищенного канала передачи данных – поступление видеопотока данных на Пост (пункт) управления обеспечения транспортной безопасности для последующей передачи в реальном режиме времени в соответствии с Порядком передачи данных с технических средств обеспечения транспортной безопасности объектов транспортной инфраструктуры уполномоченным подразделениям органов ФСБ, МВД и Ространснадзора.

#### Список литературы

1 Мобильное устройство для осмотра подвижного состава : пат. РФ на полезную модель / А. В. Варламов, В. В. Денисов, И. И. Кононов, М. В. Прусов, Н. Х. Варламова. – № 146491; 10.10.2014.

УДК 656.212.001.2

### АДАПТАЦИЯ ТРЕБОВАНИЙ К СТРЕЛОЧНЫМ ГОРЛОВИНАМ УЛУЧШЕННЫХ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ КАЧЕСТВ ДЛЯ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

*Е. А. ФИЛАТОВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

На сегодняшний день эксплуатация путевого развития станций осуществляется в условиях действия ряда технологических ограничений, которые обусловлены в том числе неполным соответствием транспортной инфраструктуры актуальным рекомендациям к проектированию и эксплуатации (обусловлено развитием требований по сравнению с временем разработки проекта). Кроме того, с 1980-х годов развивается направление повышения безопасности маневровой работы с грузовыми вагонами [1] по условиям их взаимодействия с путевым развитием. Исследования, выполненные автором, позволили дополнить эти ограничения с целью обеспечения безопасности выполнения маневровой работы с вагонами различных типов [2]. С одной стороны, многообразие по-

лученных рекомендаций [2] хорошо раскрывает проблему взаимодействия путевых структур и подвижного состава, а с другой – затрудняет применение выполненных исследований оперативными и техническими работниками станций. С целью расширения возможностей их применения предложена адаптация исследований [2] для использования их в эксплуатационной работе станций.

Анализ действующих нормативных документов позволил установить широко применяемые параметры элементов путевого развития. Так, в соответствии с нормами проектирования станций [3] и требованиями к безопасности выполнения маневровой работы [1] рекомендуется применять величины радиусов: 200, 250, 300, 350, 400, 480, 500 м и более. Согласно нормам проектирования прямые вставки длиной: 4,5; 6,25; 12,5; 15 и 25 м. Адаптация требований [2] к указанным значениям выполнена для двух целевых групп специалистов: инженерно-технические работники (ИТР) и оперативный персонал станций. Исходя из задач, решаемых этими работниками, установлены различные уровни допущений при определении условий обеспечения безопасности. Так, для первой группы упрощение требований реализуется за счет округления значений параметров в большую сторону до 1/3 величины (таблица 1).

Таблица 1 – Требования к конструкциям путевого развития улучшенных эксплуатационных качеств, адаптированные для инженерно-технических работников станций

Номер схемы	Описание схемы	Параметры схем путевого развития, обеспечивающие безопасность маневров с вагонами расчетных групп, м		
		массовых (ВМТ)	увеличенных размеров (ВУР)	
1	<b>Криволинейные участки пути</b>			
1.1	Круговые кривые	R = 200		
1.2	S-образные кривые без вставки	R = 400	R = 450	
1.3	S-образные кривые с прямой вставкой	$l_{\text{скр}} = 12,5$ ( $l_{\text{скр}R250} = 15,5$ )		
1.3	S-образные кривые с прямой вставкой	$d = 12,5$ ( $d_{R250} = 6,5$ )	$d = 16,5$ ( $d_{R250} = 12,5$ )	
2	<b>Расположение стрелочных переводов</b>			
2.1	Одиночный перевод на прямой	Не ограничивается		
2.2	Встречная разносторонняя укладка обыкновенных стрелочных переводов (схема № 1)			
2.2.1	1/11	$d$ не ограничивается	$d = 1$	
2.2.2	1/9		$d = 3$	
2.3, 2.4	Встречная односторонняя и попутная разносторонняя укладки обыкновенных стрелочных переводов (схемы № 2 и № 3)			
2.3, 2.4	1/11, 1/9	$d$ не ограничивается		
2.5	Схемы укладки № 4 и № 5 (модификации)			
2.5.1	1/11	$d$ не ограничивается	$d$ не ограничивается	
2.5.2	1/9		$d = 8$	
2.6	Встречное расположение симметричных стрелочных переводов марки 1/6			
2.6.1	1/6	$d = 12,5$	$d = 15$	
2.6.2	1/6 – 1/9	$d = 6,25$	$d = 12,5$	
2.7	Попутное расположение симметричных стрелочных переводов марки 1/6			
2.7.1	1/6 <sub>ПОП</sub>	$d = 6,25$	$d = 12,5$	
2.7.2	1/6	$d = 8$		
2.7.3	1/9 – 1/6	$d = 6,5$		
2.8	Схема № 4 (навстречу торцами крестовин) 1/6 – 1/6	$d = 6,25$	$d = 12,5$	
3	<b>Взаимное расположение стрелочных переводов и кривых (s-образное расположение)</b>			
3.1	Без вставки	1/11	Не ограничивается	R = 350
		1/9, 1/6	Не обеспечивается	
3.2	С прямой вставкой	1/11	Не ограничивается	$d = 12,5$
		1/9	$d = 7$	
		1/6	$d = 9$	

За счет изменения величин ограничений общее количество позиций снижено почти в 3 раза по сравнению с [2]. В качестве значения радиуса по умолчанию принята величина 200 м, а радиусы закрестовинных кривых – не менее радиусов переводных. Значительная часть ограничений приведена к стандартным значениям, что в целом заметно упрощает применение рекомендаций при разработке технической документации на станциях. При этом дополнительное резервирование по части ограничений составило в среднем около 12 %. Для удобства принятия оперативных решений показанные рекомендации можно дополнительно округлить и исключить позиции без ограничений (таблица 2).

Таблица 2 – Требования к стрелочным горловинам улучшенных эксплуатационных качеств, адаптированные к принятию оперативных решений

№ схемы	Описание схемы	Параметры схем путевого развития, обеспечивающие безопасность маневров с вагонами расчетных групп, м		
		массовых (ВМТ)	увеличенных размеров (ВУР)	
1	<b>Криволинейные участки пути</b>			
1.2	S-образные кривые без вставки	$R = 400$	$R = 450$	
1.3	S-образные кривые с прямой вставкой	$d = 12,5$	$d = 16,5$	
2	<b>Расположение стрелочных переводов</b>			
2.2	Встречная разносторонняя укладка стрелочных переводов 1/11, 1/9 (схема № 1)	Не ограничивается	$d = 4,5$	
2.5	Схемы укладки № 4 и № 5 стрелочных переводов марки 1/9 (модификации)		$d = 12,5$	
2.8	Схема № 4 навстречу торцами крестовин стрелочных переводов марки 1/6	$d = 6,25$		
2.7	Попутное расположение симметричных стрелочных переводов марки 1/6	$d = 8$		
2.6	Встречное расположение симметричных стрелочных переводов марки 1/6	$d = 12,5$	$d = 15$	
3	<b>Взаимное расположение стрелочных переводов и кривых (s-образное расположение)</b>			
3.1	Без вставки	1/11	Не ограничивается	$R = 350$
		1/9, 1/6	Не обеспечивается	
3.2	С прямой вставкой	1/11	Не ограничивается	$d = 12,5$
		1/9, 1/6	$d = 12,5$	$d = 15$

В таблице 2 общее количество позиций сокращено почти в 5 раз по сравнению с первоначальными рекомендациями [2], при этом дополнительное резервирование ограничений составило в среднем около 50 %. С одной стороны, это обеспечивает повышенную безопасность маневров, а с другой – дополнительно ужесточает ограничения по ряду позиций. Поэтому при разработке проектов строительства или реконструкции с целью минимизации капитальных вложений целесообразно использовать первоначальные требования [2], при разработке технологических ограничений для маневровой работы можно воспользоваться таблицей 1, а для принципиальной оценки ситуации в оперативном режиме следует ориентироваться на данные таблицы 2.

#### Список литературы

- 1 ГОСТ 22235 – 2010. Вагоны грузовые магистральных железных дорог колеи 1520 мм. Общие требования по обеспечению сохранности при производстве погрузочно-разгрузочных и маневровых работ. – М. : Стандартинформ, 2011. – 19 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 Правила и технические нормы проектирования станций и узлов на железных дорогах колеи 1520 мм / М-во путей сообщения Российской Федерации. – М. : Техноинформ, 2001. – 255 с.

УДК 629.4.016.15

## СОКРАЩЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РАСХОДОВ НА ТЯГУ ПОЕЗДОВ НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ В СИСТЕМЕ «КОЛЕСО – РЕЛЬС»

Г. В. ЧИГРАЙ

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Важнейшей проблемой работы железнодорожного транспорта является сокращение потребления энергоресурсов на тягу поездов. Решение данной проблемы во многом зависит от состояния подвижного состава. Поэтому важным вопросом современной практики и теории эксплуатации подвижного состава является выбор оптимального уровня износа гребня колеса. Для поиска оптимального уровня износа гребня с учетом энергетических потерь в работе разрабатывается экономико-математическая модель.

В настоящее время состояние многих отечественных транспортных средств подходит к критическому уровню. Очевидно, что в сложившейся обстановке создание энергосберегающего подвиж-

ного состава нового поколения следует признать единственно правильным перспективным направлением технического перевооружения железных дорог.

Согласно концепции развития железнодорожного грузового подвижного состава затраты могут быть снижены на его жизненный цикл на 25 % за счет создания грузовых вагонов нового поколения. Этого можно достичь несколькими путями, в том числе за счет:

- изготовления более прочных грузовых вагонов путем усиления конструкции кузова и удобных для ремонта вследствие применения унифицированных блоков, стандартных узлов и модулей;
- совершенствования технологического процесса ремонта вагонов и сокращения числа вагонных депо на 50 % в результате создания безремонтных конструкций и увеличения межремонтных сроков;
- снижения сопротивления движению вагонов, в том числе за счет внедрения оптимального профиля катания железнодорожного колеса и соответствующего ему типа рельс. Это, в свою очередь, позволит снизить износ гребней колесных пар и затрат на движение поездов.

Согласно исследованиям, выполненным Ассоциацией американских железных дорог и ВНИИЖТа, износ профиля колеса можно разделить на три последовательные фазы: приработка, умеренный износ и интенсивный износ. Новые колеса в начале эксплуатации по изношенным рельсам имеют малую площадь контакта с ними, в результате чего происходит кратковременный интенсивный износ – приработка. В конце фазы приработки широкая зона контакта между колесом и рельсом обеспечивает снижение напряжений и уменьшение износа, то есть наступает фаза умеренного износа. В дальнейшем происходит постоянное увеличение бокового смещения колесной пары и одновременно увеличение разницы диаметров колес. Интенсивность износа возрастает, и профиль поверхностей катания колес не обеспечивает центрирование колесной пары относительно рельсов. При этом уменьшается свобода ее перемещения, резко увеличиваются силы взаимодействия колес и пути, существенно возрастает расход энергии на тягу поездов. Выполненные научные исследования показали, что при износе колесной пары в 10–50 % происходит увеличение расхода топливно-энергетических ресурсов на 10–35 %, а иногда и до 40–45 %.

В настоящее время выполнено много научных работ, касающихся снижения износа поверхности катания колес, предложено несколько вариантов их профиля, рассчитан их износ в контакте с разными типами рельсов. Однако до сих пор отсутствует методика выбора рационального профиля поверхности катания железнодорожных колес.

К сожалению, указанные исследования не могут пока привести к оптимальному варианту «колесо – рельс». Кроме того, ни в одной работе оптимизация профиля колеса или его замена не рассматриваются комплексно, с учетом всех энергетических и экономических факторов.

Новый взгляд на проблему поиска рационального профиля и срока службы колес позволяет объяснить большое количество изобретений, касающихся их конструкции (более 2000 за пятьдесят лет). Изобретатели и ученые, меняя конструкцию колеса, думали не только о безопасности движения, сокращении затрат на ремонты, но интуитивно понимали, что изменение профиля его поверхности катания приведет к сокращению энергетических затрат на тягу поездов. Однако экономически оценить все затраты на жизненный цикл колес они не смогли.

Улучшение технико-экономических показателей работы железнодорожного транспорта требует совершенствования методов прогнозирования и рассмотрения более сложных совокупностей взаимосвязанных факторов. В реальной железнодорожной транспортной системе обычно нет тесной связи ни во времени, ни в пространстве. Совершенно очевидно, что попытка использовать для прогнозов элементарных (чаще) линейные уравнения обречена на неудачу, так как простые соотношения справедливы только для простых детерминированных законов.

Вычислительная техника открыла практически безграничные возможности для использования в прогнозных моделях большого числа факторов. Однако правильнее описывать изменения в рассматриваемой системе меньшим числом факторов, так как ошибка прогноза в этом случае будет минимальной. Такой подход объясняется следующими причинами:

- увеличение числа факторов при неизменном объеме выборки приводит к уменьшению устойчивости коэффициентов прогнозных уравнений и искажению характера связи между прогнозируемой величиной и фактором;
- факторы, используемые в прогнозных моделях, могут сильно коррелировать друг с другом, и чем слабее их связь с прогнозируемой величиной, чем теснее они связаны друг с другом, тем сильнее уменьшается устойчивость коэффициентов. В таких случаях прогнозная модель может исказить исследуемый процесс.

Наиболее наглядным и эффективным способом задания функции зависимости расходов на тягу поездов от уровня износа гребня колесной пары является аналитическим. Для этих целей используется метод наименьших квадратов.

В ряде практических задач возникает ситуация, когда достаточно надежный прогноз исследуемой величины может быть получен при использовании линейной зависимости типа

$$y_i = a_0 + a_1 x_i, \quad (1)$$

где  $b_0$ ,  $b_1$  – неизвестные коэффициенты;  $x_i$  – фактор, от которого зависит прогнозная величина, в данном случае – уровень износа гребня колесной пары.

К таким зависимостям с помощью преобразований могут быть сведены другие нелинейные модели, в частности парабола и экспонента.

Задача заключается в определении коэффициентов  $a_0$  и  $a_1$  по имеющимся статистическим данным. Согласно методу наименьших квадратов уравнение (1) будет наилучшим образом аппроксимировать статистические данные, если сумма квадратов отклонения эмпирических значений  $y_i$  от значений  $y_{i,n}$ , вычисленных по уравнению (1), будет минимальной:

$$S = \sum_{i=1}^n (y_i - y_{i,n})^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - a_0 - a_1 \cdot x_i)^2 \rightarrow \min, \quad (2)$$

где  $n$  – количество наблюдений.

Необходимым условием минимума  $S(a_0, a_1)$  является выполнение равенств

$$\frac{dS}{da_0} = 0 \text{ и } \frac{dS}{da_1} = 0. \quad (3)$$

С использованием экспериментальных данных была установлена аналитическая прогнозная зависимость между износом гребней колесных пар и увеличением расхода энергии на тягу поездов. Выбор вида исследуемой зависимости уровня расхода топлива на тягу поездов от уровня износа гребней колесных пар осуществляется с помощью программного обеспечения STATGRAPHICS Centurion XVIII.

Уравнение имеет вид

$$y_i = 0,9875e^{0,0056x_i}. \quad (4)$$

Важным вопросом современной практики и теории эксплуатации подвижного состава является выбор оптимального уровня износа гребней колесных пар. Данный подход позволяет сократить расход дизельного топлива и электроэнергии на тягу поездов, повысить безопасность перевозочного процесса. Кроме того, будут снижены общие приведенные расходы. Решение поставленной задачи заключается в определении оптимального значения уровня износа гребней колесной пары, при котором общие приведенные расходы будут стремиться к минимуму, то есть  $E_{пр} \rightarrow \min$  при  $x \rightarrow \text{opt}$ .

Исследования показали, что в диапазоне изменения стоимости колесной пары от 1300 до 2000 долларов США величина износа  $x_0$  изменяется от 0 до 50 %. Для наиболее вероятных значений стоимости колесной пары  $x_0$  лежит в пределах от 20 до 30 %. Особое влияние на выбор энергосберегающих решений оказывает интенсивность эксплуатации подвижного состава, в частности, среднесуточный пробег вагона. Исследования показали, что при более высоком уровне организации перевозочного процесса (увеличение среднесуточного пробега вагона) износ гребней колесной пары уменьшается.

УДК 658.345

## АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ БЕЗОПАСНОСТИ И ПРОФИЛАКТИКИ ТРАВМАТИЗМА НА ОБЪЕКТАХ БЕЛОРУССКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

*С. Н. ШАТИЛО, С. В. ДОРОШКО*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Охрана труда является неотъемлемой частью организации труда и производства. Организация работы и ответственность за состояние охраны труда, соблюдение правил и норм по этим вопросам возложены на руководителей железных дорог, отделений дорог, предприятий, организаций и других подразделений железнодорожного транспорта.



Анализ травматизма, проведение организационно-технических мероприятий в области охраны труда и контроль за их выполнением в организациях и на предприятиях железнодорожного транспорта осуществляют службы дороги, дортресты и отраслевые отделы отделений дорог, руководители предприятий и учреждений (таблицы 1 и 2).

Таблица 1 – Анализ производственного травматизма по дороге

Год	Количество случаев производственного травматизма			Коэффициент средней тяжести
	всего	смертельные	тяжелые	
2016	18	1	8	27,3
2017	18	1	8	38
2018	14	2	7	65
2019	15	1	6	35
2020	15	1	7	49
2021	19	2	13	52

Таблица 2 – Анализ травматизма в зависимости от места происшествия

Место происшествия	Количество пострадавших					
	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Производственные помещения	3	–	1	1	1	
Территория предприятия станции, грузового двора	2	2	1	2	4	5
Железнодорожный путь	5	4	1	6	3	1
Подвижной состав	2	5	13	3	2	6
Место производства работ	4	7	2	2	5	7

Анализ причин травматизма показывает, что в большинстве случаев в основе производственного травматизма лежат организационные недостатки, для устранения которых нет необходимости в материальных затратах, а нужно повысить контроль и дисциплину на предприятиях. Каждый руководитель должен нести ответственность за порученный участок работы и потребовать того же от специалистов всех уровней.

Особое значение в укреплении трудовой дисциплины и соблюдении требований безопасности имеет действующая на Белорусской железной дороге организация контроля, включающая талонную систему. Так, в 2020 году у работников дороги за нарушение требований безопасности было изъято 396 талонов-предупреждений, а в 2021 году – 516, что свидетельствует о более качественном контроле за соблюдением законодательства по охране труда руководителями и специалистами. Кроме того, в 2021 году руководителями и специалистами Управления Белорусской железной дороги, организаций и структурных подразделений по результатам проведения проверок и обследований состояния охраны труда было выдано 810 предписаний, актов и протоколов несоответствий, при этом 20290 работников полностью или частично лишены премиальных выплат, 1219 работников направлено на внеочередную проверку знания по вопросам охраны труда.

Улучшение условий труда, повышение их безопасности и безвредности имеют большое экономическое значение. Чем благоприятнее условия труда, тем выше производительность, а также качество продукции, ниже себестоимость изделий и работ. Улучшение условий труда приводит к снижению уровня и тяжести производственного травматизма, профессиональных заболеваний, инвалидности, что сохраняет здоровье трудящихся.

В соответствии с действующим Положением о системе управления охраной труда в государственном объединении «Белорусская железная дорога» одним из методов улучшения результатов деятельности в области охраны труда является проведение анкетирования среди работников, которое способствует получению более достоверной информации о состоянии условий труда. Это позволяет на каждом предприятии железнодорожного транспорта ежегодно и на перспективу разрабатывать планы организационно-технических мероприятий, направленных на дальнейшее оздоровление и облегчение условий труда, и более эффективно использовать выделяемые на эти цели средства.

Для определения существующего положения о состоянии охраны труда на одной из станций Белорусской железной дороги было проведено анкетирование персонала. В анкете персоналу станции необходимо было отметить условия по охране труда по балльной системе различных критериев. Результаты опроса сотрудников приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты анкетирования работников станции

Эксперты	Баллы, присваиваемые критериям										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	3	3	4	5	3	0	4	4	5	5	0
2	3	3	3	4	5	3	4	5	5	5	0
3	3	3	3	4	4	3	3	2	4	4	0
4	4	4	4	3	4	5	4	4	4	4	3
5	4	3	4	4	4	2	4	3	5	5	1
<i>Всего</i>	14	15	17	20	21	17	22	23	27	28	14

Согласно таблице 3 критериями, набравшими максимальное количество баллов, являются качество и эффективность проводимых инструктажей по охране труда. Критерием, набравшим минимальное количество баллов, является наличие оборудованного места отдыха. Графическое представление распределения баллов по критериям представлено на рисунке 1.

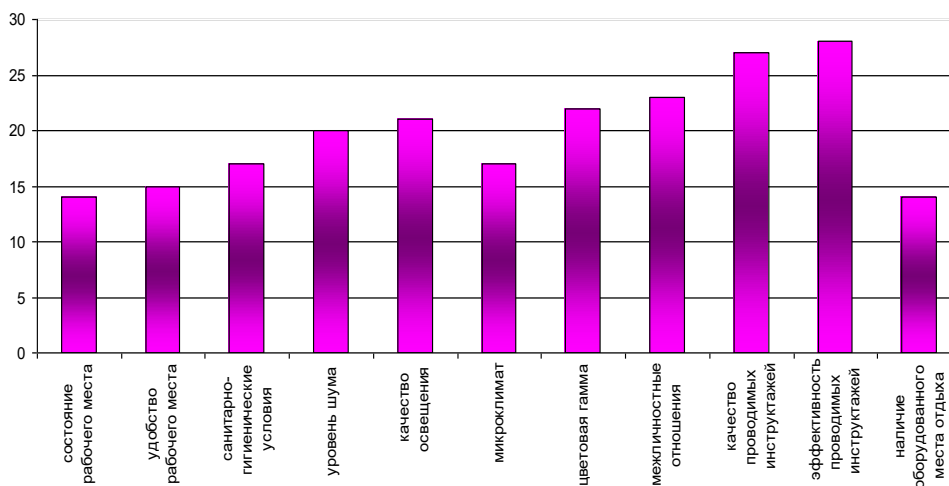


Рисунок 1 – Графическое представление распределения баллов по критериям

Анкетирование показало, что в целом состояние охраны труда на станции соответствует установленным требованиям. Кроме того, работниками станции было предложено улучшить санитарно-бытовое обеспечение, установить кондиционеры, выполнить ремонт бытовых помещений и оборудовать места для отдыха.

УДК 656.222.3

## ПОВЫШЕНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЛАНА ФОРМИРОВАНИЯ ГРУЗОВЫХ ПОЕЗДОВ В УСЛОВИЯХ НЕСТАБИЛЬНОСТИ ВАГОНПОТОКОВ

*К. М. ШКУРИН*

*Белорусская железная дорога, г. Минск*

*М. И. ШКУРИН*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Одним из факторов, затруднивших обеспечение эффективного функционирования железных дорог бывших советских республик в период после распада СССР, стало повышение уровня неравномерности грузо- и вагонопотоков. Среднесуточные значения указанных показателей в течение значительной части года могут существенно отличаться от расчетных значений, используемых при разработке плана формирования поездов. В связи с этим струи вагонопотоков, выделенные по плану формирования в самостоятельные назначения, в определенные периоды становятся неэффективными, так как не достигают минимальных значений, необходимых для превышения экономии от

проследования технических станций без переработки над затратами на их накопление. Аналогичным образом струи вагонопотоков, не выделенные в самостоятельные назначения, при значительном увеличении могут стать экономически эффективными.

В связи с вышеизложенным необходимым условием обеспечения экономической эффективности работы транспортной системы является совершенствование её адаптивности, то есть способности осуществлять быстрые и рациональные преобразования внутренней структуры при изменении внешних условий.

Задача повышения адаптивности к изменяющимся внешним условиям особенно актуальна для Белорусской железной дороги, характерной чертой которой является высокая доля международных перевозок в общем объеме выполняемой транспортной работы. Так, в период с 1991 по 2021 год международные перевозки составляли от 65,0 до 79,3 % общего тарифного грузооборота Белорусской железной дороги, в том числе транзитные перевозки – от 29,7 до 42,6 % тарифного грузооборота.

На протяжении последних десятилетий Белорусская железная дорога неоднократно сталкивалась с кризисными явлениями, вызывавшими резкое сокращение объемов транспортной работы. Так, в начале 1990-х годов наблюдалось значительное снижение грузооборота, связанное с разрушением существовавших логистических цепей поставок после распада СССР, однако уже к середине десятилетия негативные тенденции удалось преодолеть, и с 1996 до 2008 года обеспечивался стабильный рост грузооборота. В 2009 году, а также в 2014–2015 годах тарифный грузооборот Белорусской железной дороги также уменьшался под влиянием мировых экономических кризисов, но сравнительно быстро восстанавливался и достигал докризисных значений.

Снижение грузооборота, наблюдающееся в 2022 году, характеризуется не только уменьшением объема перевозимых грузов, но и переориентацией значительной части вагонопотока с «западного» направления (в государства Европейского союза) на «восточное» (в Российскую Федерацию, государства Кавказа и Средней Азии).

В настоящее время план формирования грузовых поездов на Белорусской железной дороге разрабатывается один раз в год. При этом в случаях значительного изменения структуры и объема вагонопотоков, а также при проведении длительных строительных и ремонтных работ, вызывающих снижение пропускной и перерабатывающей способностей объектов транспортной инфраструктуры, в течение года в план формирования могут вноситься корректировки. К сожалению, в периоды снижения грузооборота с быстрыми и непредсказуемыми колебаниями вагонопотоков корректировки плана формирования, которые во многом основываются на данных о размерах перевозок за предшествующий период, могут стремительно утрачивать актуальность.

В текущем году в условиях резких колебаний вагонопотоков на Белорусской железной дороге принимаются меры, направленные на обеспечение высокой эффективности использования подвижного состава и сокращение непроизводительных простоев вагонов. Так, в связи с переориентацией грузопотока на «восточное» направление на ряде сортировочных станций установлено формирование дополнительных сквозных поездов назначением на станции железных дорог Российской Федерации и Азербайджана.

Тем не менее высокая нестабильность грузопотоков и влияние на них многочисленных внешних (в том числе геополитических) факторов затрудняют задачу своевременного приведения плана формирования грузовых поездов в соответствие со складывающейся структурой вагонопотока. Анализ погрузки вагонов станциями Белорусской железной дороги в период с марта по август 2022 года показывает: размеры ежемесячной погрузки назначением на Азербайджан, Узбекистан, Латвию изменялись в широком диапазоне с коэффициентом вариации 50 % и более, назначением на Литву – с коэффициентом вариации 38 %, назначением на Казахстан – с коэффициентом вариации 18 %, что свидетельствует о значительных колебаниях объема перевозимых грузов.

В условиях снижения объемов перевозок особенно важной становится задача повышения экономической эффективности системы организации вагонопотоков, большую роль в решении которой играет сокращение эксплуатационных расходов, связанных с использованием локомотивного парка.

С 2019 года на Белорусской железной дороге при разработке плана формирования поездов внедрена методика проверки целесообразности выделения маломощных струй вагонопотока в самостоятельные назначения с использованием параметра экономии эксплуатационных расходов при следовании подвижного состава в сквозных поездах, детальное описание которой приведено в работе [1].

При использовании указанной методики после разработки плана формирования поездов с использованием традиционных методов расчета для участков, на которых имеются маломощные сквозные струи вагонопотока, не выделенные в самостоятельные назначения, рассчитывается разница между средней продолжительностью следования по участку сквозного и участкового поезда, после чего для каждого из таких участков определяется экономия эксплуатационных расходов при следовании подвижного состава в сквозных поездах, приходящаяся в среднем на один вагон. На основании полученных данных для маломощных сквозных струй вагонопотока выполняется расчет экономии эксплуатационных расходов, достигаемой при следовании локомотивов и вагонов в сквозных поездах, и устанавливается экономическая целесообразность выделения таких струй в самостоятельные назначения.

Использование описанной методики на отдельных направлениях с малыми размерами вагонопотоков позволило обосновать экономическую целесообразность формирования ряда сквозных поездов, которые были бы признаны экономически нецелесообразными при выполнении расчетов традиционными методами. Например, с использованием методики была подтверждена целесообразность формирования на станции Лида сквозного поезда назначением на станцию Лунинец, следующего через станцию Барановичи-Центральные без переработки, что позволило обеспечить годовую экономию эксплуатационных расходов, эквивалентную стоимости восьми тысяч вагоно-часов.

Необходимо отметить, что применение вышеуказанной методики является достаточно трудозатратным. Определение средней экономии расходов при следовании подвижного состава в сквозных поездах, приходящейся на один вагон, требует обработки большого объема статистических данных о движении по участку поездов различных категорий. Для обеспечения достаточной точности выполняемых расчетов целесообразным является проведение их актуализации не реже чем раз в год, а на направлениях со значительно выраженной сезонной неравномерностью грузовых перевозок необходимо производить расчет указанного параметра несколько раз в течение года. Более того, в периоды высокой нестабильности грузопотоков эффективное использование методики требует оперативного выполнения расчетов.

В связи с вышеизложенным актуальным направлением совершенствования процесса разработки плана формирования грузовых поездов является создание автоматизированной системы, которая на основе информации из существующих баз данных позволила бы с использованием предложенной методики осуществлять автоматизированную проверку целесообразности выделения в самостоятельные назначения отдельных маломощных струй вагонопотока.

#### Список литературы

- 1 Негрей, В. Я. Особенности расчета плана формирования одногруппных поездов в рыночных условиях / В. Я. Негрей, К. М. Шкурин // Вестник ВНИИЖТ. – 2018. – Т. 77, № 3. – С. 133–140.
- 2 Негрей, В. Я. Расчетные вагонопотоки для разработки плана формирования поездов / В. Я. Негрей, С. В. Дорошко // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2016. – № 2 (33). – С. 26–31.
- 3 Кекиш, Н. А. Адаптивная система планирования железнодорожных перевозок для разветвленных полигонов с преобладанием маломощных вагонопотоков / Н. А. Кекиш // Вестник РГУПС. – 2020. – № 1. – С. 103–110.

УДК-625.161.5

### ДИСТАНЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ «МОДУЛЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ» УЛЬТРАЗВУКОВОГО ДЕФЕКТОСКОПА АВИКОН-11

*И. Е. ЯНЦЕВИЧ, А. П. ИВАНОВА*

*Оренбургский институт путей сообщения – филиал Самарского государственного университета путей сообщения, Российская Федерация*

Дефектоскопия является важной частью оценки состояния железнодорожного пути. На данный момент существует множество методов и технических приспособлений для осуществления контроля возникающих дефектов и неисправностей, начиная от путевого шаблона и заканчивая вагонами-дефектоскопами и дефектоскопными тележками.

Наиболее универсальным и мобильным считается ультразвуковой дефектоскоп Авикон-11. Для расширения его возможностей целесообразно разработать «модуль программного обеспечения»,

позволяющий получать, анализировать, обрабатывать информацию о наличии дефектов для их устранения.

Разработке «модуля программного обеспечения» предшествует определенный объем работ, связанный с дистанционным мониторингом имеющихся данных. При этом мониторинг охватывает области, включающие выявление потенциальных возможностей ультразвукового дефектоскопа Авикон-11 (в том числе видов дефектов им определяемых), его отличительные особенности (с учетом недостатков), а также вероятность разработки и применения программного обеспечения.

Проведенный дистанционный мониторинг констатирует, что:

- дефектоскоп Авикон-11 может быть использован при контроле обеих нитей железнодорожного пути по всей длине и сечению рельсов (за исключением перьев подошвы и зон шейки над и под болтовыми отверстиями), ультразвуковыми пьезоэлектрическими резонаторами;

- проведение дефектоскопии возможно при сплошном контроле со скоростью движения до 4 км/ч, при выборочном ручном контроле отдельных сечений рельсов ручными ПЭП;

- дефектоскоп позволяет осуществлять измерение координат обнаруженных дефектов и амплитуд сигналов;

- контролю этим дефектоскопом подлежат рельсы типа Р50, Р65 и Р75, номинальные размеры, материал и состав которых соответствуют ГОСТ Р 51685.

Аналитическая оценка данных, полученных на этапах мониторинга, позволяет считать отличительными особенностями дефектоскопа следующие моменты:

- существует возможность полуавтоматической настройки чувствительности дефектоскопа по эталонному отражателю;

- может быть проведена предварительная запись настроек в память дефектоскопа;

- осуществляется запись в протокол контроля изображения с экрана дефектоскопа с сигналами от дефекта в виде «стоп-кадра» игибающей амплитуды сигналов от дефектов;

- могут быть использованы функции хранения в памяти дефектоскопа типовых вариантов методов контроля, применяемых при контроле рельсов, электроконтактных и алюминио-термитных сварных стыков рельсов;

- изображение дефектов в контролируемом сечении в виде В-развертки;

- передача данных на компьютер;

- формирование протоколов контроля на компьютере с возможностью их распечатки на принтере.

Несмотря на то, что дефектоскоп Авикон-11 хорошо себя зарекомендовал в работе, в процессе мониторинга выявлены недостатки, такие как ограниченность возможностей выявляемых дефектов.

Из общего числа дефектов в соответствии с распоряжением от 23 октября 2014 г. № 2499р об утверждении и введении в действие инструкции «Дефекты рельсов. Классификация, каталог и параметры дефектных и острodefектных рельсов». Авикон-11 определяет коды выявляемых дефектов по классификатору дефектов и повреждений рельсов НТД/ЦП-1-93: 20.1-2; 21.1-2; 24; 25; 26.3; 27.1-2; 30В.1-2; 30Г.1-2; 38.1; 50.1-2; 52.1-2; 53.1-2; 55;56.3; 60.1-2; 66.3; 69 (в зоне проекции шейки рельса); 70.1-2; 74 и 79, в то время как общее число дефектов в соответствии с вышеописанным распоряжением много больше.

Все дефекты рельсов в классификации кодированы трехзначным числом. Использована следующая структура кодового обозначения:

- первая цифра кода определяет группу дефектов по месту появления дефекта по элементам сечения рельса (головка, шейка, подошва, всё сечение);

- вторая цифра определяет тип дефекта рельсов с учетом основной причины его зарождения и развития;

- третья цифра указывает на место расположения дефекта по длине рельса.

Первые две цифры кода дефектов рельсов отделяются от третьей цифры точкой.

Задача ультразвукового дефектоскопа Авикон-11 – диагностировать наличие дефектов. Установлено, что Авикон-11 выявляет уже сформировавшийся или зарождающийся дефект, но не может спрогнозировать появление новых дефектов.

Результаты дистанционного мониторинга дефектов и повреждений рельсов, выявляемых дефектоскопом Авикон-11, можно отразить в таблице 1.

Таблица 1 – Фрагмент результатов выборки дефектов и повреждений рельсов, выявляемых дефектоскопом Авикон-11

Причины возникновения дефектов	Тип дефектов				
	поперечные трещины	продольные трещины	дефекты в шейке	дефекты в подошве	изломы
Нарушение в процессе изготовления	20,1	30,1	50,1	60,1	70,1
Пропуск гарантированного тоннажа	21,1	–	–	–	–
Нарушение при эксплуатации	24,1	–	–	–	74,1
Нарушения при механическом воздействии	25,1	–	55,1	–	–
Нарушение в сварных стыках: – до пропуска гарантированного тоннажа	27,1	–	–	–	–
– после пропуска гарантированного тоннажа	26,3	–	56,3	66,3	–
Нарушения, не подлежащие контролю	–	38,1	–	69,2	79,1

В соответствии с проведенным дистанционным мониторингом следует отметить, что наиболее часто встречающимися причинами износа рельсов считаются:

- наработка тоннажа, измеряемого в миллионах тонн брутто;
- нарушения технологии изготовления и сварки, недостаточно высокое качество стали;
- нарушение требований по текущему содержанию железнодорожного пути, обработки торцов элементов верхнего строения пути и болтовых отверстий;
- повышенное динамическое воздействие на пути, в том числе юз, боксование, обусловленные недостатками подвижного состава и нарушением режимов вождения;
- различные механические воздействия (рельса о рельс, удары инструментами);
- сезонность (зимой увеличивается в 2–3 раза);
- отклонение от норм эксплуатации (надежность);
- нагрев при трении;
- коррозия.

Разработка «модуля – программного обеспечения», базируется на математических методах моделирования, позволяющих осуществлять диагностику и прогноз появления новых дефектов в той или иной области рельсов. Задача заключается в усовершенствовании программного обеспечения, которое сможет работать как напрямую в аппарате, так и исследовать полученные данные извне.

При этом прогнозирование будет осуществляться за счёт математического подхода к собранным эмпирическим данным. База полученных результатов измерений в настоящий момент уже существует на ОАО «РЖД» благодаря регулярному контролю за текущим состоянием железнодорожного пути. Соответственно, используя уже имеющиеся результаты, можно улучшить качество прогноза, так как больший набор входных данных уменьшает итоговую погрешность.

Математически линейная интерполяция определяется как некоторая система точек  $x_i$  ( $i \in 0, 1, \dots, N$ , находящихся в определенном промежутке  $D$ , причем функция известна только в некоторых точках:  $y_i = f(x_i)$ ,  $i = 1, \dots, N$ . Задача – найти функцию  $F$ , то есть определить поведение функции, зная конкретный набор информации. Следовательно, чем шире спектр входной информации, тем более достоверным будет прогнозирование.

Например, если мы имеем набор точек  $x: 1; 2; 3; 4; 5; 6$  и определённое количество базовых значений функции  $f: 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6$ , то используемый математический метод позволяет определить, какое значение имеет данная функция в точке  $x = 1,5$ :

$$y_i = 0,1 + \frac{(1,5 - 1) \cdot (0,2 - 0,1)}{2 - 1} = 0,15.$$

Поиск более точного прогнозирования требует достаточно сложного, адекватного алгоритма решения.

Для придания дефектам формы функции идентичности требуется структурировать их и вывести определенную зависимость, которая позволит провести процедуру интерполяции. При этом полученный в результате математического предсказания также будет учитываться при проведении повторной процедуры. Поскольку дефект может возникать в неопределённый промежуток времени, в неопределённом месте, использование предыдущего результата необходимо для исключения некорректного предсказания.

Научный прогноз возникновения дефектов позволит уменьшить время реагирования на возникновение того или иного дефекта и заблаговременно сформировать стратегию по устранению дефектов на этапе зарождения.

#### Список литературы

- 1 **Зацепин, А. Ф.** Современные компьютерные дефектоскопы для ультразвуковых исследований и неразрушающего контроля : учеб. метод. пособие / А. Ф. Зацепин, Д. Ю. Бирюков. – Екатеринбург : УрФУ, 2016. – 120 с.
- 2 **Ильин, М. Е.** Аппроксимация и интерполяция. Методы и приложения : учеб. пособие / М. Е. Ильин. – Рязань, 2010. – 56 с.
- 3 **Иванова, А. П.** Анализ вибрационного воздействия на машины и механизмы / А. П. Иванова, К. В. Орлов, Д. А. Резепкина // Молодежная наука в XXI веке: традиции, инновации, векторы развития : материалы Всероссийской науч.-исслед. конф. – Оренбург, 2019. – С. 110–112.
- 4 **Иванова А. П.** К вопросу о композиционных материалах / А. П. Иванова, А. Р. Зарипова, Е. И. Панов // Молодежная наука в XXI веке: традиции, инновации, векторы развития : материалы Всероссийской науч.-исслед. конф. – Оренбург, 2019. – С. 112–113.
- 5 Оценка отклонений в интервалах времени обслуживания и эксплуатации технической системы : свидетельство о регистрации программы для ЭВМ. – RU 2017662438 : заявка № 2017619026 / А. П. Иванова, Т. И. Пискарёва, Л. В. Межуева ; заявл. 07.11.2017 ; опубл. 07.09.2017.
- 6 **Катен-Ярцев, А. С.** Основы регистрации дефектоскопного контроля рельсов и расшифровки дефектограмм : учеб. пособие / А. С. Катен-Ярцев, Ю. А. Сухобок. – Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2018. – 94 с.
- 7 **Никитина, А. В.** Вибрации – механизм возникновения, системы защиты / А. В. Никитина, А. П. Иванова // Молодежная наука в XXI веке: традиции, инновации, векторы развития : материалы Междунар. науч.-исслед. конф. молодых ученых, аспирантов, студентов и старшеклассников. – Оренбург, 2018. – С. 88–90.
- 8 Updating the matrix approach to creating a parametric balance of technological process / V. A. Shakhov [et al.] // IOP Conference Series : Materials Science and Engineering International Science and Technology Conference (FarEastCon 2020), 6<sup>th</sup>–9<sup>th</sup> October 2020. – 2021. – P. 052047.
- 9 **Черков, С.** Защита арматуры от коррозии / С. Черков, С. Рязанов, А. П. Иванова // Молодежная наука в XXI веке: традиции, инновации, векторы развития : материалы Междунар. науч.-исслед. конф. молодых ученых, аспирантов, студентов и старшеклассников. – Оренбург, 2018. – С. 134–136.
- 10 **Шпилова, Е. С.** Микропроцессорная система управления / Е. С. Шпилова, А. П. Иванова // Молодежная наука в XXI веке: традиции, инновации, векторы развития : материалы Междунар. науч.-исслед. конф. молодых ученых, аспирантов, студентов и старшеклассников. В 3 ч. – Оренбург, 2017. – С. 161–162.

## 2 БЕЗОПАСНОСТЬ И НАДЕЖНОСТЬ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА И СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

УДК 621.331:621.311.019.3 (476.1)

### ВЫБОР СХЕМЫ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НА УЧАСТКЕ МИНСК – БОРИСОВ

*О. С. АНАНЬЕВА, В. В. МЕЛЕШКО*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Основная задача хозяйства электрификации и электроснабжения – бесперебойное обеспечение электроэнергией объектов и устройств железной дороги, обеспечение надежной работы устройств контактной сети, линий электроснабжения, дальнейшее развитие хозяйства электрификации и электроснабжения на основе передовых достижений в области электроэнергетики и железнодорожного транспорта.

Основной задачей системы электроснабжения является обеспечение эксплуатационной работы железной дороги. Для этого необходимо, чтобы мощность всех элементов системы электроснабжения была достаточной для обеспечения требуемой локомотивом мощности при различных условиях работы. Эти задачи могут быть решены только при правильно выбранных параметрах системы электроснабжения, обеспечивающих работу оборудования в допустимых для него пределах по нагрузке и необходимом качестве электрической энергии (в первую очередь – уровень напряжения). Существуют различные схемы питания контактной сети.

Для выбора схемы питания контактной сети необходимо: решить задачу по выбору отдельной или параллельной работы тяговых подстанций на рассматриваемом участке контактной сети; определить число поперечных соединений между контактными подвесками смежных путей на зоне между двумя соседними тяговыми подстанциями на двухпутных и многопутных участках.

Под схемой одностороннего питания понимают схему, при которой определенный участок контактной сети получает питание только от одной подстанции (с одной стороны). В схеме двустороннего питания определенный участок контактной сети, как правило, получает питание от двух тяговых подстанций (с двух сторон). В схеме одностороннего питания провода контактной сети, как правило, приблизительно в середине участка, между тяговыми подстанциями, разделяют на две секции. Каждая секция питается от одной подстанции через свою питающую линию (фидер). В схеме двустороннего питания нагрузка электровоза делится между подстанциями. В рассмотренных схемах питания каждая часть участка получает питание либо от одного конкретного фидера, либо от двух определенных фидеров. Часть участка контактной сети, в пределах которого электровоз получает питание от одного фидера или от одних и тех же фидеров, называется фидерной зоной.

С точки зрения совместной работы контактных подвесок смежных путей на двухпутных и многопутных участках различают следующие схемы их соединения (схемы питания): отдельную, узловую и параллельную. При отдельной схеме контактные подвески смежных путей работают независимо друг от друга, отдельно. При узловой схеме примерно в средней части фидерной зоны между контактными подвесками появляется общая точка (узел), выполненная с помощью специального устройства, которое носит название «пост секционирования» (ПСК). Посты секционирования предназначены для электрического соединения секций контактной сети двухпутных и однопутных участков железных дорог и защиты от токов перегрузки и короткого замыкания [1].

Посты секционирования выполняются в виде контейнеров. Корпус контейнера состоит из жесткого опорного каркаса, обшитого снаружи и изнутри металлическими панелями, промежутки между которыми заполнены теплоизоляционным материалом.

Подключение ПСК к контактной сети осуществляется через проходные изоляторы и анкерное устройство, закрепленное на крыше контейнера. Ввод в посты кабелей питания собственных нужд и управления производится через отверстие в полу.



Конструктивно ПСК разделены на два отсека: отсек управления и высоковольтный. В высоковольтном отсеке постов переменного тока расположены вакуумные высоковольтные выключатели, измерительные трансформаторы тока и напряжения, ограничители перенапряжений и высоковольтные предохранители, заземляющий разъединитель, силовой шинопровод. В отсеке управления расположены аппаратура управления высоковольтными выключателями и фидерными разъединителями, поддержания заданного температурного режима внутри контейнера, защиты фидеров контактной сети, телеуправления и телесигнализации, питания собственных нужд, управления продольными разъединителями контактной сети.

Посты секционирования переменного тока обеспечивают двухступенчатую токовую защиту фидеров контактной сети, защиту по минимальному напряжению, защиту фидеров от тока короткого замыкания, земляную защиту, автоматическое повторное включение выключателей, дистанционное и телеуправление выключателями, приводами фидерных и продольных разъединителей контактной сети, телесигнализацию положения коммутационных аппаратов, телеизмерение токов и напряжений на фидерах в нормальном и аварийных режимах, высокую безопасность при проведении ремонтно-профилактических работ. При параллельной схеме питания появляются дополнительные переключки, которые называются пунктами параллельного соединения (ППС). Пункты параллельного соединения предназначены для электрического соединения контактной сети двух путей на участках железных дорог и обеспечивают селективность работы защиты фидеров. Их число может быть различным, от 1 до 6.

Задача работы состоит в необходимости сравнить два варианта схемы питания участка Смоленский – Борисов: вариант с двусторонним питанием участка (выключатель поста секционирования включен) и с односторонним питанием (выключатель выключен, каждая подстанция питает участок до поста секционирования). Сложность работы на данном участке связана еще и с тем, что внешнее питание тяговые подстанции получают от разных внешних источников. Соответственно, это способствует появлению уравнивающих токов, что приводит к увеличению потерь.

Для определения некоторых параметров необходимо было использовать программный комплекс КОРТЭС. Среди основных возможностей, реализованных в КОРТЭС, можно отметить следующие: определение тяговой нагрузки с учётом рекуперации энергии, а также кратности тяги по отдельным перегонам участка; выполнение электрических расчётов на основе моделирования графика движения поездов различных категорий: скоростных, пассажирских, грузовых (в том числе повышенной массы), пригородных и др.; расчёт схем питания фидерных зон от нескольких тяговых подстанций при наличии примыкающих участков; учёт реальной схемы подключения фидеров подстанций и постов секционирования к контактной сети при заданном расположении воздушных промежутков.

Для этого необходимо произвести тяговые и электрические расчеты на заданном участке при движении по нему поездов. Расчет производится в режиме отсутствия движения на соседнем пути и в режиме случайного графика движения. Для проведения тягового расчета необходимо знать профиль пути, ограничения скоростей движения, тип локомотива, состав и массу поезда. Все эти параметры вводятся в файл данных при помощи редактора параметров участка.

На основании данных, полученных при тяговом расчете, был произведен расчет потерь мощности за год для двух схем питания. Для схемы с односторонним питанием они составили 765405 кВт·ч, а для схемы с двусторонним питанием – 658095 кВт·ч. Исходя из проведенного расчета можно сделать вывод, что схема с двусторонним питанием более экономична, однако следует учесть, что в данной схеме будут протекать уравнивающие токи. Так как потери мощности из-за влияния уравнивающих токов зависят от изменения напряжения, суммарные годовые потери мощности будут также зависеть от данной величины.

Исходя из полученных значений можно сделать следующий вывод: при колебаниях напряжения до 1100 В выгоднее использовать двустороннее питание, однако после отклонения в 1100 В питающего напряжения, потери резко возрастают, и лучше использовать схему с односторонним питанием, однако, следует учитывать, что пропускная способность системы с односторонним питанием ниже, и при снижении питающего напряжения свыше 2060 В схема с односторонним питанием не обеспечит необходимую пропускную способность, так как напряжение на токоприемнике электрического подвижного состава будет ниже допустимого, которое составляет 21 кВ.

#### Список литературы

1 Тер-Оганов, Э. В. Электроснабжение железных дорог : учеб. для студентов университета специальности 190901.65 / Э. В. Тер-Оганов, А. А. Пышкин. – Екатеринбург : УрГУПС, 2014. – 432 с.

## ОРГАНИЗАЦИЯ ПОДАЧИ РЕСУРСОВ В РАМКАХ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ

Г. А. БУБНОВА

*Уральский государственный университет путей сообщения, г. Екатеринбург, Российская Федерация*

В период 2012–2021 гг. проводилась консолидация и передача в Центральную дирекцию инфраструктуры специальных вагонов грузового и пассажирского типов, ранее находившихся на балансе железных дорог и филиалов ОАО «РЖД». В указанный период Центральной дирекцией инфраструктуры проводились мероприятия, направленные на оздоровление и оптимизацию вагонного парка: списано и утилизировано 16730 вагонов, приобретен 8851 вагон и модернизировано 17643 вагона. С учетом указанных мероприятий парк вагонов оптимизирован до 47593 вагонов [1–4].

Согласно рисунку 1:

- техническое обслуживание – мониторинг технического состояния вагонов по мере их эксплуатации на инфраструктуре ОАО «РЖД»;
- опробование тормозов (далее – ОТ) – комплекс операций по контролю за автотормозным оборудованием вагонов в составе поезда при их эксплуатации;
- подготовка вагонов к перевозке на ПТО – комплекс операций по подготовке вагонов к перевозке (перед погрузкой) на путях станции с оформлением ф. ВУ-14 М;
- безотцепочный ремонт (далее – БОР) – проводят по результатам ТО в случае необходимости и согласно технологическому процессу («мелкий ремонт», замена малогабаритных деталей вагона при ТО);
- допуск подвижного состава – контрольная технологическая операция при приеме вагонов на инфраструктуру ОАО «РЖД»;
- сохранность вагонного парка – контрольная технологическая операция при погрузочно-разгрузочных операциях и маневровой работе; проведение контроля за сохранностью вагонов регламентировано технологическим процессом, и его стоимость включена в железнодорожный тариф;
- подготовка вагонов к перевозке (ТР-1) – комплекс операций по подготовке вагонов к перевозке (перед погрузкой) с отцепкой их от поезда на специализированные пути станции (в основном «ремонт кузова»); услуга предоставляется по единой стоимости для всех владельцев подвижного состава;
- текущий отцепочный ремонт (ТР-2) – комплекс операций по подготовке вагонов к перевозке с отцепкой их от поезда на механизированные пункты; услуга предоставляется по фактически понесенным затратам ОАО «РЖД» в соответствии с прейскурантом ОАО «РЖД».

Основным видом деятельности ЦВ ЦДИ является проведение технического обслуживания грузовых вагонов в соответствии с ПТЭ, а пассажирских вагонов – в соответствии с «Договором об оказании услуг по использованию инфраструктуры железнодорожного транспорта общего пользования между ОАО «РЖД» и ОАО «ФПК» № 252. Данные виды деятельности напрямую связаны с обеспечением устойчивой перевозочного процесса и включены в тариф железнодорожных перевозок [5–6].

Для определения ресурсов, используемых в контрольно-техническом осмотре и безотцепочном ремонте, воспользуемся построением состава с вагонами на основе теории графов. Исходными данными к построению системы обслуживания выступают интенсивности поступления заявок под обслуживание и интенсивности проведения обслуживания с использованием конкретных научных методов исследования.

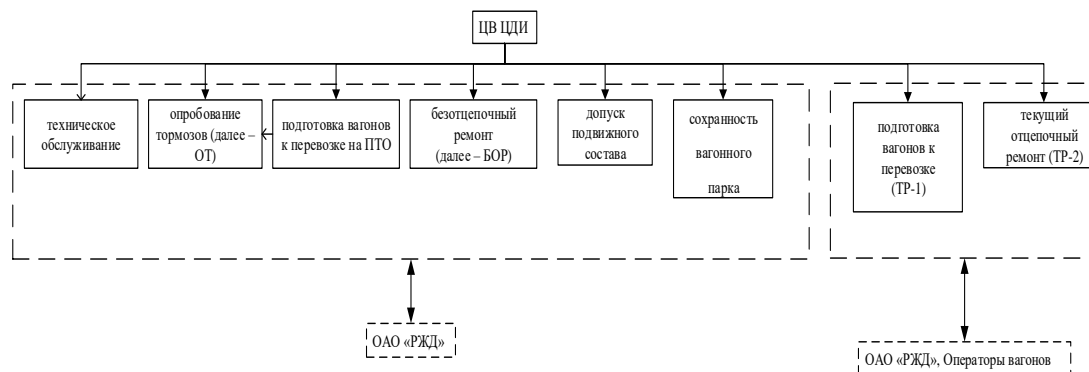


Рисунок 1 – Специализация предприятий вагонного хозяйства ОАО «РЖД»

Расчет для поставленной задачи будет производиться при условии обслуживания одного состава одним каналом (бригадой). Математический расчет производится следующим образом; для  $k$ -го количества вагонов составляются уравнения в виде системы алгебраических уравнений Колмогорова. Для организации обслуживания характерны критерии стационарности, соответственно возникает возможность расчета предельных вероятностей для данной одноканальной подсистемы  $S$  с ограничением по очереди.

Получены формулы вероятностей пребывания вагона в конкретном техническом состоянии, в ходе проведения осмотра и безотцепочного ремонта появилась возможность определения времени на обслуживание всего состава при заданном и конечном числе вагонов. В результате использования методов псевдосостояний решена задача получения вероятностной оценки статуса обслуживания вагона в составе при организационной деятельности ПТО.

#### Список литературы

- 1 **Zubkov, V.** Influence of transport process participants on the quality of transport services med / V. Zubkov // j. Safety in Aviation and Space Technologies. Select Proceedings of the 9th World Congress "Aviation in the XXI Century". – 2022. – Vol. 1(1). – P. 301–310.
- 2 **Zubkov, V.** Automation of cargo correspondences in railway-water communication / V. Zubkov // Lecture Notes in Civil Engineering. – 2022. – Vol. 1(180). – P. 405–416.
- 3 **Zubkov, V.** Information and intelligent models in the management of transport and logistics systems / V. Zubkov // Lecture Notes in Civil Engineering. – 2022. – Vol. 1(180). – P. 433–445.
- 4 **Pershin, V.** Public-private partnership as a factor in the development of the metropolitan transport system / V. Pershin // AIP Conference Proceedings, "Proceedings of the Scientific Conference on Railway Transport and Engineering, RTE 2021". – 2021. – 020005.
- 5 **Yushkova, S.** Polygon principles for integrative digital rail infrastructure management / S. Yushkova // Transportation research procedia "International scientific siberian transport forum, Transsiberia 2020". – 2021 – P. 208–219.
- 6 **Kamaretdinova, G.** The program for simulation modeling of the process of maintenance of freight cars at the interstate butt point (PIM PTO GV MGSP) : certificate of registration of the computer program ru 2020610967, 01/22/2020. / G. Kamaretdinova. – Application No. 2020610116. – Dated 01/09/2020.

УДК 656.212.5

## МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ ПЕРИФЕРИЙНЫХ УСТРОЙСТВ КОНТРОЛЯ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

*В. В. БУРЧЕНКОВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

*Т. В. КАУФМАН*

*Гомельский филиал РУП «Белтелеком», Республика Беларусь*

Для решения задач по выполнению требований к повышению безопасности движения поездов с одновременным сокращением эксплуатационных затрат необходимо применение эффективных цифровых систем диагностирования технического состояния подвижного состава на основе новейших технологий мониторинга. Исходной информацией при построении математических моделей процессов функционирования сложных систем, к которым относятся многоуровневые информационно-измерительные автоматические системы контроля подвижного состава АСК ПС, служат данные о назначении и условиях работы исследуемых объектов. Эта информация определяет основную цель моделирования и позволяет формулировать требования к разрабатываемой математической модели, в том числе для подсистем автодиагностики, являющихся обязательной составляющей частью сложных автоматических систем. При работе комплексов технических средств КТСМ, систем передачи данных СПД и автоматизированных рабочих мест АРМ между периферийным комплектом ПК-05 КТСМ и серверным автоматизированным рабочим местом АРМ устанавливается так называемое «виртуальное соединение», т. е. выполняются условия для информационного обмена между ними. Тем самым периодически контролируется исправность периферийного оборудования и целостность соединительных кабельных линий СПД. Учет приоритета контроля проходящего поезда при передаче данных автодиагностики обуславливает использование системы массового обслужи-

вания СМО для установления очередности передачи данных с периферийных пунктов контроля на серверный АРМ. Для этих целей разработана модель автодиагностики с использованием преимуществ, обеспечиваемых системой массового обслуживания.

При пользовании математической моделью необходимо обеспечить адекватность отображения конкретных условий и реальных процессов в исследуемой системе по цепочке: описательная модель – математическая схема – математическая (аналитическая или (и) имитационная) модель. Конкретная система  $S$  (например, информационно-измерительный комплекс АСК ПС) характеризуется набором свойств, отражающих поведение моделируемого объекта (реальной системы) и учитывающих условия её функционирования во взаимодействии с внешней средой (системой)  $E$ . При установленном виртуальном соединении ПК-05 и АРМ периодически контролируют целостность соединения. Если в течение установленного времени удержания соединения ПК-05 не получает от АРМа команды проверки целостности соединения, то виртуальное соединение считается разорванным. В этом случае информация, предназначенная для этого АРМа, начинает накапливаться в буфере. Время удержания соединения задается командой от АРМа и может быть установлено каждым АРМом индивидуально. Если между ПК-05 и АРМом не установлено виртуального соединения, то информация, генерируемая как самим комплексом, так и подсистемами контроля, накапливается во внутреннем буфере ПК-05.

При построении математической модели системы решается вопрос о ее объеме и полноте. Полнота модели определяется выбором границы «система  $S$  – среда  $E$ ». Одновременно решается задача упрощения модели, в которой выделяются только основные свойства системы. Отнесение свойств системы к основным или второстепенным зависит от цели моделирования системы (например, установление очередности виртуальных соединений, анализ вероятностно-временных характеристик процесса функционирования системы, учет ограничений из-за технического контроля проходящих поездов, синтез структуры системы и т. д.).

Модель системы  $S$ , можно представить в виде множества величин, описывающих процесс ее функционирования с помощью следующих подмножеств: совокупность входных воздействий на систему –  $x$ ; совокупность воздействий внешней среды –  $v$ ; совокупность внутренних (собственных) параметров системы –  $h$ ; совокупность выходных характеристик системы –  $y$ ; совокупность начальных условий системы –  $z$ .

В перечисленных подмножествах можно выделить управляемые и неуправляемые переменные. В общем случае  $x$ ,  $v$ ,  $h$ ,  $u$  являются элементами непересекающихся подмножеств и содержат как детерминированные, так и стохастические составляющие.

При моделировании системы  $S$  входные воздействия, воздействия от внешней среды  $E$  и внутренние параметры являются независимыми переменными, имеющими векторную форму. Процесс функционирования системы  $S$  описывается во времени некоторым оператором  $FS$ , который в общем случае преобразует независимые переменные в зависимые.

Для описания и исследования системы  $S$  разрабатывается алгоритм функционирования  $AS$ , который позволяет получить выходные характеристики с учетом входных воздействий  $x(t)$ , воздействий внешней среды  $v(t)$  и собственных параметров системы  $h(t)$ . При этом один и тот же закон функционирования  $FS$  системы  $S$  может быть реализован различными способами с помощью множества различных алгоритмов функционирования  $AS$ . Закон  $FS$  является математическим описанием поведения объекта (системы) моделирования во времени  $t$ , и отражает его динамические свойства, которые характеризуется вектором. Состояние системы  $S$  в промежутке времени  $t_0 < t < T$  определяется начальными условиями  $z_0 = (z_1(t_0), z_2(t_0), \dots, z_k(t_0))$ , входными воздействиями  $x(t)$ , внутренними параметрами  $h(t)$  и воздействиями внешней среды  $v(t)$ , которые имели место за промежуток времени  $t-t_0$ , а также выходными характеристиками  $y(t)$ .

В общем случае время в модели системы  $S$  может рассматриваться на интервале моделирования  $(0, T)$  как квантованное на отрезки длиной  $\Delta t$  единиц каждый. Таким образом, математической моделью объекта (реальной системы) является конечное подмножество переменных элементов  $\{x(t), h(t), v(t), y(t)\}$  математически связанных между собой.

В технологическом процессе обслуживания подвижного состава можно выделить две основные составляющие: ожидание обслуживания заявки на автодиагностику периферийного комплекса КТСМ и собственно обслуживание заявки. Заявки, обслуженные каналом, и заявки, покинувшие накопитель не обслуженными (например, из-за внеочередного контроля проходящего поезда), обра-

зуют выходной поток. В интервалы времени между моментами выхода заявок образуется подмножество выходных переменных.

Неоднородность заявок на обслуживание, отражающая процесс в реальной системе СМО, учитывается с помощью введения классов приоритетов. Приоритеты входа поезда в зону контроля КТСМ являются абсолютными, не зависящими от состояния накопителя СМО. Они являются фиксированными в пределах решения данной конкретной задачи моделирования. При рассмотрении алгоритмов функционирования обслуживания накопителей задается набор правил по которым заявки покидают накопитель, либо правила переполнения, по которым заявки в зависимости от заполнения покидают систему, либо правила ухода, связанные с истечением времени ожидания заявки в накопителе. Весь набор возможных алгоритмов поведения заявок в СМО представляется в виде некоторого оператора алгоритмов поведения заявок  $A$ .

Процесс обслуживания начинается при отсутствии заявок в накопителе. Характерная ситуация в работе таких систем – появление заявок (требований) на обслуживание и завершение обслуживания в случайные моменты времени, т. е. стохастический характер процесса их функционирования. В общем случае моменты поступления заявок в систему  $S$  из внешней среды  $E$  образуют входящий поток, а моменты окончания обслуживания образуют выходящий поток обслуженных заявок.

СМО можно считать заданной, если определены: потоки событий (входящие потоки заявок на автодиагностику и потоки обслуживания для каждого АРМа), а также структура системы  $S$  (число фаз, число каналов обслуживания, число накопителей каждой из фаз обслуживания заявок и связи между ними). Вопросы компьютерной реализации программных генераторов, имитирующих потоки событий, базируются на особенностях построения моделирующих алгоритмов процесса функционирования таких элементов СМО, как накопители и каналы. При этом моделирующий алгоритм должен адекватно отражать процесс функционирования системы СМО.

В представленной модели реализован учет абсолютного приоритета контроля проходящего поезда при передаче данных автодиагностики, что обуславливает использование системы массового обслуживания СМО для установления очередности передачи данных с периферийных пунктов контроля КТСМ на серверный АРМ. Модель автодиагностики с использованием преимуществ, обеспечиваемых системой массового обслуживания, существенно повышает эффективность и надежность работы системы АСК ПС в целом.

УДК 621.869.888.2

## **АНАЛИЗ НЕИСПРАВНОСТЕЙ 40-ФУТОВЫХ ISO-КОНТЕЙНЕРОВ HIGH CUBE И ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО СОХРАННОСТИ КОНТЕЙНЕРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ В ЭКСПЛУАТАЦИИ**

*С. М. ВАСИЛЬЕВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

*А. В. ПИЩИК*

*ООО «А.Т.О.М.», г. Москва, Российская Федерация*

Ключевое место в системе международных грузоперевозок занимает сегмент транспортировки грузов в контейнерах различных типов. Значительная часть объема контейнерных перевозок осуществляется крупнотоннажными контейнерами, которые имеют массу брутто 10 тонн и более.

Параллельно процессу увеличения мирового парка крупнотоннажных контейнеров возникает необходимость обеспечения сохранности и детального анализа возникновения неисправностей.

Анализ эксплуатации контейнерного оборудования показывает, что порядка 90 % неисправностей относится к повреждениям и только 10 % – к неисправностям технологического и эксплуатационного характера. Основной причиной повреждения контейнеров является нарушение требований при выполнении погрузочно-разгрузочных операций и транспортировке различными видами транспорта.

Конструктивно 40-футовый ISO-контейнер High Cube состоит из следующих элементов: каркас, боковые стены (правая и левая), передняя торцевая стена, задняя торцевая стена-дверь, крыша, пол.

Основными неисправностями каркаса являются повреждение нижней и верхней балки боковых стенок, повреждение угловых стоек боковых стенок, повреждение верхней и нижней балки задней торцевой стены-двери, повреждение угловых фитингов, коррозия.

Основными неисправностями боковых и передней торцевой стены являются: трещина, отверстие, вмятина, выпуклость, коррозия (рисунок 1).



Рисунок 1 – Повреждения боковой стены контейнера

Основными неисправностями задней торцевой стены-двери являются трещина, отверстие, вмятина, выпуклость, повреждение или отсутствие стопорного дверного замка, повреждение штанги дверного замка, повреждение резиновых уплотнений, повреждение или отсутствие дверных петель, повреждение или отсутствие ручки дверного замка, повреждение фиксирующей скобы штанги дверного замка, коррозия.

Основными неисправностями крыши являются трещина, отверстие, вмятина, выпуклость, коррозия.

Основными неисправностями пола являются повреждение деревянного настила пола (пролом, гниение, расслоение), отрыв дверного уголка крепления настила пола, повреждение карманов для вилочных захватов, повреждение туннеля под гузнок (от. англ. *gooseneck* – гусиная шея, передняя часть прицепа, на которой располагается туннель контейнера, служит для уменьшения общей высоты контейнера при перевозках на автомобильных прицепах), повреждение рёбер жёсткости, коррозия (рисунок 2).



Рисунок 2 – Повреждения деревянного настила пола

К общим неисправностям контейнеров относятся отсутствие таблички КБК/CSC (Конвенция по безопасным контейнерам), нарушение маркировки контейнера, деформация в нескольких местах, нарушение геометрии, граффити [1].

Анализ неисправностей показывает, что требуется прилагать усилия для обеспечения сохранности контейнерного оборудования и повышению качества технологии ремонта. Каждое повреждение контейнера сокращает полезный срок его использования, что приводит к значительным издержкам собственников контейнерного оборудования. Нарушение технологии ремонта контейнеров приводит к снижению эксплуатационной надежности, а также к нарушениям безопасной эксплуатации контейнера при перевозке всеми видами транспорта.

Предложения по обеспечению сохранности контейнерного оборудования в эксплуатации:

– эффективное взаимодействие собственников и пользователей контейнеров с перевозчиками и терминальными комплексами (разъяснение порядка выполнения погрузочно-разгрузочных работ, обучение персонала передовым методам эксплуатации контейнерного оборудования);

– повышение ответственности виновников повреждения контейнеров (закрепление ответственности в договорах аренды/пользования контейнеров);

– хранение контейнеров на охраняемых площадках и терминалах (предотвращение вмешательства третьих лиц);

– повышение качества технологии ремонта контейнеров.

Основные аспекты повышения качества технологии ремонта контейнеров:

– использование для ремонта настила пола древесины, которая соответствует по своим характеристикам ГОСТ и технической документации на контейнер, а также прошла обработку против грызунов и термитов [2];

– сохранение геометрии контейнера при проведении сварочных и правочных работ;

– соблюдение технологии сварочно-наплавочных работ;

– разработка мероприятий по защите от образования коррозии различных типов (нанесение защитных покрытий, включая полимерные).

Комплексные подходы по организации сохранности контейнерного оборудования позволят увеличить срок службы контейнеров, повысить транспортную безопасность при перевозке грузов, а также повысить востребованность контейнерных перевозок. В полной мере реализовать данные предложения возможно только при заинтересованности всех участников рынка контейнерных перевозок.

#### Список литературы

1 Коды неисправностей грузового контейнера [Электронный ресурс] // Контмастер. – Режим доступа : <https://kontejnerov.ru/uslugi-teo/poleznaya-informacziya/kody-neispravnostej-gruzovogo-kontejnera.html>. – Дата доступа : 16.09.2022.

2 ГОСТ 20259-80. Контейнеры универсальные. Общие технические условия. – Введ. 1982-01-01. – М. : Издательство стандартов, 2002. – 17 с.

УДК 629.463.62.002.7

### АНАЛИЗ СИЛ В ЭЛЕМЕНТАХ УПРУГОГО КРЕПЛЕНИЯ ТРУБ ПРИ ЭКСТРЕННОМ ТОРМОЖЕНИИ ПОЕЗДА НА УЧАСТКАХ ПУТИ С ПЕРЕМЕННЫМ ПРОФИЛЕМ

*И. А. ВОРОЖУН, А. В. ВОРОЖУН*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Размещение и крепление грузов на открытом 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. Однако при варианте экстренного торможения могут потребоваться более жесткие крепления, чтобы не допустить больших смещений при длительных торможениях.

Безопасная эксплуатация железнодорожного транспорта во многом зависит от уровня развития и технического состояния тормозного оборудования, являющегося одним из наиболее ответственных устройств подвижного состава. Эффективность тормозов оказывает влияние не только на безопасность движения, но и на провозную и пропускную способность железных дорог.

Для определения длины тормозного пути, времени торможения, а также изменения скорости движения в условиях торможения поезда на участках пути с переменным профилем широко применяется метод численного интегрирования, позволяющий учитывать фактическое состояние тормозного оборудования.

Типовая методика тяговых расчетов рассматривает поезд как материальную точку. Поэтому угол наклона пути  $\alpha$  принимается одинаковым для всех единиц поезда. Однако при большой длине поезда уклон единиц поезда зависит от положения на участках пути. Учитывая малость угла  $\alpha_i$ , принимаем  $\sin \alpha_i \approx \alpha_i$ . Тогда, если зависимость угла наклона пути от пройденного расстояния для локомотива имеет вид  $\alpha_l = i(s)$ , то для  $i$ -го вагона поезда она определяется соотношением

$$\alpha_i = i(s - \sum_{j=1}^{i-1} l_j - \frac{l_i}{2}).$$

Рассмотрен процесс торможения поезда, состоящего из локомотива, 15 вагонов и платформы, нагруженной четырьмя трубами в два яруса, находящихся на пути с переменным профилем.

Целью исследований является определение динамических сил, действующих на упругие элементы крепления труб к раме платформы, при экстренном торможении поезда на участках пути с переменным профилем.

Для проведения исследований важным этапом является выбор расчетной схемы, позволяющей оценить силы, действующие на единицы подвижного состава и перевозимого груза при торможении. Состав поезда представляет механическую систему со многими степенями свободы. Для исследований эту сложную систему заменим более простой расчетной схемой с ограниченным числом степеней свободы, но отражающей основные свойства исходной схемы и соответствующей поставленной цели.

В связи с этим при рассмотрении процесса торможения поезда, состоящего из локомотива и вагонов, представляющих собой платформы, нагруженные ярусами труб, целесообразно ввести следующие основные предпосылки и допущения:

- единицы подвижного состава считаются абсолютно твердыми телами;
- движение единиц подвижного состава рассматривается на участках с различными уклонами пути;
- зазоры в связях между единицами подвижного состава отсутствуют;
- трубы размещены на платформе симметрично относительно ее продольной и поперечной плоскостей симметрии;
- упругие элементы устройства крепления труб на платформе имеют линейные характеристики;
- массы локомотива, вагонов, платформы и труб сосредоточены в их центрах масс;
- центры масс всех труб и платформы перемещаются по параллельным прямым;
- вертикальными, а также угловыми перемещениями локомотива, вагонов, платформы и труб пренебрегаем.

Начало отсчета каждой из координат  $x_k$  ( $k = 1, 2, \dots, n$ ), определяющих положение локомотива, вагонов, платформы и труб, соответствует их нахождению на рассматриваемом участке пути в начальный момент времени ( $t = 0$ ) при недеформированных упругих элементах автосцепок.

Применение принципа Даламбера приводит к системе дифференциальных уравнений второго порядка, отражающих движение локомотива, вагонов, платформы и ярусов груза.

При создании математической модели поезда учитываем, что на каждую единицу подвижного состава действуют силы тяжести ( $m_k g \alpha_i$ ), силы в упругих связях между единицами подвижного состава ( $R_k$ ), силы основного сопротивления движению ( $S_k$ ) и силы торможения ( $F_k$ ).

Для выполнения расчетов в качестве начальных условий принимаем, что при  $t = 0$ :

$$x_1(0) = \dots x_k(0) = \dots x_n(0) = 0, \dot{x}_1(0) = \dots \dot{x}_k(0) = \dots \dot{x}_n(0) = v, \text{ м/с.}$$

Сила торможения локомотива (вагона) зависит от числа тормозных осей, расчетного нажатия тормозных колодок на ось, расчетного коэффициента трения тормозных колодок и определяется выражением

$$F = zP\varphi_{кр}.$$

При экстренном торможении поезда расчетное нажатие тормозных колодок на ось принимают:

- для шестиосного тепловоза –  $P = 120000$  Н;
- для четырехосных груженых вагонов –  $P = 70000$  Н.

Представленная математическая модель позволяет провести расчеты при различных способах продольного крепления ярусов труб на платформе. Все эти способы можно свести к двум основным:

- креплением труб всех ярусов непосредственно к платформе;
- креплением труб нижнего яруса к платформе, а труб каждого последующего яруса – к трубам предыдущего яруса (ярусное крепление).



Возможен также комбинированный способ продольного крепления ярусов труб, совмещающий оба способа, изложенные выше.

Для проведения исследований рассмотрен способ размещения четырех труб в два яруса и крепления всех ярусов непосредственно к раме платформы.

Расчеты проводились с применением программы MathCAD для экстренного торможения грузового поезда, движущегося по участкам пути с различной величиной уклонов, как на спусках, так и при подъемах.

В ходе расчетов определялись длина действительного тормозного пути, время торможения, силы в междувагонных связях и элементах упругого крепления труб, а также изменения скорости движения при различном расположении поезда на пути с переменным профилем. При этом варьировалась как величина уклонов участков пути, так и их длина.

Численное интегрирование уравнений системы проводилось для скорости 100 км/ч на момент начала торможения поезда.

Полученные в результате проведенных исследований данные свидетельствуют о том, что при экстренном торможении поезда динамические силы, действующие на элементы крепления труб к раме платформы, а также упругие элементы автосцепок вагонов значительно меньше полученных при исследовании вагонов на соударение. При этом смещение ярусов труб также оказывается меньшим.

Таким образом, при выборе параметров крепления труб на железнодорожной платформе следует использовать результаты, получаемые для случая соударения вагонов.

УДК 621.331, 621.311

## **УПРАВЛЕНИЕ РЕСУРСАМИ, РИСКАМИ И НАДЕЖНОСТЬЮ НА ОБЪЕКТАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ**

*М. А. ГАРАНИН, С. А. БЛИНКОВА*

*Самарский государственный университет путей сообщения, Российская Федерация*

Методология УРРАН определяется как управление ресурсами, рисками и надежностью на этапах жизненного цикла. Целью внедрения методологии УРРАН является повышение надежности и безопасности функционирования объектов железнодорожного транспорта на основе эффективной системы сбора, обработки данных и управления рисками и ресурсами на этапах жизненного цикла.

Хозяйство электрификации и электроснабжения одна из областей использования методологии УРРАН, при этом основная задача методологии УРРАН в хозяйстве электроснабжения выражается в увеличении жизненного цикла систем электроснабжения на основе оценки рисков при условии обеспечения требуемого уровня эксплуатационной надежности и допустимого уровня безопасности перевозочного процесса [1].

1 Управление надежностью объектов электрификации и электроснабжения.

Надежность системы железнодорожного электроснабжения определяется как способность системы обеспечивать в расчетных режимах преобразование, распределение и передачу электрической энергии тяговым и нетяговым потребителям нормируемого качества и в требуемом количестве [2]. Оценка надежности осуществляется исходя из значений допустимых, проектных и фактических коэффициентов простоя. Допустимый коэффициент простоя определяется установленной величиной издержек, связанных с простоем поездов на время устранения отказа, а также затратами на само восстановление работоспособного состояния объектов электрификации и электроснабжения. Проектный коэффициент простоя находится на стадии проектирования объектов электрификации и электроснабжения, а фактический коэффициент простоя рассчитывают на стадии эксплуатации на основе обработки статистических данных об отказах за расчетный период.

В зависимости от значений допустимых, проектных и фактических коэффициентов простоя определяется тип сценария и соответствующие рекомендации для принятия решений.

2 Оценка рисков для контактной сети.

Отказом системы железнодорожного электроснабжения называется событие, заключающееся в отклонении напряжения выше или ниже допустимых значений по действующим нормам или при-

водящее к недоотпуску электрической энергии потребителям при прекращении или ограничении электроснабжения [3]. Понятие риска включает в себя вероятность возникновения событий, ведущих к опасности или частоте возникновения таких событий, и последствия возникновения данных событий. По объектам электроснабжения проведен расчет, необходимый для построения матрицы рисков и разработаны корректирующие мероприятия. На рисунке 1 представлена матрица рисков участка железной дороги  $N$ , на котором задержки поездов произошли вследствие разрегулировки контактной подвески. Частота составляет  $0,44 \text{ год}^{-1}$ , а тяжесть последствий –  $1,075$  часа, пересечение этих двух значений отображено на рисунке 1.

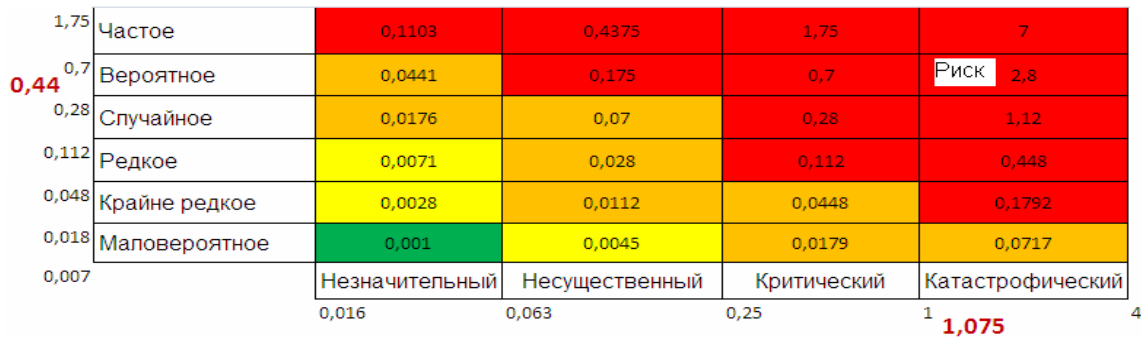


Рисунок 1 – Матрица рисков задержки поездов вследствие разрегулировки контактной подвески

Поскольку полученный риск  $R_{\text{уч}} = 0,473$  больше допустимого  $R_{\text{доп}} = 0,1$ , то риск является недопустимым, необходимы корректирующие мероприятия по исключению риска.

3 Оценка физического износа и остаточного ресурса. Целью проведения оценки физического износа и остаточного ресурса оборудования является получение данных для анализа и планирования объема и структуры текущих расходов на проведение технического обслуживания и ремонтов, а также для обоснования капитальных вложений в обновление технических средств. В качестве примера в таблице 1 представлен остаточный ресурс элементов тяговой подстанции. По результатам оценки принято решение произвести текущий ремонт устройств согласно графику планово-предупредительного ремонта.

Таблица 1 – Остаточный ресурс элементов тяговой подстанции

Элемент	Весовой коэффициент	Количество элементов, шт.		
		до 5 лет	от 5 до 10 лет	более 10 лет
Силовой трансформатор	1	0	0	2
Ввод силового трансформатора	0,2	0	0	6
Выключатель переменного тока	0,4	0	0	24
Выключатель быстродействующий автоматический	0,4	0	0	12
Разъединитель переменного тока	0,3	0	0	36
Разъединитель постоянного тока	0,3	0	0	26
Аккумуляторная батарея	0,1	0	0	1
Остаточный ресурс, $Q_z$		0	0	36

Исследования показывают возможности применения методологии управления ресурсами, рисками и надежностью на этапах жизненного цикла на объектах электроснабжения. Методология УР-РАН не имеет аналогов в России и превосходит системы, используемые на железных дорогах зарубежных стран.

#### Список литературы

- 1 **Гаранин, М. А.** Анализ основных проблем в области энергообеспечения, возникающих при организации скоростного и высокоскоростного движения на железных дорогах России, и пути их решения / М. А. Гаранин, С. А. Блинкова // Вестник транспорта Поволжья. – 2018. – № 4 (70). – С. 14–19.
- 2 **Гаранин, М. А.** Повышение точности расчета энергообеспечения перевозочного процесса / М. А. Гаранин, С. А. Блинкова // Вестник транспорта Поволжья. – 2012. – № 6 (36). – С. 36–40.
3. Методика расчета показателей надежности и безопасности контактной сети : утв. старшим вице-президентом ОАО «РЖД» 23.07.2012. – 61 с.

## ОСНОВНЫЕ ПОДХОДЫ К ВЫБОРУ НОРМ ВРЕМЕНИ ОТДЕЛЬНЫХ ВИДОВ РАБОТ ДЛЯ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ТРУДА НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ВАГОННОГО ХОЗЯЙСТВА

*В. Г. ГИЗАТУЛЛИНА, В. Ф. РАЗОН, Н. В. ЗДАНОВСКАЯ*  
*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Производительность труда на предприятиях железнодорожного транспорта является основополагающим фактором, который определяет эффективность его работы, себестоимость и тарифы перевозочного процесса и, как следствие, стоимость продукции, которую получают и оплачивают конечные потребители.

Расходы вагонного хозяйства, направленные на поддержание подвижного состава в технически исправном состоянии, являются одной из составляющих затрат железной дороги. Поэтому уровень производительности труда на предприятиях вагонного хозяйства непосредственно влияет на результаты хозяйственной деятельности Белорусской железной дороги и ее конкурентные преимущества по сравнению с другими видами транспорта.

К предприятиям вагонного хозяйства Белорусской железной дороги относятся 12 вагонных депо и 2 промывочно-пропарочные станции. Так как на этих предприятиях выполняется большое количество разнообразных работ, то производительность труда на них рассчитывается с использованием условно-натурального показателя:

$$\Pi = \frac{\sum_{i=1}^n H_i \cdot O_i}{H_6 \cdot Ч},$$

где  $n$  – количество разновидностей выполняемых работ;  $H_i$  – трудоемкость (норма времени) работы  $i$ -го вида;  $O_i$  – объем работ  $i$ -го вида;  $H_6$  – базовая трудоемкость;  $Ч$  – среднесписочная численность работников предприятия.

В качестве базовой трудоемкости для вагонных депо принимается трудоемкость деповского ремонта 4-осного цельнометаллического полувагона с нормальным объемом работ, а для промывочно-пропарочных станций – подготовка 4-осной цистерны из-под темных нефтепродуктов под налив светлых.

Основной сложностью при использовании условно-натуральных показателей является достоверная оценка затрат труда для выполнения различных видов работ на предприятиях вагонного хозяйства. В значительной степени это касается оценки работы вагонных депо. На Белорусской железной дороге существует Центр разработки нормативов для организации и нормирования труда и Служба организации труда и заработной платы, которые занимаются вопросами нормирования труда. Однако документы, которые готовят эти службы, не всегда подходят для оценки трудовых затрат на выполняемые в депо работы, так как разрабатываемые ими нормы являются очень детализированными, имеют разные значения в зависимости от используемого оборудования, предполагают различные варианты осуществления ремонтных работ. Для оценки производительности труда в вагонных депо такая детализация является излишней, поскольку делает учет и сопоставление результатов работы в разных депо очень громоздким. Разработкой норм времени занимаются также и сами вагонные депо, что позволяет учитывать особенности организации и трудоемкости выполняемых работ.

С учетом особенностей работы предприятий вагонного хозяйства были выделены основные виды работ, объемы по которым могут быть определены по отчетным документам депо. Их перечень показан в таблице 1.

В зависимости от особенностей оценки трудоемкости работ, выполняемых в депо, используемые нормы времени для оценки производительности труда, по способу формирования можно разделить на несколько групп, которые указаны в таблице 2.

Таблица 1 – Перечень видов работ, рекомендуемых для использования при расчете производительности труда на предприятиях вагонного хозяйства

Номер	Вид работ
1	Деповской ремонт по типам грузовых вагонов
2	Капитальный ремонт по типам грузовых вагонов
3	Дополнительные работы при плановых видах ремонта грузовых вагонов
4	Техническое обслуживание грузовых вагонов и контейнеров на ПТО
5	Техническое обслуживание пассажирских вагонов на ПТО
6	Текущий отцепочный ремонт грузовых вагонов и контейнеров
7	Текущий отцепочный ремонт пассажирских вагонов
8	Подготовка грузовых вагонов к перевозке
9	Оборудование и разоборудование грузовых вагонов для специальных перевозок
10	Перестановка вагонов на железнодорожную колею другой ширины
11	Ремонт колесных пар
12	Подготовка цистерн под налив
13	Прочие виды работ

Таблица 2 – Способы формирования норм времени для оценки производительности труда на предприятиях вагонного хозяйства

Номер вида работ из таблицы 1	Способ расчета нормы времени
1	Суммированием типовых норм по отдельным элементам вагонов
4, 5, 6, 7, 8, 12	На основе средних значений типовых норм
3, 9, 10, 13	По данным вагонных депо
2	С использованием метода «По аналогии»
11	С учетом наибольшего перечня выполняемых работ

Суммирование типовых норм выполняется по следующим элементам и работам при деповском ремонте вагонов: ремонт кузова и ходовых частей (слесарные, электросварочные, газорезочные и малярные работы); ремонт тормозного оборудования; ремонт автосцепного оборудования; магнитопорошковый контроль автосцепного устройства, тормозной рычажной передачи, литых боковых рам, балки надрессорной и шкворня тележек грузовых вагонов; ремонт вагонных рессор и пружин; ремонт буксовых узлов; обточка колесных пар по профилю катания; ультразвуковой и магнитный контроль колесных пар.

Расчет по средним значениям типовых норм используется в том случае, когда в отчетных данных депо не указывается конкретный тип вагона. Норма времени рассчитывается путем суммирования значений типовых норм для разных типов вагонов и делением полученной суммы на количество типов вагонов. Для промывочно-пропарочных станций норма времени определяется как среднее значение норм ППС Барбаров и Новополоцк.

Расчет по данным вагонных депо осуществляется в том случае, когда отсутствуют типовые нормы времени. Это касается в основном работ для устранения специфических дефектов некоторых типов вагонов, вызванных условиями эксплуатации и конструктивными особенностями этих вагонов.

Метод «по аналогии» применяется в том случае, когда отсутствует норма времени на выполнение ремонта вагона рассматриваемого типа ( $H_{вр}$ ), но имеется норма времени на ремонт аналогичного вагона, схожего по конструкции ( $H_{ва}$ ). К этой норме добавляется значение, характеризующее увеличение трудоемкости ремонта ( $\Delta H_{ув}$ ) и вычитается значение, характеризующее уменьшение трудоемкости ремонта ( $\Delta H_{ум}$ ):  $H_{вв} = H_{ва} + \Delta H_{ув} - \Delta H_{ум}$ .

С учетом наибольшего перечня выполняемых работ норма времени рассчитывается в случае большого количества разнообразных вариантов организации ремонта. Это в основном касается вариантов текущего, среднего и капитального ремонтов колесных пар вагонов.

#### Список литературы

1 Гизатуллина, В. Г. Анализ трудоемкости ремонта грузовых вагонов в депо белорусской железной дороги / В. Г. Гизатуллина, В. Ф. Разон, А. Н. Кальницкий // 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 98–100.

## РАСЧЕТ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ТРУДА НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ВАГОННОГО ХОЗЯЙСТВА

*В. Г. ГИЗАТУЛЛИНА, В. Ф. РАЗОН, Н. В. ЗДАНОВСКАЯ*  
*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

К предприятиям вагонного хозяйства Белорусской железной дороги относятся 12 вагонных депо (ВЧД): Барановичское, Брестское, Витебское Волковысское, Гомельское, Жлобинское, Минское, Могилевское, Молодеченское, Оршанское, Осиповичское, Полоцкое, а также 2 промывочно-пропарочные станции (ППС): Барбаров и Новополоцк. Из этого количества 7 вагонных депо выполняют все виды технического обслуживания грузовых и пассажирских вагонов, подготовку грузовых вагонов к перевозкам, текущий отцепочный ремонт грузовых и пассажирских вагонов и плановые виды ремонта грузовых вагонов различных типов собственности Белорусской железной дороги и других собственников, а 5 вагонных депо (Брестское, Волковысское, Гомельское, Оршанское, Осиповичское) являются эксплуатационными и плановые виды ремонта вагонов собственности Белорусской железной дороги не выполняют. Дополнительно Брестское и Волковысское вагонное депо выполняют работы по перестановке вагонов с колеи 1520 мм на колею 1435 мм и обратно при следовании поездов в межгосударственном сообщении в направлении восток – запад.

Эффективность использования новых технологий и методов организации производственных процессов определяется многими показателями, среди которых центральное место занимают показатели использования трудовых ресурсов и, прежде всего, производительности труда. Этот показатель используется как для сравнения результатов деятельности разных предприятий, занимающихся схожими видами деятельности, так и для сравнения результатов работы одного и того же предприятия в разные периоды времени.

Сложность здесь состоит в том, что предприятия вагонного хозяйства, не выпускают готовую продукцию, которую можно оценить в стоимостном выражении. Кроме того, эти предприятия осуществляют различные виды деятельности, не сопоставимые по затратам труда, поэтому натуральные показатели применить для сравнения их деятельности тоже затруднительно.

В связи с этим для оценки эффективности работы этих предприятий используют условно-натуральные показатели. Для вагонных депо таким интегральным условно-натуральным показателем является объем работы в приведенных вагонах. Для расчета приведенного объема должны быть установлены коэффициенты приведения для каждого вида выполняемых работ, при этом за единицу принимается трудоемкость деповского ремонта 4-осного цельнометаллического полувагона с нормальным объемом работ ( $H_{врб}$ ), равная = 87,518 чел·ч, а для промывочно-пропарочных станций – подготовка 4-осной цистерны из-под темных нефтепродуктов под налив светлых, средняя трудоемкость которой (по данным ППС Барбаров и Новополоцк)  $H_{врбц} = 1,776$  чел·ч. Указанные значения принимают в качестве базовых для приведения всех выполняемых работ к их объему в условно-натуральных показателях.

Коэффициент приведения для каждого вида работ, выполняемых на предприятии, рассчитывается следующим образом:

– для вагонных депо

$$K_{при} = H_{ври} / H_{врб},$$

где  $H_{ври}$  – трудоемкость (норма времени)  $i$ -й работы по ремонту вагонов в депо;

– для промывочно-пропарочных станций

$$K_{приц} = H_{врци} / H_{врбц},$$

где  $H_{врци}$  – трудоемкость (норма времени)  $i$ -й работы по подготовке цистерн под налив.

Коэффициенты приведения рассчитывают для всех видов работ, которые часто повторяются и входят в план работы предприятия.

Объем работы вагонного депо в приведенных вагонах ( $O_{пр}$ ) определяется суммированием произведений объема работы каждого вида ( $O_i$ ) на соответствующий коэффициент приведения ( $K_{при}$ ) по всем видам работ, выполняемых депо ( $n$ ):

$$O_{\text{пр}} = \sum_{i=1}^n K_{\text{пр}i} \cdot O_i.$$

Для редко выполняемых в депо и разовых работ, а также работ с нестабильной, изменяющейся трудоемкостью, расчет объема в приведенных вагонах целесообразно производить на основании общей трудоемкости всего объема, выраженного в человеко-часах:

$$O_{\text{пр}} = \frac{\sum_{i=1}^n H_{\text{вр}i} \cdot O_i}{H_{\text{врб}}}.$$

Для вагонных депо производительность труда в приведенных вагонах определяется путем деления общего выполненного объема работы за рассматриваемый период, полученного суммированием объемов работ, рассчитанных с использованием коэффициентов приведения и рассчитанных на основе трудоемкости в человеко-часах ( $O_{\text{пр}}$ ), на среднесписочную численность работников предприятия ( $Ч_c$ ):

$$П_r = O_{\text{пр}} / Ч_c.$$

Указанная выше формула для расчета объема выполняемой работы, выраженного в человеко-часах, может быть использована для расчета производительности труда не только по депо в целом, но и в его отдельных производственных подразделениях – производственных участках и отделениях, в которых есть возможность количественного учета объемов работы. При этом необходимо учитывать среднесписочную численность работников только в этих производственных подразделениях.

Для тех видов работ, для которых рассчитаны коэффициенты приведения, объем работы промывочно-пропарочных станций в приведенных цистернах ( $O_{\text{прц}}$ ) рассчитывается суммированием произведений объема работы каждого вида ( $O_{\text{ц}i}$ ) на соответствующий коэффициент приведения ( $K_{\text{прц}i}$ ) по всем видам работ, выполняемых ППС ( $n$ ):

$$O_{\text{прц}} = \sum_{i=1}^n K_{\text{прц}i} \cdot O_{\text{ц}i}.$$

Расчет объема работ в приведенных цистернах ( $O_{\text{прц}}$ ) на ППС для работ: выполняемых только в одной ППС; по которым не были рассчитаны коэффициенты приведения; на которых используется разная технология выполнения, а соответственно, имеющие разную трудоемкость ( $H_{\text{врц}i}$ ), например, сбор эмульсии нефтяной и битума нефтяного, целесообразно производить на основании общей трудоемкости всего объема выполняемых работ, выраженного в человеко-часах:

$$O_{\text{прц}} = \frac{\sum_{i=1}^n H_{\text{врц}i} \cdot O_{\text{ц}i}}{H_{\text{врбц}}}.$$

Для промывочно-пропарочных станций производительность труда в приведенных цистернах определяется путем деления общего выполненного объема работы за рассматриваемый период, полученного суммированием объемов работ, рассчитанных с использованием коэффициентов приведения и на основе трудоемкости в человеко-часах ( $O_{\text{прц}}$ ), на среднесписочную численность работников предприятия ( $Ч_c$ ):

$$П_{\text{ц}} = O_{\text{прц}} / Ч_c.$$

При необходимости сравнения производительности труда между вагонными депо и ППС можно использовать коэффициент пересчета  $K_{\text{п}} = 1,776 / 87,518 = 0,0203$ , который позволяет перейти на ППС к учету производительности труда не в расчете на приведенную цистерну, а в расчете на приведенный вагон. Для этого необходимо значение производительности труда в приведенных цистернах умножить на коэффициент пересчета.

#### Список литературы

1 Гизатуллина, В. Г. Разработка методики для расчета показателей и коэффициентов производительности труда на предприятиях вагонного хозяйства / В. Г. Гизатуллина, В. Ф. Разон, О. В. Воробей // 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 97–98.

## О ПРИЧИНАХ НИЗКОЧАСТОТНЫХ КОЛЕБАНИЙ РАМЫ ТЕПЛОВОЗА НА ХОЛОСТОМ ХОДУ СИЛОВОЙ УСТАНОВКИ

*В. В. ГРАЧЕВ, А. В. ГРИЩЕНКО, Ф. Ю. БАЗИЛЕВСКИЙ, М. Н. ПАНЧЕНКО*  
*Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I,*  
*Российская Федерация*

*В. В. ФУРМАН*  
*ООО «ППП Дизельавтоматика», г. Саратов, Российская Федерация*

Как известно, доля бюджета времени тепловоза, приходящаяся на холостой ход (ХХ) силовой установки, может достигать 80 %, в связи с чем обеспечение комфортных условий работы локомотивной бригады именно в этом режиме имеет особое значение.

Одним из результатов применения систем электронного управления впрыском (ЭСУВТ) на тепловозных дизелях, наряду с повышением их экономичности, является улучшение условий труда локомотивной бригады за счет уменьшения шума, которое достигается снижением частоты вращения холостого хода дизеля на 20 % (с 300 до 240 об/мин для дизелей типа ПД1М, ПД4Д тепловозов ТЭМ2, ТЭМ18 в/и). Однако опыт модернизации тепловозов серии ТЭМ2 в условиях промышленных предприятий показывает, что очень часто локомотивные бригады блокируют переход на пониженную частоту вращения по причине резкого увеличения амплитуды низкочастотных колебаний (вибрации) рамы тепловоза и кабины машиниста в этом режиме.

Перевод тепловозных дизелей на работу по газодизельному циклу рассматривается в настоящее время в качестве одного из наиболее перспективных направлений улучшения экономических и экологических характеристик автономного подвижного состава. Одной из проблем организации газодизельного цикла в цилиндрах большого объема при качественном регулировании топливоподдачи является жесткое ограничение верхнего предела коэффициента избытка воздуха по газовому топливу на уровне 1,6–1,7, что вынуждает в режимах ХХ либо ограничивать подачу воздуха в цилиндры дизеля дросселированием его на входе во впускной коллектор или каналы впускных клапанов, либо отключать цилиндры дизеля, причем в значительно большем количестве, чем при работе по дизельному циклу.

Как показывают результаты испытаний дизеля типа ПД1М тепловоза ТЭМ2, модернизированного для работы по газодизельному циклу, именно второй способ является наиболее эффективным, поскольку дросселирование приводит к кратному увеличению насосных потерь и ухудшению условий воспламенения смеси. Вместе с тем из этих же результатов следует, что отключение большого количества цилиндров (четырёх из шести) дизеля в режиме ХХ сопровождается резким увеличением амплитуды низкочастотных колебаний дизель-генераторной установки и рамы тепловоза, что вынуждает отказаться от использования газодизельного цикла в режиме ХХ и малых нагрузок.

Таким образом, увеличение амплитуды низкочастотных колебаний дизель-генераторной установки тепловоза в режиме ХХ при работе с пониженной частотой вращения и отключением части цилиндров является реальной проблемой, ограничивающей возможность использования современных технических решений для улучшения технических и экологических характеристик как новых тепловозов, так и тепловозов прежних лет выпуска.

Известно, что единственной возможной причиной динамического воздействия на опоры дизеля является его внутренняя неуравновешенность. Поскольку рядный четырехтактный шестицилиндровый дизель естественно уравновешен по силам и моментам сил инерции вращающихся и поступательно движущихся масс обоих порядков, единственным возможным источником неуравновешенности в данном случае является суммарный момент нормальных сил  $M_{N\Sigma}$ , действующий со стороны поршней на втулки цилиндров и далее через остов дизеля на поддизельную раму.

Величина его равна индикаторному моменту  $M_i$ , который, в свою очередь, численно равен сумме механических потерь в дизеле  $M_{\text{мех}}$ , эффективного момента на валу дизеля  $M_e$  и момента силы инерции, действующего на коленчатый вал при изменении угловой скорости  $\omega_d$ :

$$M_{N\Sigma} = M_i = J \frac{d\omega_d}{dt} + M_{\text{мех}} + M_e. \quad (1)$$

Оборудование, приводимое дизелем, может размещаться как на поддизельной раме, так и вне ее. При работе дизеля в каждый момент времени справедливо равенство

$$M_e = M_H = M'_H + M''_H, \quad (2)$$

где  $M_H$   $M'_H$  – суммарный момент нагрузки, действующий на коленчатый вал,  $M'_H$  – момент нагрузки от оборудования, размещенного на поддизельной раме,  $M''_H$  – момент нагрузки от оборудования, размещенного вне ее.

Со стороны силовых агрегатов, приводимых от дизеля, на их опоры действует реактивный момент, численно равный  $M_H$ . Суммарный момент  $M_{\text{ПДР}}$ , действующий на поддизельную раму

$$M_{\text{ПДР}} = M_{N\Sigma} - M_H = J \frac{d\omega_d}{dt} + M_{\text{мех}} + M''_H. \quad (3)$$

Таким образом, при работе дизеля на поддизельную раму и всё находящееся на ней оборудование непрерывно действует периодически изменяющийся возмущающий момент, амплитуда которого определяется как конструкцией дизеля, так и моментом нагрузки оборудования, расположенного вне остова дизеля и поддизельной рамы.

При равномерной работе всех цилиндров максимум спектральной плотности момента  $M_{\text{ПДР}}$  приходится на частоту срабатывания цилиндров, равную  $\frac{2\omega_d z}{\tau}$ , где  $z$  – количество цилиндров;  $\tau$  – тактность. Для шестицилиндрового четырехтактного дизеля при  $\omega_d = 5 \text{ с}^{-1}$  (300 об/мин) эта частота составит 15 Гц, при  $\omega_d = 4 \text{ с}^{-1}$  (240 об/мин) 12 Гц. При отключении цилиндров или нарушении равномерности их работы резко возрастает амплитуда гармоники, соответствующей цикловой частоте, равной  $\frac{2\omega_d z}{\tau}$  (соответственно, 2,5 и 2 Гц).

Дизель-генератор с жесткой поддизельной рамой на упругих опорах с учетом ряда допущений может рассматриваться как колебательная система с одной степенью свободы. Как показывают расчеты, резонансная частота этой системы составляет 2–2,15 Гц.

Таким образом, при равномерной работе цилиндров в режиме ХХ дизеля ПД1М максимум спектральной плотности энергии возмущающего момента  $M_{\text{ПДР}}$  приходится на частоту 12–15 Гц, в разы превосходящую резонансную частоту колебаний дизель-генераторной установки на упругих опорах. При отключении цилиндров или нарушении равномерности их работы возрастает амплитуда гармоники цикловой частоты 2–2,5 Гц, близкой к резонансной, что и приводит к резкому увеличению амплитуды колебаний дизель-генератора и рамы тепловоза.

На тепловозах серий ТЭМ2, ТЭМ18 в/и дополнительным фактором, способствующим увеличению амплитуды резонансных колебаний дизель-генераторной установки, является размещение всего механически приводимого вспомогательного оборудования (вентиляторы шахты холодильника и охлаждения тяговых электродвигателей, тормозной компрессор, двухмашинный агрегат) вне дизельной рамы. Следствием такой компоновки, как следует из выражения (3), является максимальное значение амплитуды изменения момента нагрузки  $M''_H$  и возмущающего момента  $M_{\text{ПДР}}$ .

С целью обеспечения работоспособности силовой установки тепловоза в режиме ХХ при отключении цилиндров и снижении частоты вращения коленчатого вала предлагаются следующие меры:

- для уменьшения амплитуды возмущающего момента  $M_{\text{ПДР}}$  на стадии проектирования тепловоза необходимо максимально использовать электрический привод вспомогательного оборудования;
- при отключении цилиндров дизеля необходимо выбирать оптимальное сочетание оставляемых в работе цилиндров, обеспечивающее смещение максимума спектральной плотности энергии в область гармоники оборотной частоты  $\omega_d$ ;
- ввести в техническую и ремонтную документацию тепловозных дизель-генераторов, дизели которых оборудованы системой ЭСУВТ любого типа, требование обязательного выравнивания мощностей цилиндров в режимах ХХ и малых нагрузок.



## МОДЕЛЬ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ В ИЗОЛЯЦИИ ТЭД ТЕПЛОВЗОВ

*А. В. ГРИЩЕНКО, М. А. ШРАЙБЕР*

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

В процессе работы тяговые электрические машины тепловозов подвергаются комплексу механических, электрических и тепловых нагрузок в зависимости от условий движения, что вызывает ускоренное старение электрической изоляции.

Среди всех вышеупомянутых нагрузок термомеханическое напряжение считается одним из наиболее критичных для тяговых электрических машин, поскольку их конструкция всегда проектируется с учетом предела тепловых возможностей. Установлено, что старение изоляции тяговых электрических машин тепловозов, подверженных воздействию внешних факторов, вызвано циклическим тепловым расширением материалов, из которых изготовлена электрическая машина. Термомеханическое напряжение с точки зрения изменения температуры очень динамично, включает в себя различные уровни средней температуры и спектр температурных циклов.

Ускоренное старение изоляции происходит не только из-за ускоренного термического окисления полимеров, но и из-за разных коэффициентов теплового расширения и различного распределения температуры между пропиточным составом, изоляционным материалом, медью обмотки и сталью сердечника. Это способствует появлению дополнительных термомеханических напряжений в элементах обмотки и изоляции. Если термомеханическое напряжение достигает предела текучести или предельного напряжения растяжения изоляции, происходит разрушение материала.

Термомеханическое напряжение из-за разницы между коэффициентами теплового расширения и сроком службы широко изучается во многих областях и приложениях. Например, в [1] обсуждается влияние термомеханических напряжений на IGBT-транзистор с изолированным затвором. Все эти исследования являются ценными исходными данными для оценки термического механического напряжения и вызванного им срока службы. Одна из причин заключается в том, что термомеханические нагрузки менее сильны, когда электрические машины работают с постоянной нагрузкой для промышленного использования, чем циклические нагрузки, которым подвержены тяговые электродвигатели тепловозов.

Точные значения допустимых температур нагрева обмоток и стали для тяговых электродвигателей тепловозов при продолжительной их работе с номинальной нагрузкой устанавливаются по результатам эксплуатационных испытаний. Показано, что для поездного тепловоза в зависимости от класса изоляции температура обмоток 6–9 раз за сутки изменяется от уровня окружающей среды до 120–160 °С.

В одной тяговой электрической машине чаще всего используется более одного изоляционного материала, а комбинация изоляционных материалов составляет систему электрической изоляции. Эти комбинации различаются в зависимости от требований к электрической, термической и механической прочности изоляции.

Изоляция электрических машин – это композитный материал, состоящий из нескольких составляющих, которые сохраняют свои индивидуальные свойства, в отличие от материалов с однородной смесью, таких как сплавы. Они неоднородны (обычно двухфазные) и содержат один непрерывный материал (чаще всего стеклоткань), который пропитан наполнителем. Наполнители бывают разных видов: пропиточные лаки или компаунды для повышения электрической и механической прочности, а также защиты обмоток тяговой электрической машины тепловоза от воздействия окружающей среды, например, влаги и пыли. В результате мы получаем новые свойства изоляционного материала, отличные от свойств его составляющих. Например, армированный бетон – композитный материал, в котором изначально низкая прочность бетона на растяжение улучшается за счет включения арматуры, выдерживающей основную тяжесть приложенных растягивающих усилий благодаря своей высокой жесткости.

В процессе нагревания тяговой электрической машины происходит естественный процесс объемного расширения меди обмотки, стали сердечника и изоляционного материала. С учетом различных коэффициентов объемного расширения указанных материалов со стороны сердечника на изоляцию действует сила  $F_c$ , а со стороны меди – сила  $F_m$ . Так как изоляционный материал является наименее слабым звеном между сердечником и проводником, тепловая деформация стали сердечника  $\delta_{lc}$  и меди обмотки  $\delta_{tm}$  происходит за счет уменьшения объема, занимаемого изоляционным материалом. В изоляционном материале возникают дополнительные термомеханические напряжения.

Термомеханические напряжения и, связанное с ними старение материалов исследуются во многих отраслях производства, в том числе на железнодорожном транспорте. Ранее считалось, что лак, используемый для пропитки изоляции, имеет сходный коэффициент теплового расширения с материалом проводников [2]. Однако с развитием технологии материалов, которая обеспечивает электрической машине высокую удельную мощность и улучшенные характеристики теплопередачи, проблема термомеханического напряжения, вызванного тепловым расширением, требует подробного исследования разработчиками тяговых электрических машин.

Изменение температуры объекта соответствует изменению его размеров. Если температура объекта равномерно распределена, материал будет подвергаться равномерной тепловой деформации  $\delta_t$ , которая может быть выражена уравнением:

$$\delta_t = \alpha_v \Delta T, \quad (1)$$

где  $\alpha_v$  – коэффициент объемного расширения,  $1/^\circ\text{C}$ ;  $\Delta T$  – разница температуры,  $^\circ\text{C}$ .

Если соединить материалы с разными коэффициентами объемного расширения (например, медный проводник, покрытый пропитанной лаком изоляцией), то возникнет термомеханическое напряжение, даже если все материалы нагреваются равномерно.

В многослойных изоляционных материалах характер повреждения заметно различается в зависимости от локального состояния напряжения относительно ориентации каждого из слоев изоляции [3]. В многослойных изоляционных материалах повреждение инициируется в нескольких местах одновременно по всему периметру, либо внутри слоя изоляционного материала, либо на границе раздела «волокно – металл». С каждым новым циклом прохождения эти участки повреждения расширяются и в конечном итоге сливаются во внутрислойные трещины, которые распространяются исключительно вдоль направления волокон изоляционного материала. Трещины в слое изоляции обычно проходят по всей ширине проводника (особенно в хрупких терморезистивных пропиточных композитах) и охватывают всю толщину слоя, так как их рост вне плоскости задерживается ориентацией поверхности материала в соседних слоях [4].

В зависимости от состояния напряжения в каждом слое количество трещин в изоляционном материале может различаться. Повреждение может проявляться в виде одной доминирующей трещины в одном слое, множественных трещин в одном слое или множественных трещин в нескольких слоях. Когда трещины заканчиваются на краю слоя, дальнейшее нагружение может вызвать расслоение трещины – крупномасштабный механизм критического повреждения, который включает разделение соседних слоев.

Когда слой растрескивается, местные напряжения в области вокруг трещины уменьшаются, и нагрузки передаются на соседние слои. По мере того, как слои растрескиваются, трещины начинают взаимодействовать, создавая области, которые могут выдерживать только самые минимальные нагрузки.

С одной стороны, наличие трещины в изоляционном материале кажется не критичным, но ее заполнение атмосферной влагой или продуктами износа ТЭД приводит к критическому отказу материала.

#### Список литературы

- 1 Increasing the cooling efficiency of power semiconductor devices / A. V. Grishchenko [et al.] // Russian Electrical Engineering. – 2016. – Vol. 87, no. 5. – P. 266–269. – <https://doi.org/10.3103/S1068371216050084>.
- 2 A method of using neural fuzzy models to determine the technical state of a diesel locomotive's electrical equipment / A. V. Agunov [et al.] // Russian Electrical Engineering. – 2017. – Vol. 88. – P. 634–638. – <https://doi.org/10.3103/S1068371217100029>.
- 3 Size effects in a shape memory alloy rod caused by inhomogeneity of temperature and stress fields studied through solving of a 1d connected thermal and mechanical problem // A. E. Volkov [et al.] // 8<sup>th</sup> Conference on Smart Structures and Materials, SMART 2017 and 6<sup>th</sup> International Conference on Smart Materials and Nanotechnology in Engineering. – 2017. – P. 1582–1589. – DOI: 10.1007/s40830-019-00226-5.
- 4 **Chen, W.** Thermal stress in bonded joints / W. Chen, C. Nelson // IBM Journal of Research and Development. – 1979. – Vol. 23, no. 2. – P. 179–188. – <https://doi.org/10.1016/j.ijlsolstr.2013.09.002>.

## ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ПРОЧНОСТИ ПУТЕОЧИСТИТЕЛЯ

*Р. В. ГУЧИНСКИЙ*

*ООО «ТМХ Инжиниринг»; Институт проблем машиноведения РАН,  
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация*

Оценка прочности при соударении и определение коэффициентов запаса сопротивления усталости при ходовых испытаниях являются основными этапами прочностных сертификационных испытаниях экипажной части. Ключевым прочностным испытанием является испытание на соударение, при котором не задействуется путеочиститель. Путеочистителем оборудуются локомотивы, головные вагоны моторвагонного подвижного состава и специальный подвижной состав. Путеочиститель отличается по назначению и специфике деформирования от остальных конструкций кузова. Не подвергаясь переменным нагрузкам и находясь фактически в недеформируемом состоянии в течение всей эксплуатации подвижного состава, он вступает в работу в экстренных единичных случаях столкновения с препятствием. При этом локальные пластические деформации не приводят к потере несущей способности конструкции, что позволяет продолжить эксплуатацию после столкновения. После снятия нагрузки в областях пластических деформаций будут присутствовать остаточные напряжения, которые при дальнейших ударах той же интенсивности не приведут к увеличению общих напряжений из-за локального упрочнения материала.

Путеочиститель при столкновении в эксплуатации может испытывать значительные нагрузки, поэтому нормативными документами предусматривается расчетная оценка его прочности. Регламентируются два режима нагружения путеочистителя: продольной центральной и продольной боковой нагрузкой, значения которых зависят от конструкционной скорости подвижного состава. Допускаемые расчетные напряжения при статическом приложении нагрузок для конструкции путеочистителя составляют 85 % предела прочности. Для малоуглеродистых сталей, используемых в конструкции путеочистителя (например, сталь 09Г2С или 09Г2Д), это значение обычно превышает предел текучести, поэтому необходимо учитывать упругопластические свойства стали. Высокие значения допускаемых напряжений материала путеочистителя связаны с повышенными значениями предела текучести и предела прочности при увеличении скорости нагружения.

В существующих нормативных документах содержится неопределённость учета поведения материала при расчете путеочистителя. При использовании рекомендуемых значений допускаемых напряжений и предположении о линейном поведении материала прочность недооценивается, проектирование в этом случае приводит к избыточной массе конструкции. Цель настоящей работы состоит в оценке неопределенностей, возникающих при расчете прочности путеочистителя, а также в разработке способов их разрешения.

В работе рассматривались три модели поведения материала: истинная диаграмма деформирования, ее билинейная аппроксимация и диаграмма Прандтля, характеризующаяся отсутствием упрочнения после достижения предела текучести. Для оценки прочности использовалась одна из проектных конструкций путеочистителя электропоезда ЭП2Тв при приложении центральной продольной нагрузки различной интенсивности.

При нагрузке 300 кН (для конструкционных скоростей не менее 160 км/ч) эквивалентные напряжения в наиболее нагруженной области отличаются в 3,2 раза при линейном и нелинейном поведении материала с истинной диаграммой деформирования (рисунок 1). Таким образом, условие прочности для упругопластического поведения материала оказывается выполненным, при этом эквивалентные упругопластические деформации достигают 2,1 %. Влияние пластичности начинает проявляться при нагрузке около 72 кН. Между тем, если рассматривать линейное поведение материала, допускаемая нагрузка составит около 95 кН.

Для значений нагрузки выше 120 кН отличия в напряжениях при использовании различных аппроксимаций диаграммы деформирования не превышают 5 %. Это позволяет адекватно учи-

тивать упругопластическое поведение материала в инженерных расчетах с использованием билинейной диаграммы.

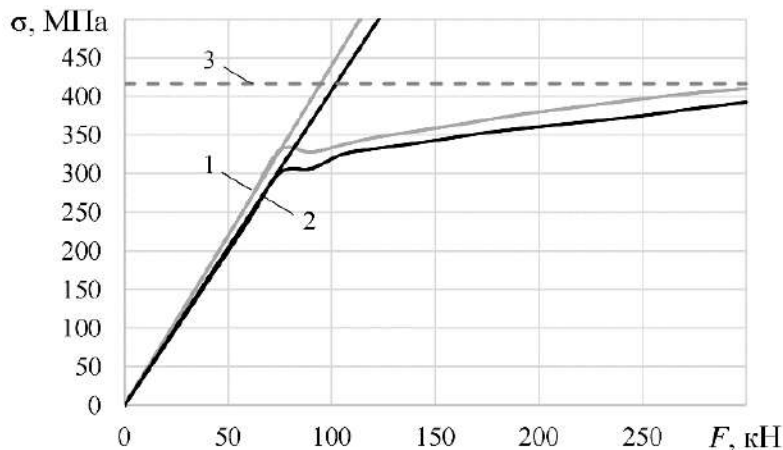


Рисунок 1 – Эквивалентные напряжения в зависимости от продольной нагрузки при линейном и нелинейном поведении материала с истинной диаграммой деформирования в отверстии скобы (1) и соединении кронштейна с отвалом (2) и допускаемые напряжения (3)

С увеличением внешней нагрузки в случае линейного поведения материала напряжения и деформации увеличиваются с равной скоростью. В этом случае контроль уровня напряжений эквивалентен контролю деформаций, который осуществляется при тензометрии. При развитии пластических деформаций степень изменения деформаций существенно превышает скорость изменения напряжений. Например, при возрастании нагрузки со 150 до 300 кН напряжения увеличиваются на 14 %, а деформации – в 4,3 раза. Поэтому при неупругих деформациях целесообразно контролировать состояние материала с использованием деформационного критерия. Такой критерий может устанавливать допускаемый уровень деформаций, например, по отношению к предельному равномерному относительному удлинению, после достижения которого поведение материала становится нестабильным. Для обеспечения консервативности расчета возможно использование диаграмм деформирования с заниженным параметром упрочнения и коэффициента запаса по деформациям около 10. Например, для истинной диаграммы уровень допускаемой деформации может быть принят около 1 %. Таким образом, для данного материала допускаемая нагрузка на путеочиститель составит 195 кН, уровень напряжений при этом составит 1,1 предела текучести или 0,77 предела прочности. Для билинейной аппроксимации допускаемая нагрузка в этом случае составляет 180 кН, для диаграммы Прандтля – 159 кН, что в 1,7–2 раза превышает допускаемую нагрузку для линейно-упругого материала.

Альтернативным подходом может быть оценка прочности по допускаемым напряжениям с использованием билинейной аппроксимации диаграммы с повышенным наклоном участка упрочнения. Наклон должен выбираться таким образом, чтобы участок упрочнения находился на графике выше участков истинных диаграмм для используемых в конструкции путеочистителя сталей. В этом случае напряжения будут переоцениваться, однако не так значительно, как в предположении линейного поведения материала, а деформации – недооцениваться.

При использовании допускаемых напряжений для оценки прочности необходимо конкретизировать в существующих нормативных документах способ учета упругопластических деформаций.

Выбор расчетной схемы для оценки прочности конструкций путеочистителя влияет на результаты расчета напряжений. При рассмотрении схемы с абсолютно жесткими креплениями кронштейнов путеочистителя (без учета податливости конструкции кузова) недооценка напряжений в отдельных элементах достигает 10 %, а переоценка – 40 % для рассмотренной конструкции. Поэтому при оценке прочности путеочистителя съемной конструкции необходимо учитывать в расчетной схеме податливость его креплений.

## РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ И ПЛАНИРОВКИ ЩЕБЕНОЧНОГО БАЛЛАСТА

*В. А. ДОВГЯЛО, В. Л. МОИСЕЕНКО, Д. С. ПУПАЧЁВ, К. В. МАКСИМЧИК  
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Одними из основных работ, которые направлены на поддержание оптимального эксплуатационного состояния магистралей и осуществляются на железных дорогах, имеющих балластное основание, являются балластировочные.

В рамках их проведения выполняются операции по формированию и отделке балластной призмы с приданием ей требуемого поперечного очертания, направление балластного материала в зону под шпалами путевой решетки, а также его перераспределение в шпальные ящики, т. е. промежутки между двумя соседними шпалами, в откосно-плечевые и междупутные зоны. При необходимости осуществляется уборка и перераспределение излишков балластного материала для обеспечения равномерной толщины уложенного щебня [1]. При этом правильная планировка и распределение балласта обеспечивают равноупругость и равнопрочность подшпального основания, а также сток воды с пути.

Для механизации отмеченных работ в путевом хозяйстве железнодорожных предприятий СНГ нашел применение такой класс машин, как планировщики-распределители балласта. К примеру, можно выделить ряд таких машин, как ПБ-01 и РПБ-01 (РФ), СПЗ-5 (Украина) и SSP-110SW (Австрия) [2]. Последняя, в частности, является скоростным планировщиком балласта и хорошо зарекомендовала себя на Белорусской железной дороге. Отмеченная техника представляет собой высокопроизводительные самоходные экипажи с размещенными на них рабочими органами в виде плугов, устройств подметания, а в ряде конструкций – транспортирования, аккумулялирования и хранения избыточного щебня с последующим подсыпанием его в необходимых местах (рисунок 1).



Рисунок 1 – Планировщики и планировщики-распределители балласта:  
а – ПБ-01; б – РПБ-01; в – СПЗ-5; г – SSP-110SW

Однако данные машины имеют возможность работать только на железнодорожной колее 1520 мм. В то же время на Белорусской магистрали в западных приграничных областях республики активно эксплуатируются пути с колеей 1435 мм, которые также необходимо обслуживать для поддержания их в надлежащем состоянии. Но ввиду того, что их протяженности невелика в сравнении с общей протяженностью всех железнодорожных путей страны (составляет для Брестского и Барановичского отделений чуть больше отделения 60 и 20 км соответственно, при путевом хозяйстве РУП «Белорусская железная дорога» в более чем 5,5 тыс. км), то покупка достаточно специализированной самоходной техники под т. н. «европейскую» колею экономически нецелесообразна [3].

Выходом из этой ситуации является разработка и применение прицепных или адаптерных устройств, позволяющих как осуществлять выполнение возложенных на них операций, так и повысить функциональность уже имеющегося в парках путевого хозяйства специального самоходного подвижного состава.

В рамках собственной инициативы работниками структурного подразделения «Путевая машинная станция Брест» РУП «Ремпуть Белорусской железной дороги» и в последующем совместно со специалистами кафедры «Транспортно-технологические машины и оборудование» УО «БелГУТ» был разработан и реализован комплект устройств для перераспределения и планировки щебеночно-го балласта на путях с шириной колеи 1435 и 1520 мм на скреплениях типа КБ и СБ.

В общем случае устройство (рисунок 2) представляет собой рамную конструкцию, опирающуюся на головки рельсов железнодорожного пути опорными роликами, и передвигается посредством перетаскивания стальными канатами за проушины любым специальным самоходным подвижным составом или хозяйственным поездом. Перераспределение и планировка балласта производится крыльями и отвалами при поступательном движении устройства вперед.

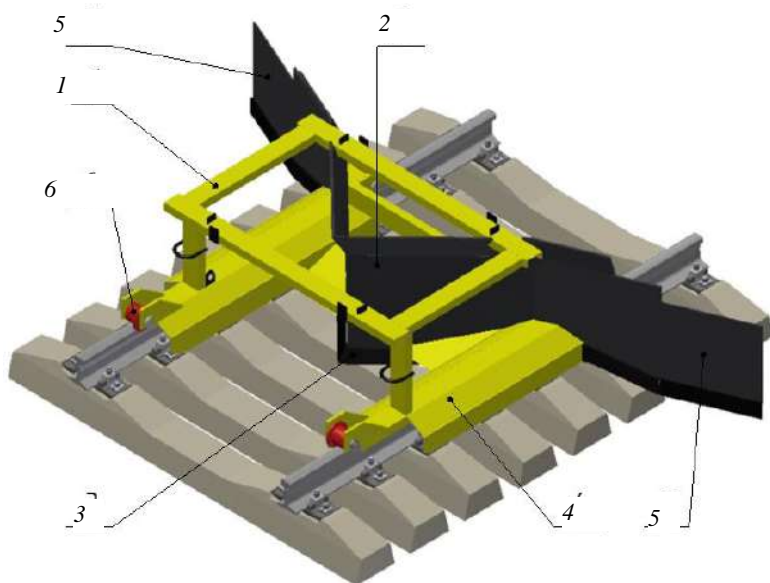


Рисунок 2 – Конструкция устройства для перераспределения и планировки щебеночного балласта:  
1 – рама; 2 – отвал; 3 – ножи; 4 – защитный тоннель; 5 – съемное крыло; 6 – ролик

Рама 1 сварного типа, состоящая из металлических профилей переменного сечения. Для обеспечения жесткости конструкции непосредственно в раму вваривается отвал 2 (его центральные и боковые листы), тем самым образуя единый пространственный каркас устройства, предотвращающий скручивание и деформацию элементов устройства при работе.

На отвале 2 при помощи сварки монтируются ножи 3 специальной формы, обеспечивающие вырезание, перемещение и перераспределение балласта от центра железнодорожного пути к его краям. При этом для обеспечения защиты промежуточных скреплений и рельсов от попадания на них балласта при его перераспределении на представленном устройстве предусмотрены защитные тоннели 4.

Рабочее оборудование устройства обеспечивает планировку плеча балластной призмы как в прямых, так и кривых с любым возвышением наружного рельса. Крылья 5 – съемные. Монтаж и их фиксация на устройстве осуществляются посредством болтовых соединений.

Опорные ролики обеспечивают снижение нагрузки при продвижении устройства по рельсам при работе и в то же время выступают направляющими, предотвращающими боковое смещение данной конструкции во время работы.

Для обеспечения устойчивости устройства при работе оно прижимается к пути балластным грузом (один противовес крана укладочного крана), размещаемым на верхней части рамы конструк-

ции. В процессе движения применяются продольные и поперечные ограничители от перемещения груза по раме.

Перемещение устройства производится за счет тяговых проушин, на которых фиксируются тросы от самоходного подвижного состава. Для выполнения погрузочно-разгрузочных работ с устройством предусмотрены транспортировочные проушины. Улучшению возможностей транспортировки также способствуют и съемные крылья 5 (см. рисунок 1).

Технические характеристики разработанного устройства представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Техническая характеристика устройства для перераспределения и планировки балласта

Показатель	Значение
Рабочая колея, мм (в зависимости от модификации)	1520 / 1435
Тип скрепления (в зависимости от модификации)	КБ / СБ-3
Тип рельсов (в зависимости от модификации)	P50 / P65
Механизм передвижения	При помощи ССПС или хозяйственного поезда
Скорость движения рабочая, не более, км/ч	5
Минимальный радиус проходимых кривых, м	200
Применяемый балластный груз	Противовес крана
Масса балластного груза, кг	1000
Масса устройства без груза, не более, кг (в зависимости от модификации)	695–750

#### Список литературы

- 1 Путьевые машины : учеб. / М. В. Попович [и др.] ; под ред. М. В. Поповича, В. М. Бугаенко. – М. : Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2009. – 820 с.
- 2 Егоров, А. С. Механизация путевых работ : учеб. пособие / А. С. Егоров. – М. : Маршрут, 2006. – 90 с.
- 3 Кулаков, И. А. Логистическое развитие железнодорожных станций Республики Беларусь / И. А. Кулаков, Л. О. Кулакова // Логистический аудит транспорта и цепей поставок : IV междунар. науч. практ. конф. (Тюмень, 28 апреля 2021 г.). – Тюмень : ТИУ, 2021. – Т. 2. – С. 88–95.

УДК.629.335.3

## ОСНОВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

Т. Ю. ДОЛГУШИНА

*Оренбургский техникум железнодорожного транспорта – структурное подразделение Оренбургского института путей сообщения – филиала Самарского государственного университета путей сообщения, Российская Федерация*

Транспортная инфраструктура играет одну из первостепенных ролей в укреплении и поддержке общегосударственной экономики. Вследствие формирования железнодорожного транспорта, осуществляющего транспортировки крупногабаритных и многотоннажных грузов, гарантируется полноценная работа всех сфер общенародного хозяйства, обеспечение регионов, промышленных предприятий.

Железнодорожный транспорт имеет большую значимость для предоставления экономической безопасности и единства страны. Отечественные железные дороги на сегодня – это всеохватывающая транспортная концепция с многотысячным пассажиропотоком и грузооборотом. Подлинные показатели технологического оборудования удостоверяют о настоящих перспективах выработки железнодорожного транспорта в России. Подвижной состав и отечественное железнодорожное хозяйство разрешают реализовывать грузовые транспортировки на поездах весом 10–12 тыс. т.

Железнодорожная транспортная линия занимает лидирующее место среди всех видов транспорта. Несмотря на то, что за прошедшие десятилетия интенсивно развивались автотранспортное и

авиасообщение, ОАО «РЖД» остается главным организатором многочисленного передвижения грузов и пассажиров как внутри страны, так и за ее пределами.

Исходная точка истории формирования железнодорожного транспорта в России – середина XVI века. Аналоги современных рельсовых путей возникали на территории каменных и песочных карьеров, на рудниковых раскопках и угольных шахтах. Позже дорога выглядела как тягучие лежни, сделанные из древесных брусьев. По подобным маршрутам лошади могли транспортировать тяжелые грузы. Брусья быстро изнашивались, из-за чего повозки зачастую сходили с пути. Чтобы бревенчатые лежни служили дольше, их начали усиливать железом, а в XVIII веке – чугунными листами. Так, в Петрозаводске в 1778 году имелаась рельсовая дорога из чугуна, протяженность которой составляла 160 м.

Для периода формирования железнодорожного транспорта в России в начале 19 столетия свойственен более быстрый темп. Спустя 30 лет после постройки первой 160-метровой чугунной колеи возникла двухкилометровая конно-чугунная дорога. Прыжок в истории создания железнодорожного транспорта в России случился во второй половине XIX – начале XX века. Так, в 1913 году километраж длины сети железных рельсовых дорог в нынешних границах страны насчитывал приблизительно 72 тысячи километров. При этом располагались пути беспорядочно и неравномерно. Подавляющая часть дорог располагалась в европейской части России. Локомотивный парк вмещал паровозы небольшой мощности (500–600 л).

На протяжении десятилетий на отечественных железных дорогах зафиксировано падение производства и снижение признаков производительности труда. Используемый подвижной состав не только мешает росту грузооборота, но также способствует увеличению численности аварийных ситуаций на колеях. Безотложная переделка и капитальная реставрация необходимы для значительного числа вокзалов и железнодорожных станций. Сейчас на железных дорогах нашего государства эксплуатируются поезда, вагоны, локомотивы и спецтехника, сделанные в СССР, Германии и Чехословакии.

Вопрос выпуска новой техники принадлежит коммерческим фирмам «Трансмашхолдинг», «Синара», «ИСТ» и государственному предприятию «Уралвагонзавод». За прошедшие десять лет подвижной состав на самых востребованных маршрутах Москва – Санкт-Петербург и Санкт-Петербург – Хельсинки «обогатился» высокоскоростными поездами немецкой фирмы Siemens и французского производителя Alstom.

Рост железнодорожного транспорта в России обусловлен принципом повышения ресурсно-сырьевого потенциала отрасли и внедрения инновационных технологий.

В 2008 году правительством была утверждена теория по совершенствованию железнодорожной инфраструктуры. Политика формирования железнодорожного транспорта в России включает в себя представление комплекса запланированных мероприятий по созданию и усовершенствованию рельсовых дорог, улучшению действующих и принятию новых запросов для подвижного состава.

Известно, что с 2025 года ОАО «РЖД» рассчитывает отказаться от закупок дизельных локомотивов. Холдинг постепенно намерен эксплуатировать локомотивы, работающие с использованием аккумуляторных батарей и локомотивы с газопоршневыми и газодизельными двигателями, а если говорить о моторвагонном подвижном составе – с водородными топливными элементами. В чем же достоинство газа? В доступности его стоимости. Известно, что сжать газ от его газообразного состояния сегодня возможно в 600 раз. Но существует проблема хранения, ведь необходимо поддерживать сверхнизкие температуры.

9 сентября 2022 года в Оренбуржье презентовали первый в России тепловоз, который работает на сжиженном природном газе. В Минстрое региона сообщили, что это первый маневровый тепловоз с двумя газопоршневыми двигателями. Суммарная мощность локомотива – 1120 л. с. Тепловоз создан по инициативе Газпрома в единственном в России экземпляре. Создатели машины отмечают, что такая техника значительно снижает количество попадающих в атмосферу вредных веществ.

По программе ОАО «РЖД» до 2025 года намечается крупномасштабная электрификация оставшихся направлений.

В отношении аккумуляторных и гибридных локомотивов ведутся разработки двумя ведущими локомотивостроителями. Также известно, что АО «Трансмашхолдинг», РЖД и «Роснано» приступили к проектировке электровоза с аккумуляторной тягой. В 2019 году на выставке ЭКСПО-15420



был представлен тепловоз ТЭМ5Х. АО «Синара – Транспортные машины» тоже ведет активную работу в этом направлении.

Главная проблема использования аккумуляторных батарей – их нестабильность и дороговизна. Но с каждым годом наблюдается тенденция к снижению стоимости накопителей. Это позволяет предположить, что у такого вида локомотивов огромное будущее.

Новые виды тягового подвижного состава актуальны не только для ОАО «РЖД», но и для предприятий, работающих на путях необщего пользования. В ближайшее время на сети всех железных дорог нашего государства будут воплощены новые идеи – двухэтажные электропоезда, что позволит решить вопрос для больших агломераций.

«Синара» и РЖД разрабатывают первый в России двухэтажный поезд, способный разогнаться до 400 км/ч, который должен быть изготовлен и сертифицирован к 2028 году.

Экономические затруднения, ставшие следствием пандемии, не помешали проектам ОАО «РЖД» по модернизации подвижного пассажирского состава и расширению сети высокоскоростного сообщения. На маршруты ОАО «РЖД» на протяжении всего 2020 года поступали новые вагоны дальнего следования, а инновационные поезда «Ласточка» связали ряд крупнейших городов страны. Совместно с этим продолжили реконструкцию старых вокзалов и постройку новых, установили рекорд по объему грузоперевозок.

Таким образом, в век всепоглощающих интеграционных процессов железнодорожная инфраструктура приобрела статус механизма. Кроме того, железнодорожную сферу можно рассматривать в качестве стратегического объекта воздействия в мире. Также развитие сферы железнодорожного транспорта является неотъемлемым сегментом современной экономики развитых государств.

#### Список литературы

1 Переход на гибридные локомотивы с аккумуляторной батареей – дело не самого ближайшего будущего [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.rzd-partner.ru/zhd-transport/opinions/perekhod-na-gibridnye-lokomotivy-s-akkumulyatornoy-batareey-delo-ne-samogo-blizhayshego-budushchego/>. – Дата доступа : 17.08.2022.

УДК 621.315

## ПРОБЛЕМА ГОЛОЛЕДООБРАЗОВАНИЯ НА ПРОВОДАХ КОНТАКТНОЙ СЕТИ И ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

*Д. В. ДОРОЩУК*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Безопасность движения электрического подвижного состава и эксплуатационная надежность тягового электроснабжения определяется во многом состоянием контактной сети, сооружаемой без резервирования. Нарушения в ее работе в значительной степени связаны с различными внешними факторами. Одним из основных факторов ухудшения работы контактной сети является гололед и ветровое воздействие на провода, что в совокупности ухудшает токосъем. Наличие гололеда обуславливает дополнительные механические нагрузки на все элементы контактных сетей и линий электропередачи (ЛЭП). В результате значительного увеличения массы проводов и воздействующих на них динамических и статических нагрузок происходят опасные и нежелательные явления, особенно при сильном ветре. К их числу относятся обрыв токопроводящих проводов и грозозащитных тросов под тяжестью снега и льда, недопустимо критическое сближение проводов и их сильное раскачивание, ухудшение защитных свойств изоляторов, разрушение опор. На железнодорожном электрифицированном транспорте обледенение контактных проводов приводит к искрению, ухудшению рабочей поверхности полозов токоприемников, происходят пережоги и обрывы контактных проводов, нарушается транспортное сообщение.

Борьба с гололедом осуществляется в большинстве случаев путем отбивки проводов от мокрого снега и льда. Установка опор через небольшие интервалы и даже примитивная борьба с гололедом требуют больших затрат труда и материальных ресурсов. При значительных гололедных отложениях возможны обрывы проводов, тросов, разрушения арматуры, изоляторов и даже опор воздушных линий. Гололед может откладываться по фазным проводам достаточно неравномерно. Стрелы про-

веса проводов с гололедом и без гололеда могут отличаться на несколько метров. Неравномерность отложения льда на фазных проводах, приводящая к различным значениям стрел провеса, а также неодновременный сброс гололеда при его таянии, вызывающий «подскок» отдельных проводов, могут привести к перекрытию воздушной изоляции. Гололед является одной из причин «пляски» проводов, способной привести к их схлестыванию.

Механические способы, используемые чаще всего, заключаются в применении специальных приспособлений, обеспечивающих сбивание льда с проводов. Самый простой способ механического удаления гололеда – сбивание, которое производится при помощи длинных шестов с земли или с корзины автовышки, но они требуют доступа к ЛЭП, что нарушает нормальную работу участка. К тому же механическое воздействие не препятствует обледенению, а устраняет его. Обивка гололедных отложений может осуществляться с земли или вышек и площадок, установленных на механизмах или транспортных средствах. Этот метод требует много времени, большого количества рабочих и применяется только на коротких участках линий, когда плавка электрическим током экономически нецелесообразна или технически невыполнима. Известен способ перемещения по проводам воздушных ЛЭП средств для удаления льда – роликов-ледорезов, основанный на использовании наземного транспортного средства – трактора, связанного с роликами-ледорезами посредством штанги. Недостатком такого способа является низкая производительность и возможность повреждения и деформации проводов в процессе удаления отложений льда, что приводит к обрывам сети и сопровождается ускоренным износом проводов.

Кроме использования традиционных механических методов борьбы с гололедом в настоящее время активно разрабатываются различные механические и робототехнические системы для определения появления льда и его удаления с проводов ЛЭП. Например, в научно-исследовательском институте Канады создан мобильный робот LineScout, который может перемещаться по работающим ЛЭП и давать информацию о состоянии линий. Специалисты управляют роботом дистанционно, находясь на земле, могут обнаружить повреждение, удалить лед с проводов и выполнить простой ремонт. Такой формат работы позволяет получить значительную экономию, так как для осмотра не нужно обесточивать ЛЭП, а также позволяет снижать риски, повышать безаварийность работы и безопасность работы людей. При большой протяженности линий необходимо большое количество таких роботов с обслуживающим персоналом, что может быть экономически невыгодным. К тому же механическое воздействие не препятствует обледенению, а устраняет его.

Электротермические способы удаления льда заключаются в нагреве проводов электрическим током, обеспечивающим предотвращение образования льда, то есть профилактический подогрев или его плавку. Профилактический подогрев проводов заключается в искусственном повышении тока сети ЛЭП до величины, при которой провода нагреваются до температуры выше  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . При такой температуре гололед на проводах не откладывается. Профилактический подогрев необходимо начинать до образования гололеда на проводах при климатических условиях, когда его образование становится возможным. При профилактическом подогреве следует, как правило, применять такие схемы питания, которые не требуют отключения потребителей. Плавка гололеда на проводах осуществляется при уже образовавшемся гололеде путем искусственного повышения тока сети ЛЭП до такой величины, при которой выделяемой в проводах теплоты достаточно для расплавления гололеда с нормативной толщиной стенки при нормативных значениях температуры окружающей среды и скорости ветра. Ледяную корку на высоковольтных линиях ликвидируют, нагревая провода постоянным или переменным током частотой 50 Гц до температуры  $100\text{--}130\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Для целей плавки гололеда используются выпрямительные блоки, однако недостатками такого электротермического способа являются его энергозатратность и большая длительность (до 1,5 ч). В настоящее время плавка током – наиболее распространенный способ борьбы с гололедом на проводах воздушных высоковольтных ЛЭП. Существует достаточно большое количество схем плавки гололеда, определяемых схемой электрической сети, нагрузкой потребителей, возможностью отключения линий и другими факторами. Плавка льда переменным током применяется только на линиях с напряжением ниже 220 кВ с проводами сечением меньше, чем  $240\text{ мм}^2$ . Преимуществом данного способа является снижение энерго- и трудозатрат, а к его недостаткам можно отнести необходимость постоянного прогрева проводов для предотвращения гололедообразования; высокая стоимость источников высокочастотного тока необходимой мощности; создание радиопомех в УКВ диапазоне, так как используются радиопередатчики с диапазоном частот 87,5–108 МГц.

В последние годы для борьбы с обледенением стали активно применять физико-химические методы, заключающиеся в нанесении на провода растворов специальных веществ, которые замерзают при температурах, значительно более низких, чем вода. Последняя группа методов предполагает получение покрытий с низкой адгезией к водным средам, снегу и льду. Одним из наиболее перспективных методов снижения адгезии является создание супергидрофобных покрытий, которые помешают проводам обледенеть, а если такое всё же произойдет, ото льда будет несложно избавиться.

На железнодорожном электротранспорте для борьбы с обледенением контактного провода на него могут наносить специальную смазку. Недостатками такого процесса является значительная трудоемкость, при этом приходится закрывать движение поездов. Смазывание необходимо наносить загодя, оно недолговечно, легко снимается с провода полозьями токоприемников. Для удаления льда с провода контактной сети применяются различные устройства, которые, как правило, низкопроизводительны и могут повредить и деформировать провод в процессе удаления льда, что приведет к ускоренному износу и может привести к прекращению движения поездов. Такие же недостатки свойственны барабанам с пневмотурбинами для удаления льда с контактного провода. Недостатком электрических способов удаления льда является то, что во время плавки льда движение поездов прекращается и возможен отжиг провода с последующим его обрывом, особенно при протекании токов короткого замыкания.

Электромеханические способы удаления льда с проводов ЛЭП образуют класс новых способов и устройств борьбы с гололедом на ЛЭП. Удаление гололеда предлагается производить не с помощью термического воздействия от протекающего по проводам тока, а с помощью электромеханического воздействия на лед. По проводам линии пропускают импульсы тока определенной частоты и формы. При протекании тока по проводам возникает сила Ампера, под действием которой происходят механические колебания, которые предупреждают образование обледенения и разрушают корку льда.

Борьба с обледенением проводов линий электропередач и контактных сетей остается одной из главных проблем для многих стран. Каждый из применяемых в настоящее время способов борьбы с гололедом обладает определенными недостатками, поэтому разработка эффективных, экономичных, безопасных устройств и методов, направленных на недопущение обледенений, снижение разрывов и удаление гололедных отложений, остается актуальной задачей.

УДК 621.311.183

## **ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ДОСТОВЕРНОСТИ УЧЕТА ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ**

*И. С. ЕВДАСЕВ, В. А. ШАПОВАЛОВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Согласно Концепции развития электрогенерирующих мощностей и электрических сетей в Республике Беларусь на период до 2030 года одним из ключевых направлений развития распределительных электрических сетей напряжением 0,4–10(6) кВ является их автоматизация, при которой выделяют ряд основных задач [1]:

- расширение функций мониторинга и диагностики текущего состояния применяемого электрооборудования с возможностью принятия превентивных мер по предотвращению аварийных ситуаций;
- оптимизация режима работы электрической сети за счет наличия в ней дистанционно управляемых элементов на основе расчетов с использованием динамической модели электрической сети и полученной телеметрической информации с объектов автоматизации;
- снижение технологического расхода электроэнергии в распределительных сетях.

Задача снижения технологического расхода электроэнергии в распределительных сетях не так тривиальна. Процессы транспорта электроэнергии в электросетях сопровождаются в каждый момент времени ее расходом на технологические нужды и так называемыми коммерческими потерями. Последние обусловлены как объективными физическими факторами, например, погрешностью системы учета электроэнергии, так и непосредственно действиями человека (несанкционированный

отбор, система контроля потребления по оплате и т. д.). Без адекватного разделения этих составляющих в электробалансе электрических сетей эффективно решать указанные выше задачи в процессе автоматизации будет невозможно.

Несмотря на значительные шаги в развитии систем учета потребления электроэнергии, которое обеспечило и кратное повышение классов точности средств учета, и применение цифровых технологий, мы находимся еще в самом начале пути, что отмечается специалистами и развивающихся, и экономически развитых стран [2, 3].

Стратегический путь совершенствования системы учета электроэнергии – подключение к автоматизированным системам контроля и учета электроэнергии (АСКУЭ) интеллектуальных функций управления электропотреблением, повышение надежности сети за счет создания активного потребителя и интеграции систем интеллектуального учета [3].

Система интеллектуального учета электроэнергии не может быть построена только на традиционном способе составления энергобаланса опытным путем по показаниям приборов учета [4]. Основным недостатком такого способа является низкая достоверность составляющих электробаланса из-за неучёта значительного количества факторов: например, на погрешность измерительных систем влияет величина нагрузки, коэффициент мощности, параметры внешней среды, отклонения показателей качества электроэнергии от нормы. Большинство этих факторов также оказывает непосредственное влияние на первичные параметры линий электропередачи, трансформаторы и другие элементы электросети. При этом авторами установлено, что для отдельных элементов или групп элементов электросети погрешность учёта может превышать значение технологического расхода электроэнергии в несколько раз.

Переход в дальнейшем процессе автоматизации как самих электросетей, так и АСКУЭ, от опытных к опытно-расчетным способам составления электробалансов основе цифровых двойников позволит повысить достоверность базовой информации для принятия управляющих решений по оптимизации режимов работы и повышение энергоэффективности транспорта электроэнергии.

Согласно ГОСТ Р 57700.37–2021 цифровой двойник объекта – это система, состоящая из цифровой модели объекта и двусторонних информационных связей с объектом и (или) его составными частями. Цифровой двойник какого-либо элемента электрической сети, который корректируется в соответствии с реальными измерениями, позволит анализировать изменение элемента в течение времени и выявлять необходимость его обслуживания, ремонта или замены с точки зрения энергоэффективности [5].

При широком применении цифровых технологий упрощение моделей по критерию объема математических вычислений во многих приложениях теряет смысл, так как эти объемы не критичны для вычислительных мощностей даже одного персонального компьютера. Поэтому размещение с распределенными параметрами, которая позволит избежать значительной погрешности при режимах низких нагрузок [6].

Исходными данными для модели ЛЭП в цифровом двойнике служат показания приборов учета, фиксирующих поступление и отпуск электроэнергии, первичные параметры ЛЭП, а также параметры окружающей среды (температура окружающего воздуха, скорость ветра, количество солнечной радиации).

Электробаланс составляется в два этапа. На первом производится сравнение значений технологического расхода электроэнергии, полученных инструментальным и расчетным способами, и накопление  $n$  числа значений небалансов. Далее производится сравнение первичной нагрузки с минимально допустимой нагрузкой измерительного комплекса. При несоответствии выдается уведомление о недостаточной точности измерения и алгоритм переходит к обработке следующих измерений. При соответствии определяется значение технологического расхода электроэнергии путём разности показаний счетчиков в начале и конце линии электропередачи.

Полученные по модели цифрового двойника и опытным способами значения технологического расхода электроэнергии сравниваются, и определяется небаланс электроэнергии. Значение небаланса записывается в базу данных, после чего алгоритм переходит к следующей итерации.

На втором этапе происходит анализ массива небалансов: производится определение закона распределения и моментов случайной величины. Полученное значение используется для выявления систематической составляющей небаланса и определения путей ее устранения, в том числе за счет корректировки первичных параметров ЛЭП при помощи добавок. Эти добавки должны быть обу-

словлены погрешностью измерительного комплекса, поэтому происходит их сравнение с допустимыми. Превышение может свидетельствовать о наличии несанкционированного отбора электроэнергии либо изменении технического состояния элементов ЛЭП. Далее производится анализ динамики изменения первичных параметров ЛЭП, в результате чего может быть выявлено предаварийное состояние её элементов.

Применение цифровых двойников электросетей в системах АСКУЭ нетяговых потребителей Белорусской железной дороги позволит не только повысить достоверность учета электроэнергии, но и решить ряд задач по мониторингу технического состояния ЛЭП и трансформаторных мощностей.

#### Список литературы

- 1 Концепция развития электрогенерирующих мощностей и электрических сетей на период до 2030 года / М-во энергетики Респ. Беларусь. – Минск, 2020. – 50 с.
- 2 **Оморов, Т. Т.** К проблеме математического моделирования трехфазной несимметричной распределительной сети / Т. Т. Оморов, Б. К. Такырбашев, Р. Ч. Осмонова // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2020. – Т. 22, № 1. – С. 93–102.
- 3 Advanced Metering Infrastructure Based on Smart Meters in Smart Grid / T. N. Le [et al.] // Smart Metering Technology and Services – Inspirations for Energy Utilities / ed. M. Eissa. – London : IntechOpen, 2016. – P. 37–61.
- 4 ГОСТ 27322–87. Энергобаланс промышленного предприятия. Общие положения. – Введ. РБ 1992-12-17. – Минск : БелГИСС, 2010. – 20 с.
- 5 ГОСТ Р 57700.37–2021. Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения. – Введ 2022-01-01. – М. : Российский институт стандартизации, 2021. – 15 с.
- 6 **Евдасев, И. С.** Методы определения потерь электроэнергии в сетях нетяговых потребителей железных дорог : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.07 / И. С. Евдасев. – Гомель : БелГУТ, 2008. – 136 с.

УДК 629.4.027.5

## ТЕХНОЛОГИЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ КОЛЕСНЫХ ПАР В ПРОИЗВОДСТВЕННОМ ЦИКЛЕ РЕМОНТА КАК ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

*А. В. ЖЕБАНОВ, С. В. КОРКИНА, А. Д. ПОТАПОВА*

*Самарский государственный университет путей сообщения, Российская Федерация*

Технология идентификации деталей и узлов подвижного состава в последнее время серьезно развивается в рамках различных проектов цифровизации и повышения надежности железнодорожного транспорта. Маркировка деталей вагонов при их ремонте и изготовлении играет важную роль в обеспечении и поддержании качества на должном уровне, а также надежности при эксплуатации подвижного состава. Введение идентификации колесных пар в производственный цикл ремонта грузовых вагонов позволит сократить трудоемкость работ и повысить степень защищенности вводимых параметров. Применение штрихкодирования позволяет совершенно точно идентифицировать сроки проведения различных операций при любых действиях с деталями и узлами вагонов во время их ремонта, причем осуществлять работу с большим объемом информации. В настоящее время сбор данных происходит при использовании баз данных, но при этом хранение информации реализуется и на бумажных носителях (формы-уведомления, журналы и т. д.). Использование метода нанесения цифровых меток способствует объединению всех вышеописанных информационных форм, т. е. при создании метки можно заложить весь объем данных существующий на конкретную деталь [1, 2].

Рассматривая производственную структуру сектора вагонного хозяйства, можно понять, что это большой кластер предприятий, обеспечивающих не только производство и ремонт вагонов, но и контроль процесса эксплуатации. Ввиду такой многозадачности встает вопрос обработки объемной информации и оперативного предоставления различных данных с целью обеспечения надежности всего перевозочного процесса. Цифровые метки имеют возможность для сосредоточения различной информации, обеспечивая при этом легкодоступность для ее считывания. Технология будет работать на протяжении всего срока эксплуатации детали и оказывать содействие при выявлении предотказного состояния во время работы узлов.

Как пример, в статьях [3–6] описано повышение эффективности работы участка ТОР с использованием штрихкодирования при помощи нанесенного QR-кода на элементы колесной пары.

Разберем ситуацию с организацией работы участка текущего отцепочного ремонта при смене колесной пары по браковке на пункте технического обслуживания. При использовании QR-кода ставится оперативно доступная информация со всеми геометрическими параметрами и принадлежностью к собственности на конкретную колесную пару, причем в той же зоне, где она находится. Во время замены колесной пары важно владеть данными для совместимости подкатываемой колесной пары с уже установленными под вагоном. Основные условия в этой технологической цепочке регламентированы в руководящих документах и дополнительных соглашениях на предоставление услуг ремонта вагонов. При считывании сотрудник, имеющий право подкатки колесной пары, анализирует данные QR-кода, подбирает колесную пару, подходящую по всем параметрам для подкатки под вагоны, производит ее замену. При этом ему не требуется пользоваться запросными системами (например, справка о сведениях по узам и деталям вагона, справка о коде браковки и т. д.) и дополнительно измерять геометрические параметры шаблонами с целью выявления необходимой колесной пары [7].

Еще одним положительным моментом при использовании цифровых меток деталей является уход от проблемы двойных номеров. Эти мероприятия снижают возможность эксплуатации контрафактной продукции, установленной на подвижном составе, и повышают его надежность. Особенно необходимо обращать внимание в этом аспекте на ответственные узлы вагонов [8].

На рисунке 1 изображен сценарий взаимодействия метки с системой на примере контроля доступа к информации детали на участке ТОР. В основе RFID-технологии лежит обмен данными без прямого контакта между меткой и ридером. Технология распознавания полностью осуществляется бесконтактно при нахождении цифровой метки в зоне контакта ридера. Ридер сканирует электромагнитные волны, которые передаются чипом, затем полученные данные отправляет на программное обеспечение. Программное обеспечение сохраняет обработанные данные в базе данных, тем самым отображая изменения.

В целом система символьных меток предназначена для идентификации и аутентификации символьных меток прямого нанесения, сформированных на узле вагона комбинированным методом, а именно интрузивным маркированием с помощью лазерной гравировки или иглоударным нанесением, а также неинтрузивным маркированием путем нанесения (заполнения) на поверхности созданных символов метки по меньшей мере одной люминесцентной пространственной структуры и одной спектральной характеристикой оптически активных наночастиц.



Рисунок 1 – Концепция взаимодействия метки с системой

Выбранная система обеспечивает быструю и надежную обработку данных, содержащихся в символьных метках прямого нанесения, при подтверждении соответствия нормативно-технической базы документов к конкретным узлам и деталям вагонов, при этом можно подтвердить права изготовителя на производство продукции. Также закладываются параметры к установленным требованиям разработчика мероприятий хранения, транспортирования, применения, технического обслуживания, ремонта и модернизации узлов; контроле отсутствия признаков фальсификации и утраты данных о реализации жизненного цикла узлов вагонов, о характеристиках узлов в маркировке изделия, в технической, коммерческой, сопроводительной документации на изделие, уста-

новленной к применению на этапах производства, поставки, хранения, импорта, технического обслуживания, ремонта, эксплуатации изделия. Схема взаимодействия метки и модуля считывания системы, пример объекта, помеченного несколькими типами люминесцентных частиц, внедренных в объект, может быть внедрена не только в элементы колесной пары, но и в элементы тележки грузового вагона.

Данные, содержащиеся в электронных метках, имеют возможность передачи наиболее полной информации по заданным параметрам всех составных узлов вагона. Основной трудностью при организации является объединение информации и переход с действующей смешанной технологии (база данных на сервере и данных в учетно-отчетных формах) полностью на цифровой формат хранения.

Особую роль такой подход предоставления материала на составные части вагона играет при обнаружении нелегитимной продукции и осуществлении разбора каких-либо случаев нарушения безопасности движения. В условиях расследования нарушения безопасности для вынесения корректного вывода виновности и истинного заключения произошедшей ситуации большое влияние имеет быстрота принятия решений, достоверность, полнота предоставленных данных по конкретному узлу или вагону в целом. Предложенная система цифровых меток делает возможным сосредоточение в одном месте больших данных на вагон и в дальнейшем создания модели «цифровой вагон».

#### Список литературы

- 1 Горный, С. Г. Применение лазерной маркировки в промышленности / С. Г. Горный, К. В. Юдин // Металлообработка. – 2003. – № 6 (18). – С. 21–23.
- 2 ГОСТ Р 57880–2017. Система защиты от фальсификаций и контрафакта. Электронные изделия. Предотвращение получения, методы обнаружения, сокращение рисков применения и решения по использованию фальсифицированной и контрафактной продукции. – Введ. 2018-07-01. – М. : Стандартинформ, 2017. – 40 с.
- 3 Коркина, С. В. К вопросу о процессе интеграции методов «Бережливого производства» на предприятиях вагонного комплекса / С. В. Коркина, А. В. Жебанов // Наука и образование транспорту. – 2020. – № 1. – С. 57–61.
- 4 Жебанов, А. В. Использование элементов «Бережливого производства» в организации работы участка текущего отцепочного ремонта грузовых вагонов / А. В. Жебанов // Наука и образование транспорту. – 2018. – № 1. – С. 24–26.
- 5 Коркина, С. В. Расширение функционала АРМ инженера в АСУ ТОР ЭК для повышения производительности работы участка ТОР / С. В. Коркина, А. В. Жебанов // Наука и образование транспорту. – 2021. – № 1. – С. 44–48.
- 6 Расширение функционала АРМ мастера в подсистеме АСУ станции – АСУ ТОР ЭК с целью повышения общей эффективности работы участка текущего отцепочного ремонта вагонов / С. В. Коркина [и др.] // Наука и образование транспорту. – 2020. – № 1. – С. 68–72.
- 7 Жебанов, А. В. Интеграция системы Кайдзен в технологический процесс текущего отцепочного ремонта грузовых вагонов / А. В. Жебанов, С. В. Коркина // Инновационные технологии на железнодорожном транспорте : тр. XXV Всероссийской науч.-практ. конф. КриЖТ ИрГУПС (Красноярск, 28–30 октября 2021 г.). В 2 т. / редкол. : В. А. Поморцев (отв. ред.) [и др.]. – Красноярск : КриЖТ ИрГУПС, 2021. – С. 29–32.
- 8 Методика нанесения защитной маркировки и учёта ответственных узлов и деталей грузовых вагонов. – М. : НП «ОПЖТ»; «Объединение вагоностроителей», 2014. – 13 с.

УДК 621.436-222:681.5

### ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЛЕКСА «МАГИСТРАЛЬ» ДЛЯ РЕГУЛИРОВКИ ЦИЛИНДРОВОЙ МОЩНОСТИ ДИЗЕЛЕЙ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ РЕОСТАТНЫХ ИСПЫТАНИЙ ТЕПЛОВЗОВ

С. В. ЖУРАВЕЛЬ

ООО «Техтранс-Д», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Под **регулировкой дизеля** понимают комплекс таких технологических мероприятий, которые обеспечивают номинальную мощность дизельного двигателя при его экономичности и надежности.

Все цилиндры дизеля должны развивать одинаковую мощность. Если цилиндры двигателя нагружены неравномерно, то при выходе дизеля на номинальную мощность часть цилиндров оказывается перегруженной.

Перегрузка отдельных цилиндров сопровождается увеличением тепловых напряжений и температуры, которые нередко вызывают появление трещин в стенках блока, крышках цилиндров, днышка поршней, загорание поршневых колец в канавках поршня, обгорание тарелок клапанов и сопловых наконечников распылителей форсунок, вибрацию дизеля. Перегрузка одних цилиндров и недогрузка других недопустима.

Обычно регулировка дизеля проводится с применением штатных измерительных приборов, входящих в комплект поставки дизеля: механического индикатора, максиметра и термомопар или термометров.

В зависимости от типа дизеля мощность в цилиндре измеряется или оценивается различными методами:

– **на малооборотных дизелях**, оборудованных индикаторными приводами, мощность в цилиндре измеряют по индикаторной диаграмме, получаемой при помощи механического индикатора;

– **остальных дизелях, оборудованных индикаторными кранами**, о равномерности нагрузки по цилиндрам судят по максимальному давлению цикла  $P_z$  и температуре выпускных газов при помощи максиметра и штатных термопар. Мощность цилиндра не измеряется, а оценивается при помощи косвенных параметров.

– **высокооборотных и малоразмерных дизелях без индикаторных кранов** – нет штатных приборов, позволяющих оценить нагрузку по цилиндрам.

Применение в качестве штатного или технологического средства контроля **переносного комплекса для регулировки цилиндровой мощности дизеля «Магистраль»** позволяет в любой момент индицировать дизель и измерять цилиндровую мощность в процессе проведения реостатных испытаний тепловозов. Нагрузка цилиндра зависит от давления конца сжатия, количества топлива, подаваемого топливным насосом за один цикл, угла опережения подачи топлива, качества распыливания топлива форсункой.

Каждая из этих характеристик находит свое отражение в форме и характерных точках индикаторной диаграммы. Анализ индикаторных диаграмм, отображаемых комплексом на экране монитора, позволяет оперативно определять отклонения рабочего процесса и воздействовать на органы регулировки для выравнивания мощности во всех цилиндрах дизеля.

**Комплекс обеспечивает:**

- контроль теплотехнических параметров дизеля;
- оценку качества и диагностику неисправностей рабочего процесса дизеля;
- регулировку цилиндровой мощности дизеля.

**Комплекс отображает на экране монитора:**

- развернутые индикаторные диаграммы цилиндров (до 16 одновременно);
- сохраненные в архиве данные по всем измерениям.

**В результате обработки полученных индикаторных диаграмм определяются:**

- максимальное давление сгорания  $P_z$ , МПа);
- индикаторное давление  $P_i$ , МПа;
- индикаторная мощность  $N_i$ , кВт );
- частота вращения коленчатого вала –  $n$  (об/мин).

Анализ индикаторной диаграммы позволяет определять:

- общее отклонение угла опережения подачи топлива;
- ухудшение качества газообмена двигателя в целом;
- уменьшение или увеличение угла опережения подачи топлива;
- плохую продувку цилиндра;
- увеличение утечки рабочего тела в цилиндре;
- отклонение цикловой подачи топлива;
- ухудшение качества распыла топлива.

Основную информацию комплекс получает от высокотемпературного датчика давления газа серии ДДГ, устанавливаемого на индикаторный кран дизеля или специально подготовленный канал, соединяющий датчик с камерой сгорания.

В состав комплекса может входить один переносной датчик давления газа или количество датчиков давления газа должно соответствовать числу цилиндров дизеля.

С одним переносным датчиком давления газа измерения проводят, последовательно устанавливая датчик на каждый цилиндр. Во время проведения измерений для получения объективных данных необходимо обеспечивать постоянную мощность дизеля. Если индицирование цилиндра занимает 1 минуту, то, например, 8-цилиндровый дизель будет проиндицирован за 8 минут. При этом в течение всего времени необходимо обеспечивать стабильность нагрузки.

Установка датчиков давления газа на все цилиндры дизеля одновременно (рисунок 1) является наиболее предпочтительной, так как дает объективную картину распределения мощности по цилиндрам **независимо от меняющейся нагрузки** и занимает всего несколько секунд. Также необходимо учесть, что при регулировке дизеля изменять настройки одного цилиндра для достижения оптимального варианта приходится последовательно несколько раз. При этом происходит не только



изменение мощности в регулируемом цилиндре, но и перераспределение нагрузки между цилиндрами. После каждой итерации (а их может быть и 10–20) требуется проведение индицирования, и время, потраченное на индицирование одним датчиком (8 минут для 8-цилиндрового дизеля, умноженные на 10–20 итераций) существенно отличается от нескольких секунд, умноженных на 10–20 итераций, при индицировании всех цилиндров одновременно.



Рисунок 1 – Датчики давления газа ДДГ, установленные на все цилиндры тепловозного дизеля Д49

При проведении регулировки для достижения оптимального варианта приходится последовательно изменять настройки каждого цилиндра несколько раз. Каждое изменение любой настройки регистрируется комплексом, что позволяет точно определять, какие характеристики и на какую величину необходимо менять в каждом цилиндре.

УДК 621.331

## **РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ**

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

Известно, что различные режимы работы электрического подвижного состава, такие как тяга и рекуперативное торможение влияют на параметры работы систем тягового электроснабжения: уровень напряжения в контактной сети при большой нагрузке плеч питания тяговых подстанций может значительно отличаться от номинального и влиять на скорость движения поездов и, как следствие, на пропускную способность; величина потерь электрической энергии в тяговой сети, зависит кроме всего прочего от величины токов в ее элементах и длины пути его протекания, при этом применение рекуперации хоть и дает положительный эффект в виде снижения расхода электрической энергии на тягу поездов, тем не менее увеличивает величину потерь энергии в контактной сети за счет протекания токов от рекуперирующего электрического подвижного состава к ее потребителям в границах тяговой сети или в системе внешнего энергоснабжения. Качество электрической энергии в точках общего присоединения тяговых подстанций к системам внешнего энергоснабжения, в частности коэффициент несимметрии токов и напряжений по обратной последовательности при определенной комбинации режимов тяги и рекуперации на плечах питания тяговой подстанции может выходить за предельно допустимые значения, что отрицательно сказывается на остальных потребителях. Поэтому разработка имитационных моделей совместной работы систем тягового электроснабжения и электрического транспорта по-прежнему актуальна, особенно в части применения в границах тяговой сети или на подвижном составе устройств, повышающих их надежность и энергоэффективность.

Одними из таких устройств являются накопители электрической энергии. В настоящее время существует много направлений по изучению их эффективности при установке как в системах тягового электроснабжения, так и на электрическом подвижном составе.

Место размещения накопителей электрической энергии будет влиять на переходные процессы (заряд – разряд), протекающие в электрических сетях [1]. Поэтому при помощи соответствующей имитационной модели станет возможным оценить, как повлияет установка накопителей на надеж-

ность работы систем тягового электроснабжения с учетом выбранных параметров и места размещения накопителей электрической энергии. Для этого необходимо знать, в том числе, специфику работы рельсового транспорта. Например, для метрополитена более рациональным является размещение накопителей электрической энергии непосредственно на тяговых подстанциях, т. к. разгон и торможение поезда осуществляют в основном около них, а по перегону состав движется на выбеге. На железнодорожном транспорте задача размещения накопителей электрической энергии несколько усложняется ввиду того, что из-за большой протяженности участков между подстанциями на режимы движения поездов серьезное влияние оказывает профиль пути, и поэтому более рациональным с точки зрения уровня напряжения в контактной сети может быть размещение накопителей электрической энергии возле участков с крутыми спусками или подъемами. В этом случае требуются дополнительные расчеты по анализу профиля пути и режимов работы электрического подвижного состава на рассматриваемом участке.

Для анализа надежности работы систем тягового электроснабжения с применением накопителей электрической энергии авторами ведется разработка программного обеспечения, позволяющего учитывать установку накопителей в границах тяговой сети, осуществлять выбор рационального места их размещения и оптимальных параметров для заданных режимов движения. В настоящее время разработана имитационная модель системы тягового электроснабжения на постоянном токе для метрополитена [2]. Она позволяет выполнять тяговые расчеты для заданных профилей пути и типов поездов, и по заданному графику производит расчет нагрузок системы тягового электроснабжения с определением токов фидеров питающих и отсасывающих линий, максимальных нагрузочных токов преобразователей, напряжения на шинах тяговых подстанций и на токоприемниках электрического подвижного состава и др.

Следующим этапом после оценки адекватности результатов расчетов, полученных при помощи разработанной модели, станет внедрение возможности установки накопителей электрической энергии в тяговой сети и оценка их эффективности в плане повышения надежности работы тяговых подстанций, а затем и одновременное выполнение тяговых и электрических расчетов для учета изменения напряжения на токоприемниках электрического подвижного состава [3] и, как следствие, повышения точности расчетов.

Авторами предложена полезная модель тяговой подстанции постоянного тока с накопителями электрической энергии [4], эффективность установки которых и планируется оценить в дальнейшем при разработке имитационной модели. Предполагается, что накопители электрической энергии, предварительно заряженные от тяговой сети, будут совместно с тяговыми подстанциями обеспечивать питание электрического подвижного состава, работающего в режимах тяги, тем самым снижая нагрузку на преобразователи тяговых подстанций и выравнивая ее во времени. В результате, зная параметры работы элементов системы электроснабжения, можно будет выбирать соответствующее оборудование, место установки и емкость накопителей электрической энергии, при которых будет обеспечиваться надежное электроснабжение тяговой нагрузки.

В основе имитационной модели работы системы тягового электроснабжения лежат матричные методы расчета электрических цепей, в частности используется модифицированный метод расчета узловых потенциалов матричным способом. Его особенность состоит в разделении матриц проводимостей, инцидентностей и др. на подматрицы, составление которых значительно проще алгоритмизировать и реализовать в программном коде. При этом становится возможным одновременный расчет большого числа тяговых подстанций и электрического подвижного состава на перегонах, что дает большую точность в определении нагрузок элементов системы тягового электроснабжения. Также этот метод позволит, при последующей установке накопителей электрической энергии в границах тяговой сети, относительно просто учесть их при составлении мгновенных схем системы тягового электроснабжения, то есть разрабатываемая модель хорошо масштабируется.

Таким образом, основными целями при разработке данной имитационной модели являются одновременный учет максимального количества влияющих факторов при оценке надежности работы систем тягового электроснабжения; оценка эффективности применения накопителей электрической энергии, а также подбор их параметров и выбор места установки; учет и оценка влияния изменения напряжения на токоприемниках электрического подвижного состава на результаты тяговых и электрических расчетов и, как следствие, на выбор устройств систем тягового электроснабжения; автоматизация расчетов и возможность расчета большого числа случай-

ных графиков движения поездов для определения максимальных рабочих токов и, как следствие, правильного выбора оборудования тяговых подстанций.

#### Список литературы

1 **Ананьева, О. С.** Методика расчета переходных процессов при совместной работе системы тягового электроснабжения метрополитена с накопителями электрической энергии / О. С. Ананьева, В. Н. Подольская // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – Гомель, 2017. – № 2 (35). – С. 17–21.

2 Имитационная модель совместной работы систем тягового электроснабжения и электрического подвижного состава / В. С. Могила [и др.] // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – Иркутск, 2017. – № 2 (54). – С. 191–196.

3 **Ананьева, О. С.** Модель совместной работы системы тягового электроснабжения и электрического подвижного состава с учетом изменения напряжения / О. С. Ананьева, В. А. Загорцев, В. Н. Подольская // Локомотивы. Электрический транспорт. XXI век : материалы VI Междунар. науч.-техн. конф. (Санкт-Петербург, 13–15 ноября 2018 г.). Т. 1. – СПб. : ФГБОУ ВО ПГУПС, 2018. – С. 198–201.

4 **Ананьева, О. С.** Тяговая подстанция постоянного тока с накопителями электрической энергии / О. С. Ананьева, В. А. Загорцев, В. Н. Подольская // 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. 7–8.

УДК 621.311:621.331

## СПОСОБЫ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В СИСТЕМАХ С ТЯГОВОЙ НАГРУЗКОЙ

*В. А. ЗАГОРЦЕВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

*С. А. ТЕРЛЯКОВИЧ*

*Брестская дистанция электроснабжения, Республика Беларусь*

Системы тягового электроснабжения предназначены для питания электрического подвижного состава (тяговой нагрузки) и нетяговых потребителей. Как известно характер изменения тяговой нагрузки (значения потребляемой и возвращаемой мощности) носит случайный характер, что может приводить к таким режимам работы, при которых будет возникать несимметрия токов и напряжений (по обратной последовательности) тяговых трансформаторов подстанций, влияющая на качество электрической энергии в точках общего присоединения (места подключения тяговых подстанций к системам внешнего энергоснабжения) [1].

Процесс рекуперативного торможения сопровождается возвратом рекуперирующим электровозом электрической энергии в контактную сеть. При этом энергия рекуперации потребляется электровозами, находящимися с ним на одном участке и работающими в тяговом режиме, либо возвращается в питающую энергосистему, либо распределяется по присоединениям, получающим питание с шин тяговых подстанций [2].

В настоящее время в системах тягового электроснабжения доля подвижного состава с возможностью осуществления рекуперативного торможения постоянно увеличивается, а следовательно, энергия рекуперации, которая не была потреблена в границах тяговой сети, поступает к тяговым подстанциям, затем возвращается в систему внешнего электроснабжения и оказывает заметное влияние на качество электрической энергии в точках общего присоединения [3]. Поэтому в исследовании были разработаны и проанализированы возможные методы по утилизации энергии рекуперации в границах тяговой сети, максимально уменьшая ее возврат в систему внешнего электроснабжения. Для этих целей были рассмотрены следующие способы:

- оптимизация графиков движения поездов;
- установка пунктов параллельного соединения;
- изменение схемы питания контактной сети;
- изменение системы тягового электроснабжения.

Разработанная методика оценки эффективности способов повышения качества электрической энергии в точках общего присоединения подразумевает оценку эффективности снижения количества избыточной энергии рекуперации и состоит из следующих этапов:

- выбор расчетного участка электрифицированной железнодорожной линии, размеров движения, масс и типов поездов;

- выполнение тяговых расчетов для расчетного участка с использованием электрического подвижного состава, осуществляющего рекуперацию электрической энергии в тяговую сеть;
- выполнение электрических расчетов для выбранного участка и итоговый анализ процента избыточной энергии рекуперации, а также сопутствующих факторов, влияющих на энергоэффективность применения предложенных способов (потери в тяговой сети, оценка пропускной способности и др.).

При оценке эффективности предложенного мероприятия «оптимизация графиков движения поездов» для расчетных участков моделировались случайные графики движения поездов с последующим анализом процента рекуперации электрической энергии в систему внешнего энергоснабжения. По результатам расчетов было установлено, что график движения в значительной степени влияет на величину возвращаемой энергии в точках общего присоединения и, при наиболее благоприятном распределении поездов, процент возвращаемой энергии может быть снижен на 10–15 %. Дополнительно установлено, что оптимизация графика движения также позволяет уменьшить потери в тяговой сети на 15–20 %, таким образом, данное мероприятие дает весьма значительный положительный эффект.

Пункты параллельного соединения контактной сети предназначены для электрического соединения секций контактной сети главных путей двухпутного участка железнодорожной линии с целью снижения потерь напряжения и электрической энергии. При оценке их влияния на процент возвращаемой электрической энергии в систему внешнего энергоснабжения было установлено, что применение пунктов параллельного соединения не оказывает существенного влияния на возврат энергии рекуперации.

При оценке влияния схемы питания контактной сети на количество возвращаемой энергии в систему внешнего электроснабжения были рассмотрены две схемы одностороннего питания: встречно-консольная и встречно-кольцевая. Как показали расчеты, при встречно-кольцевой схеме питания, когда контактные подвески главных путей на конце участка электрически соединяются, процент возвращаемой энергии в систему внешнего электроснабжения уменьшается на 40 %, а потери в тяговой сети – на 28 %, что объясняется лучшим токораспределением между контактными подвесками соседних путей, по сравнению со встречно-консольной схемой питания, когда контактные подвески главных путей получают питание отдельно. Таким образом, схема питания контактной сети влияет на процент энергии рекуперации, возвращаемой в систему внешнего электроснабжения, и тем самым влияет на качество электроэнергии.

Заключительным пунктом в исследовании стояла задача установить возможное влияние разновидности системы тягового электроснабжения на количество возвращаемой энергии в систему внешнего электроснабжения. Для одинаковых типов и масс поездов, профилей пути и графиков движения были выполнены электрические расчеты для участка с двумя вариантами системы тягового электроснабжения переменного тока:  $1 \times 25$  кВ и  $2 \times 25$  кВ. В результате расчетов оказалось, что процент возвращаемой энергии при системе  $2 \times 25$  кВ на 8 % больше, чем в системе  $1 \times 25$  кВ. Это может быть связано с тем, что в системе тягового электроснабжения  $2 \times 25$  кВ энергия рекуперации от электрического подвижного состава возвращается на тяговые подстанции при более высоком напряжении (50 кВ) в сравнении с системой  $1 \times 25$  кВ, а значит, ее потери при передаче будут меньшими. При этом по результатам расчетов общие потери в тяговой сети в системе  $2 \times 25$  кВ на 35 % меньше, чем в системе  $1 \times 25$  кВ. Важно отметить, что одинаковая тяговая нагрузка в каждой из систем приведет к неодинаковому результату: коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности в системе  $2 \times 25$  кВ будет намного меньше, чем для системы  $1 \times 25$  кВ, поэтому уменьшение количества возвращаемой энергии и ее влияние на качество энергии в токах общего присоединения для системы тягового электроснабжения  $2 \times 25$  кВ будет менее заметно.

Таким образом, в исследовании предложены мероприятия по снижению несимметрии напряжений за счет изменения энергобаланса систем тягового и внешнего электроснабжения при осуществлении рекуперативного торможения электрическим подвижным составом, эксплуатируемым на Белорусской железной дороге, и выполнена оценка влияния предложенных мероприятий на уменьшение потерь энергии в тяговой сети. Наиболее эффективными с точки зрения уменьшения несимметрии напряжений являются оптимизация графика движения поездов и изменение схемы питания контактной сети. Применение предложенных мероприятий позволит улучшить качество электрической энергии в сетях внешнего электроснабжения электрифицированных участков железной дороги, а также уменьшить потери электрической энергии в тяговых сетях.

## Список литературы

1 **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.

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. / ОмГУПС (ОмИИТ). – 2012. – № 1 (9). – С. 72–78.

3 **ГОСТ 32144–2013.** Нормы качества электроэнергии в системах электроснабжения общего назначения. – Введ. 2014-07-01. – М. : Межгос. совет по стандартизации: Рос. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2014. – 19 с.

УДК 621.08

## АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ СИЛОВОЙ УСТАНОВКИ ТЕПЛОВОЗА 2ТЭ116

*С. Т. КАЛИЕВА, Т. В. ЩЕРБИЦКАЯ, В. В. ИВАНОВ*

*Самарский государственный университет путей сообщения, Российская Федерация*

Надежность локомотивов является одним из важнейших условий, определяющих ритмичную и устойчивую работу железных дорог. Локомотив представляет собой сложную техническую систему, состоящую из множества элементов и подсистем. В этом случае наиболее объективную информацию о надёжности можно получить на основании обработки статистических данных о неисправностях и отказах, полученных путем наблюдения за эксплуатацией генеральной совокупности.

Генеральной называется совокупность всех мыслимых значений наблюдений, которые могут быть получены при данном комплексе условий.

Однако на практике в большинстве случаев получить сведения обо всех элементах множества, образующего генеральную совокупность, не представляется возможным. В такой ситуации используется случайная выборка, то есть часть генеральной совокупности, состоящая из элементов, отобранных случайным образом. Выборка должна быть репрезентативной. Тогда определяемые по выборке значения показателей, характеризующих то или иное свойство, представляют собой статистические оценки параметров, существующих в генеральной совокупности.

Поэтому при выполнении расчетов необходимо использовать основные положения теории вероятности и математической статистики, то есть оперировать следующими понятиями: случайные события, вероятность события, статистическая вероятность (частота), сложения и умножения вероятностей, несовместимые и независимые события, случайная величина, распределения случайной величины, среднее значение и математическое ожидание случайной величины, дисперсия, среднее квадратическое отклонение, функции распределения, плотность распределения, законы распределения, случайной вероятности и т. п.

Важно также усвоить основные термины и определения теории надежности: работоспособное и исправное состояние, отказ и повреждение, внезапные и постепенные отказы, восстанавливаемые и невосстанавливаемые, ремонтируемые и неремонтируемые изделия, предельное состояние, наработка и продолжительность эксплуатации, ресурс, срок службы, безотказность, ремонтпригодность, долговечность и сохраняемость, надежность.

Необходимо также получить основные представления о повышении надежности путем резервирования. Прежде всего имеется в виду структурное резервирование. Необходимо усвоить понятия «основной и резервный элемент», «нагруженный резерв», «кратность резерва», «дублирование», «общее резервирование» и др.

Из множества используемых на практике показателей надежности рассчитывается вероятность безотказной работы, средняя наработка до отказа и интенсивность отказов. Эти показатели обычно рассчитываются для невосстанавливаемых объектов, а для восстанавливаемых – только применительно к периоду эксплуатации до первого отказа. Тем не менее эти показатели достаточно широко используются для оценки безотказности как на стадии проектирования и испытаний объектов, так и при их эксплуатации.

Анализ данных статистической отчетности СЛД и ОАО «РЖД» и результатов проведенных исследований позволяет выделить на тепловозе основные группы оборудования и узлы, относящиеся к наименее надежным: тепловозный дизель, являющийся причиной более 40 % отказов и неплановых ре-

монтов, электрическое (25 %) и вспомогательное (10 %) оборудование. Анализ динамики отказов на протяжении длительного периода эксплуатации тепловозов показал, что, несмотря на предпринимаемые меры по совершенствованию системы технического обслуживания и ремонта (СТОР) и внедрению средств и методов технического диагностирования тепловозный дизель остается самым ненадежным узлом. В значительной степени это объясняется отсутствием в локомотивных депо эффективных методов оперативного безразборного контроля технического состояния деталей дизеля, которые в процессе эксплуатации подвергаются значительным динамическим нагрузкам.

Дальнейшее совершенствование СТОР тепловозов неразрывно связано с развитием и совершенствованием системы их технического диагностирования. В настоящее время на железнодорожном транспорте используется более двухсот видов средств диагностирования, причем многие из них дублируют друг друга.

Таким образом, при организации системы технического диагностирования парка тепловозов необходимо в первую очередь оценить технические возможности предлагаемых диагностических средств и систем с целью формирования их рационального набора. Выполненный анализ надежности работы узлов и систем тепловозов и обеспеченности процесса их диагностирования показал, что формирование комплекса диагностических средств характеризуется бессистемностью, поскольку осуществляется без научной проработки этого важного вопроса. Именно поэтому в локомотивных депо сформирован случайный набор диагностических средств, разработанных разными фирмами. Практика показывает, что в числе однотипных диагностических средств только одно обладает оптимальным сочетанием технико-экономических параметров.

#### Список литературы

- 1 Калиева, С. Т. Техническая безразборная диагностика локомотивов как современный метод технического диагностирования / С. Т. Калиева, В. Н. Панченко // Наука и образование транспорту. – 2016. – № 1. – С. 36–37.
- 2 Анализ современных методов технической диагностики, применяемых для контроля топливной аппаратуры дизеля локомотива / С. Т. Калиева, В. Н. Панченко // Известия Транссиба. – 2018. – № 1 (33). – С. 30–38.
- 3 Калиева, С. Т. Анализ диагностических комплексов при техническом обслуживании тепловозов на куйбышевской железной дороге / С. Т. Калиева, В. Н. Панченко, В. В. Иванов // Вестник транспорта Поволжья. – 2018. – № 3 (69). – С. 7–13.
- 4 Применение безразборной диагностики в эксплуатации и ремонте локомотивов / С. Т. Калиева [и др.] // Наука и образование транспорту. – 2019. – № 1. – С. 30–32.
- 5 Калиева, С. Т. Повышение топливной экономичности ДВС за счет ограничения воздействия эксплуатационных факторов / С. Т. Калиева, Л. Л. Саидова, В. Н. Панченко / Проблемы безопасности транспорта в современных условиях развития общества : материалы междунар. студ. науч.-практ. конф. – Нижний Новгород, 2020. – С. 54–58.

УДК 625.8

## РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ О ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ТОКОПРИЕМНИКА И КОНТАКТНОГО ПРОВОДА С УЧЕТОМ МЕХАНИЧЕСКИХ, ТЕПЛОВЫХ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПРОЦЕССОВ

*И. И. КАПЛЮК*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В настоящее время на железной дороге с целью обеспечения бесперебойного движения поездов в электрическом сообщении остается актуальным вопрос повышения износостойкости непосредственно контактной сети, ее элементов, а также элементов, предназначенных для съема электрического тока, устанавливаемых на электропоездах (таких как токоприемники и контактные вставки). Более детальное исследование взаимодействия токоприемника с контактным проводом электросети имеет в качестве долгосрочной цели выработку рекомендаций для безопасного выполнения транспортных услуг и повышения эффективности использования транспортной инфраструктуры для полного удовлетворения потребностей экономики государства и населения. В связи с этим происходит постоянный поиск новых конструктивных решений как токосъемной части электропоезда, так и контактной сети. Однако для обоснованного выбора конструктивного исполнения следует наиболее полно учитывать условия и причины плохого токосъема, которые до сих пор изучаются многими учеными.

Изнашивание элементов скользящего контакта является сложным электромеханическим процессом. Для удобства изучения этот процесс обычно разделяют на электрический и механический, хотя такое

деление весьма условно, так как электрические и механические явления в контакте взаимозависимы. Так, при дуговом токосъеме, например во время гололеда, сильно ухудшается состояние поверхности трения; но это приводит к усилению механического изнашивания. В то же время при грубых механических повреждениях этой поверхности становится более интенсивным и электрическое изнашивание.

Процесс токосъема сопровождается рядом факторов: нарушением непрерывного обеспечения оптимальной силы прижатия, постоянным изменением контактной площадки, трением, нагревом от трения и нагревом от передачи тока, плавлением, испарением и переносом материала, различного рода изнашиваниями, вызванных электрической эрозией и механическими повреждениями и т. д. На интенсивность изнашивания устройств токосъемной контактной пары влияют режимы движения поездов, скорость движения, тип тока, материал, конструкция, форма контактирующих элементов, условия окружающей среды и др.

Качественное моделирование систем различных физических явлений на сегодняшний день позволяют выполнить CAE-системы инженерного анализа (ABAQUS, ANSYS, COSMOS, I-DEAS, NASTRAN и др.). В данной работе поставлена задача по разработке и анализу конечноэлементных моделей контактирующих элементов токосъемной пары «провод – токосъемная вставка» в среде пакета инженерного анализа ANSYS. Данное программное обеспечение позволяет рассматривать конкретную комбинацию факторов, задаваемых инженером, получая распределения напряжений, температур, скоростей, электромагнитных полей и т. д.

В качестве входных данных поэтапно задавались механические, тепловые и электрические свойства контактируемых материалов провода и вставки. При последовательной разработке моделей задавались определенные геометрические размеры и упрощенные формы контактного провода без износа и с некоторым равномерным износом (в случае рассмотрения протекания тока в проводе), а также токосъемной вставки пантографа. Используемый на практике провод имеет сложную форму поперечного сечения, связанную с особенностями его крепления. Однако в зоне контакта с угольной вставкой поверхность провода цилиндрическая. Поэтому с целью упрощения модели предполагалось, что контактный провод имеет круглое сечение. Длина участка провода принята равной 20 см, его радиус сечения – 65 мм. Модель токосъемной вставки представляла собой прямоугольный параллелепипед с размерами  $10 \times 0,7 \times 3$  см.

Физические характеристики элементов модели приняты следующими: провод из меди с модулем Юнга, равным 100 ГПа, и коэффициентом Пуассона 0,2; угольная вставка с модулем Юнга 10 ГПа, коэффициентом Пуассона – 0,24. Плотности материалов провода и вставки 5529 и 1760 кг/м<sup>3</sup> соответственно. Коэффициент трения в контакте принят равным 0,06, коэффициент теплопередачи 70 Вт/(м<sup>2</sup>·К). Электрическое удельное сопротивление материала провода  $1,72 \cdot 10^{-8}$  Ом·м, материала вставки 0,008 Ом·м. Тестирование модели показало, что результаты конечноэлементного моделирования достаточно адекватно отображают распределение напряжений и температур в элементах модели.

Была задана температура поверхности угольной вставки 70 °С и начальная температура контактирующих элементов, равная температуре окружающей среды 15 °С. В модели учитывался конвективный обмен с окружающей средой (воздух). Получено распределение температур в зоне контакта при нагревании поверхности угольной вставки с учетом температуры окружающей среды в установившемся режиме. Тестирование модели показало, что результаты конечноэлементного моделирования достаточно адекватно отображают распределение температур в элементах модели.

В ходе вычислений установлено, что тепловой поток быстро распространяется по контактному проводу вследствие его высокого коэффициента теплопередачи. Градиент температуры по длине провода через 0,1 с после начала контакта составляет около 20 °С/м.

Дальнейшее исследование проводилось в среде пакета ANSYS Workbench с помощью решателя Mechanical APDL. В результате разработана конечно-элементная модель, позволяющая осуществить совместный анализ полей напряжений и температур при влиянии сухого трения в процессе скольжения токосъемной вставки электровоза вдоль провода электросети.

Для анализа выбран тип анализа Transient Structural. При этом использовались ранее принятые характеристики и свойства модели. В качестве конечного элемента выбран линейный элемент связанных полей SOLID5, позволяющий производить учет прочностных степеней свободы совместно с температурой. Сетка создавалась линейным генератором сетки с размером конечного элемента 0,4 мм. Число конечных элементов модели составило около 85 000. В данной модели в дополнение к ранее описанным параметрам учитывались следующие характеристики материалов провода и токосъемной вставки: коэффициент теплового расширения  $16,7 \cdot 10^{-6}$  и  $7,9 \cdot 10^{-6}$  1/К, коэффициент теп-

лопроводности – 380 и 150 Вт/м·К, коэффициент удельной теплоемкости – 383 и 708 Дж/кг·К. Начальный коэффициент трения в контакте увеличен до 0,2.

Чтобы обеспечить реальные условия работы провода, предполагается, что один из его концов закреплен, а у второго отсутствует вертикальное смещение. Сила натяжения провода принята равной 500 Н, сила прижатия вставки к проводу – 140 Н. Считалось, что токоприемник перемещается вдоль провода со скоростью 1 м/с.

Контактная пара назначена фрикционной, несимметричной с формулировкой «Augmented Lagrange». Было определено обязательное наличие контакта между телами в начальный момент времени. Чтобы обеспечить более устойчивый процесс счета, значение коэффициента нормальной жесткости тел по всей поверхности контакта уменьшено в 10 раз до 0,01 по сравнению со значением по умолчанию. Для расчета плотности теплового потока, вызванного кулоновым трением, коэффициент рассеивания энергии принят равным 1. Весовой коэффициент распределения тепла, учитывающий особенности обмена тепла между контактной и целевой поверхностями, считался равным 0,5. Предполагалось, что при температуре 22 °С тела не имеют тепловых деформаций. Также данная температура задана в качестве начальной температуры тел.

Полученная модель позволила рассмотреть тепловыделение и его дальнейшее распределение по объему элементов при контактном взаимодействии, сопровождающемся трением. Отметим, что длительность одноразового расчета для интервала времени 0,5 с составила более 70 часов. В результате вычислений было обнаружено, что наибольший нагрев достигается в зоне контакта, а место пятна нагрева изменяется при движении вставки. Расчеты показали, что повышение температуры вставки в зоне контакта в первые 0,5 с от начала скольжения составляет около 14 градусов, что соответствует реализуемым на практике значениям. Заметное увеличение температуры провода наблюдается только вблизи области контакта. Это соответствует полученным ранее результатам теплового анализа. Данная модель позволила также произвести оценку значений напряжений, возникающих в результате скользящего контакта.

Разработанные модели в последующем могут быть использованы для усовершенствования конструкции узла токосъема.

УДК 621.892, 620.178

## ЭКСПРЕСС-МЕТОД УСКОРЕННОГО ВЫБОРА СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ УЗЛОВ ТРЕНИЯ

*В. В. КОМИССАРОВ, Е. С. ТАРАНОВА*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Разработан экспресс-метод испытания смазочных материалов при трении качения, в основу которого было положено ускоренное многоступенчатое нагружение испытываемых пар трения в широком диапазоне изменения контактных нагрузок. Отработка экспресс-метода выполнялась при испытаниях моделей зубчатого зацепления (пар трения) из стали 18ХГТ и 25ХГТ и чугуна марки ВЧГГ. Испытания проводили на машине для износоусталостных испытаний СИ-03М по [1] при использовании антифрикционных жидких и пластичных смазочных материалов, а также при сухом трении.

Для реализации программы испытаний задавали начальный уровень контактных напряжений  $p_n = 1206$  МПа ( $F_N = 10$  Н); степень приращения напряжений  $\Delta p_i = \text{const} = 550$  МПа; продолжительность ступени нагружения  $n_i = \text{const} = 10^5$  циклов. В процессе испытаний в автоматическом режиме измеряли величины сближения осей  $\delta_c$ , момента трения качения  $M_k$  и вибраций dВ (определяются общим уровнем шума). По измеренному моменту трения рассчитывали коэффициент сопротивления качению  $f_r$ . В процессе испытаний на каждой ступени нагружения контролировали изменение температуры в зоне контакта образца и контрообразца. Испытания вели непрерывно до заданного числа циклов нагружения ( $10^6$  циклов) или до достижения предельного состояния по одному из пяти параметров ( $F_{N\text{lim}}$ ,  $\delta_{c\text{lim}}$ ,  $dV_{\text{lim}}$ ,  $M_{k\text{lim}}$ ,  $T_{\text{lim}}$ ).

Проведенные испытания сочетаний материалов сталь 18ХГТ / сталь 18ХГТ, сталь 25ХГТ / сталь 25ХГТ, чугун ВЧГГ / сталь 18ХГТ, чугун ВЧГГ / сталь 25ХГТ в среде четырех смазочных материалов и в режиме сухого трения показали, что для пар трения сталь / сталь наилучшие характери-



стики износостойкости наблюдались при использовании графитовой смазки (пластичный смазочный материал), а для пар трения чугун/сталь – при использовании трансмиссионного масла ТАД-17И (жидкий смазочный материал).

При проведении таких испытаний главным образом ставятся и решаются две задачи: 1) для заданной пары трения реализуется ускоренный выбор смазочного материала; 2) под заданную смазку осуществляется сочетание материалов пары трения. Конечным итогом является получение паспорта работоспособности либо смазочного материала, либо конкретной пары трения при заданной программе нагружения. Данный паспорт может быть использован как регламентирующий документ для выбранного метода испытания смазочных масел и узлов трения при контактной усталости.

Апробация методики произведена в рамках работ по обоснованию замены крупногабаритных (диаметр до 0,5 м) стальных эпициклических шестерен на эпициклические шестерни из чугуна марки ВЧТГ. Для оценки достоверности полученных экспериментальных данных, при реализации разработанной методики, проводились сравнительные натурные испытания эпициклических шестерен из чугуна марки ВЧТГ и стали 25ХГТ. В опытную эксплуатацию было запущено 11 бортовых редукторов, укомплектованных зубчатыми колесами из чугуна марки ВЧТГ, наработка которых составила 298–444 моточасов. Замечаний по работе редукторов в процессе эксплуатации не поступало; повреждений эпициклических шестерен не наблюдалось. С целью сравнительного эксплуатационного исследования на один из экспериментальных комбайнов КВК-800 (№ 751) одновременно были установлены чугунная (левый бортовой редуктор № 1420, рисунок 1, а) и стальная (правый бортовой редуктор № 1417, рисунок 1, б) эпициклические шестерни. Анализ рабочих поверхностей, указанных шестерен после работы в течение одного сезона представлен на рисунке 1, в и г.

Сравнение характеристик нового (содержание механических примесей 0,006) и отработанного масел (содержание механических примесей: 0,22 – чугунный эпицикл; 0,63 – стальной эпицикл) показало, что у отобранного из редуктора с чугунной шестерней масла после наработки число механических примесей в 3,5 раза меньше в сравнении с маслом из редуктора со стальным эпициклом. Это подтверждает меньшую степень поврежденности рабочей поверхности зубьев чугунной шестерни по сравнению со стальной при одинаковых эксплуатационных условиях.



Рисунок 1 – Общий вид комбайна КВК 800 (№ 751) в условиях эксплуатации и эксплуатационные повреждения зубьев эпицикла из чугуна марки ВЧТГ (а, в) и стали (б, г)

Проведенные ускоренные испытания моделей зубчатого зацепления чугун/сталь и сталь/сталь на контактную усталость в среде нового и отработанного трансмиссионного масла показали, что пара трения с высокопрочным чугуном марки ВЧТГ в данных условиях имеет более низкие значения коэффициента сопротивления качению и момента трения качения.

Основные результаты работы.

1 Разработан экспресс-метод испытания смазочных материалов, главные особенности которого состоят в том, что: а) производится ступенчатое нагружение пары трения с установленным регламентом повышения контактного давления  $\Delta p_0$  и  $\Delta t$  на каждой ступени; б) обеспечивается определение (в одном опыте) четырех взаимообусловленных параметров трения:  $M_t$ ,  $f_r$ ,  $\delta_c$ ,  $dB$  (тяговая –  $M_t$ , физическая –  $f_r$ , состояние повреждаемости –  $\delta_c$ ,  $dB$ ); в) скорость трения  $v_{тр} = \text{const}$  на всех ступенях нагружения.

2 С использованием данного метода разработана процедура построения паспорта служебных свойств смазки (материала), содержащая три экспериментально установленных зависимости при  $v_{тр} = \text{const}$ : 1)  $\delta_c - p_0$ ; 2)  $f_r - p_0$ ; 3)  $M_t - p_0$ ; 4)  $dB - p_0$  которые строятся в широком диапазоне изменения контактного давления  $p_0$  ( $F_N$ ). Такой паспорт дает исчерпывающую информацию о работоспособности смазочного материала при заданных условиях нагружения.

3 Проведенный по разработанному экспресс-методу комплекс сравнительных экспериментальных исследований пар трения сталь / сталь и сталь / чугун ВЧТГ подтвердил обоснованность замены стальных зубчатых колес на колёса, изготавливаемые из чугуна ВЧТГ, и возможность использования трансмиссионного масла ТАД-17И.

#### Список литературы

1 ГОСТ 30755-2001. Трибофатика. Машины для износоусталостных испытаний. Общие технические требования. – Введ. 2002-07.01. – Минск : Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации, Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2002. – 8 с.

УДК 004.89

## ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБЕСПЕЧЕНИИ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

*С. В. КОРКИНА, А. В. ЖЕБАНОВ, И. А. КРАСНОВА*

*Самарский государственный университет путей сообщения, Российская Федерация*

Основным стратегическим направлением деятельности холдинга ОАО «РЖД» является обеспечение гарантированной безопасности движения, сохранности подвижного состава и грузов, жизни людей в процессе решения всех производственных задач и реализации производственных процессов. Кроме того, ОАО «РЖД» нацелено на повышение качества обслуживания клиентов и позиционирует себя как клиентоориентированная компания. В настоящее время значительное внимание уделяется внедрению и развитию современных информационных технологий во все сферы деятельности компании [1, 2], холдинг является одной из передовых крупнейших организаций, применяющих цифровые технологии, реализует проект «Цифровая железная дорога» [3–5].

Цифровые технологии внедряются на всех уровнях и во все производственные процессы, реализуемые ОАО «РЖД»: в обучение и повышение квалификации персонала [6, 7], организацию документооборота, технологические процессы ремонта и технического обслуживания инфраструктуры [3, 5], перевозочный процесс, работу станций и т. д.

Особое внимание уделяется развитию и расширению внедрения современных информационных и цифровых технологий при контроле технического состояния подвижного состава на ходу поезда и при техническом обслуживании на ПТО: создание интегрированных постов контроля с применением автоматизированных систем, формирование единого информационного пространства с последующей возможностью создания цифровых двойников единиц подвижного состава, отдельных ответственных узлов и элементов [8].

На полигоне Куйбышевской железной дороги планируется создание интегрированных постов на подходах к ПТО станции Дема, Кинель и др., что позволит обеспечить требуемый уровень автома-

тизированного контроля технического состояния подвижного состава, сократить время, затрачиваемое на коммерческий и технический осмотр составов. Кроме того, это будет способствовать исключению (сокращению) влияния «человеческого фактора» на качество производственных процессов и обеспечение безопасности движения, поскольку своевременное выявление и устранение неисправностей узлов подвижного состава позволяет предотвратить отказы технических средств в процессе движения поездов.

Цифровой двойник физического объекта или процесса – это сопровождающее в течение жизненного цикла виртуальное отображение, в котором в режиме реального времени фиксируются функции, техническое состояние, технико-экономические параметры и прочее для указанного объекта (процесса).

Можно выделить следующие необходимые этапы создания цифрового двойника подвижной единицы (грузового вагона).

На первом этапе необходимо обеспечение эффективного информационного обмена между виртуальной цифровой моделью и физическим объектом для реализации мониторинга технического состояния, в том числе поступление информации от автоматизированных систем контроля и от ремонтных предприятий с результатами диагностики и неразрушающего контроля узлов и элементов.

Далее создаются модели повреждений различной природы, возникновения, накопления и развития повреждений (отказов) всех составных частей физического объекта с последующей оценкой валидности разработанных моделей.

Важнейшим результатом создания цифрового двойника является возможность применения методов предиктивной аналитики и выдача прогнозируемого ресурса каждого узла, элемента вагона или подвижной единицы в целом.

Завершающим этапом выступает процесс обеспечения обратной связи от цифровой модели к физическому объекту, результатом которого может стать, например, корректировка сроков ремонта определенного вида, совершенствование технологии технического обслуживания и т. д. (рисунок 1).

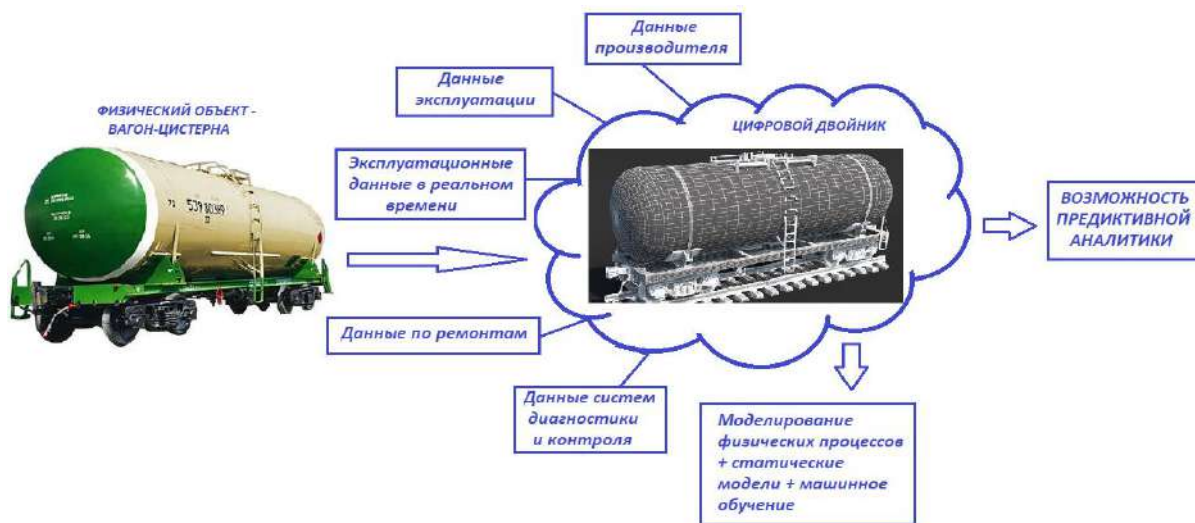


Рисунок 1 – Формирование и этапы создания цифрового двойника

Необходимо отметить, что в настоящее время, когда полностью исключить визуальный осмотр на ПТО не представляется возможным, целесообразно создание автоматизированной системы получения, хранения и передачи данных в АСУ Станции с применением возможностей дополненной реальности [8].

Созданию такой автоматизированной системы предшествует анализ нормативных документов, регламентирующих порядок и правила технического обслуживания вагонов на ПТО станции. Далее необходимо разработать концепцию информационной системы (какие параметры и действия предполагается фиксировать, какие данные осмотра требуется передавать в систему и пр.). Следующим этапом выступает разработка порядка сбора, хранения и передачи данных в систему, создание электронных паспортов единиц подвижного состава.

IT-специалистами разрабатываются программное обеспечение для очков дополненной реальности и сетевой протокол передачи данных в АСУ ПТО (АСУ Станции).

Завершающим этапом выступает создание механизма формирования единой базы цифровых двойников каждой подвижной единицы и отдельных узлов и элементов грузовых вагонов.

Результатом внедрения цифровых технологий в процесс контроля технического состояния вагонов в эксплуатации является повышение информативности данных, выявляемости дефектов, в том числе развивающихся, повышение технологической дисциплины персонала и сокращение влияния «человеческого фактора» на обеспечение гарантированной безопасности движения.

#### Список литературы

1 **Сустаев, А. В.** Внедрение информационных технологий в процесс технического обслуживания грузовых вагонов на ПТО / А. В. Сустаев, Н. В. Митин, С. В. Коркина // *Фундаментальные и прикладные вопросы транспорта*. – 2022. – № 1(4). – С. 186–192. – DOI 10.52170/2712-9195/2022\_1\_186.

2 **Коркина, С. В.** Расширение функционала АРМ инженера в АСУ ТОР ЭЖ для повышения производительности работы участка ТОР / С. В. Коркина, А. В. Жебанов // *Наука и образование транспорту*. – 2021. – № 1. – С. 44–48.

3 **Краснова, И. А.** Цифровая трансформация как неотъемлемая составляющая стратегии развития и повышения безопасности железнодорожного транспорта / И. А. Краснова, А. В. Шпетко, С. В. Коркина // *Обеспечение безопасности движения как перспективное направление совершенствования транспортной инфраструктуры* : материалы Междунар. студ. науч.-практ. конф., (Нижний Новгород, 07 апреля 2022 г.). – Нижний Новгород : Филиал СамГУПС в г. Нижнем Новгороде, 2022. – С. 36–41.

4 **Воеводина, С. П.** Проблемы и препятствия цифровизации транспортной инфраструктуры / С. П. Воеводина, А. Д. Протасова, С. В. Коркина // *Фундаментальные и прикладные вопросы транспорта*. – 2022. – № 1(4). – С. 175–180. – DOI: 10.52170/2712-9195/2022\_1\_175.

5 **Шпетко, А. В.** К вопросу цифровой трансформации транспортной инфраструктуры – основные направления и перспективы / А. В. Шпетко, И. А. Краснова, С. В. Коркина // *Фундаментальные и прикладные вопросы транспорта*. – 2022. – № 1(4). – С. 201–207. – DOI 10.52170/2712-9195/2022\_1\_201.

6 Внедрение цифровых технологий в процесс технической учебы работников, реализующих техническое обслуживание пассажирских вагонов / И. А. Соболев [и др.] // *Техника и технологии наземного транспорта* : материалы Междунар. студ. науч.-практ. конф. (Нижний Новгород, 15 декабря 2021 г.). – Нижний Новгород : Филиал СамГУПС в г. Нижнем Новгороде, 2022. – С. 187–192.

7 **Шпетко, А. В.** Применение цифровых технологий в обучении специалистов транспорта / А. В. Шпетко, С. В. Коркина, А. О. Шилин // *Дни студенческой науки* : сб. материалов 49-й науч. конф. обучающихся СамГУПС (Самара, 05–16 апреля 2022 г.). – Самара : СамГУПС, 2022. – С. 145–148.

8 **Батищева, О. А.** Цифровые технологии при техническом обслуживании грузовых вагонов в парках ПТО / О. А. Батищева, И. В. Чепурченко, С. В. Коркина // *Дни студенческой науки* : сб. материалов 49-й науч. конф. обучающихся СамГУПС (Самара, 05–16 апреля 2022 г.). – Самара : СамГУПС, 2022. – С. 107–110.

УДК 621.317.1

## ОЦЕНКА СООТВЕТСТВИЯ УСТРОЙСТВ ЗАЩИТЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

*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*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

*С. Ю. КОНОВАЛОВ*

*43-й арсенал, г. Добруш, Республика Беларусь*

Основную опасность для железнодорожной контактной сети представляет прямой удар молнии в фазный провод с последующим перекрытием изоляции от возникающих при этом перенапряжений с образованием дуги за счет рабочего напряжения линии и необходимостью последующего отключения короткого замыкания (КЗ).

Одним из основных средств защиты от грозовых и коммутационных перенапряжений как системы электроснабжения железнодорожной инфраструктуры, так и подвижного состава являются ограничители перенапряжений (ОПН). Их защитное действие обусловлено протеканием значительного импульсного тока через нелинейные резисторы ограничителя при появлении опасного для

изоляции перенапряжения, в результате чего величина перенапряжения снижается до уровня, безопасного для оборудования, в то время как в режиме рабочих напряжений ОПН практически закрыт и ток, протекающий через него, измеряется микроамперами. Поэтому от правильного функционирования устройств защиты во многом зависит безотказная работа комплекса систем и целостность оборудования.

Исходя из ответственности выполняемых функций ограничители перенапряжений перед внедрением в производственный процесс должны подвергаться процедуре подтверждения соответствия определенным требованиям и стандартам посредством проведения испытаний (предварительных, приемочных, квалификационных, периодических, сертификационных), среди которых одними из обязательных является проверка взрыво- и пожаробезопасности, а также проверка величины остающегося напряжения (рисунок 1) и электрической прочности изоляции при воздействии грозовых импульсов (рисунок 2).

Испытания такого рода считаются сложными и энергозатратными, а оборудование для их реализации достаточно дорогостоящее и во многом уникальное. На сегодняшний день, из наиболее территориально близких нам организаций, подобные испытания можно провести в АО «НТЦ ФСК ЕЭС» (г. Москва, РФ) и ICMET Craiova (г. Крайова, Румыния).

Анализируя полученные результаты, можно утверждать, что качество исполнения как ограничителя в целом, так и его отдельных компонентов имеет достаточно большое значение для безопасности оборудования и людей, и поэтому проведение испытаний по оценке показателей безопасности и работоспособности ОПН являются обязательным, особенно если речь идет о сертификационных испытаниях.

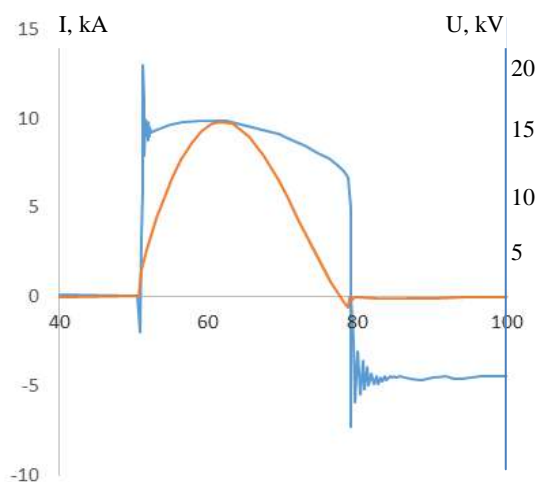


Рисунок 1 – Графики токовых импульсов и остающегося напряжения на отдельных элементах образцов

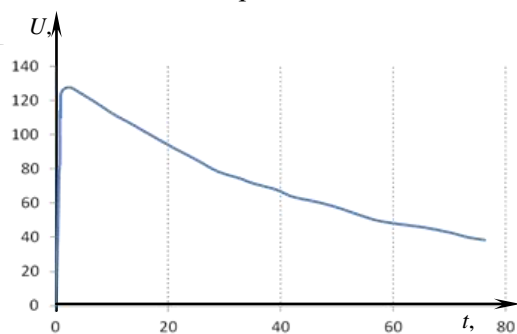


Рисунок 2 – Пример импульса положительной полярности

УДК 006.015.8: 625.1

## ПОРЯДОК ОЦЕНКИ СООТВЕТСТВИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ТРЕБОВАНИЯМ ТЕХНИЧЕСКОГО РЕГЛАМЕНТА ТР ТС 001/2011

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

Решением Совета Евразийской экономической комиссии от 14.09.2021 № 90 «О внесении изменений в некоторые решения Комиссии Таможенного союза и Совета Евразийской экономической комиссии» [1] с 07.04.2022 вступила в действие новая редакция технического регламента Таможенного союза ТР ТС 001/2011 «О безопасности железнодорожного подвижного состава» (далее – ТР ТС 001/2011) [2].

ТР ТС 001/2011 распространяется на вновь разрабатываемый, модернизируемый, изготавливаемый железнодорожный подвижной состав с конструкционной скоростью до 200 км/ч включительно и его составные части, выпускаемые в обращение на таможенной территории Евразийского экономического

союза для использования на железнодорожных путях общего и необщего пользования с шириной колеи 1520 мм. На продукцию, прошедшую модернизацию с продлением срока службы, распространяются те же процедуры оценки соответствия, что и на вновь изготовленную продукцию.

Оценка соответствия железнодорожного подвижного состава и его составных частей проводится в форме подтверждения соответствия продукции требованиям ТР ТС 001/2011 согласно типовым схемам, установленным в [3].

Подтверждение соответствия осуществляется в форме:

- декларирования соответствия продукции требованиям ТР ТС 001/2011 (схемы 1д, 2д, 3д, 4д и 6д);
- сертификации органом по сертификации (схемы 1с, 3с, 4с и 10с).

Применяемые в соответствии с [2] и [3] схемы декларирования соответствия включают в себя следующие процедуры:

- выбор заявителем схемы декларирования соответствия;
- формирование и анализ заявителем комплекта документов, послуживших основанием для принятия декларации о соответствии;
- проведение идентификации продукции и (или) отбора образцов продукции;
- осуществление изготовителем декларируемой продукции производственного контроля и принятие всех необходимых мер для того, чтобы процесс производства продукции обеспечивал ее соответствие требованиям ТР ТС 001/2011;
- выбор заявителем аккредитованной испытательной лаборатории;
- проведение идентификации образцов продукции, поступивших на испытания, и испытаний образцов продукции в аккредитованной испытательной лаборатории или собственной испытательной лаборатории изготовителя;
- принятие и регистрация декларации о соответствии;
- обеспечение заявителем маркировки продукции единым знаком обращения продукции;
- формирование заявителем комплекта доказательственных материалов, послуживших основанием для принятия декларации о соответствии, подтверждающих соответствие требованиям ТР ТС 001/2011, после завершения процедур подтверждения соответствия в форме декларирования соответствия и их хранение.

Применяемые схемы сертификации включают в себя следующие процедуры:

- подача заявителем в орган по сертификации заявки на проведение работ по сертификации продукции;
- рассмотрение и анализ органом по сертификации заявки и прилагаемых документов;
- проведение органом по сертификации идентификации продукции на предмет отнесения продукции к области применения ТР ТС 001/2011, принятие решения в отношении указанной заявки и направление решения заявителю;
- проведение органом по сертификации отбора образцов продукции;
- проведение испытаний образцов продукции в аккредитованной испытательной лаборатории;
- проведение органом по сертификации анализа состояния производства продукции;
- обобщение и анализ органом по сертификации представленных заявителем документов, результатов испытаний образцов и результатов анализа состояния производства продукции;
- принятие органом по сертификации решения о выдаче или об отказе в выдаче сертификата соответствия;
- оформление и выдача органом по сертификации сертификата соответствия либо направление заявителю решения об отказе в выдаче сертификата соответствия;
- внесение сведений о выданном сертификате соответствия в единый реестр выданных сертификатов соответствия и зарегистрированных деклараций о соответствии;
- обеспечение заявителем маркировки продукции единым знаком обращения продукции;
- проведение органом по сертификации периодической оценки сертифицированной продукции (для схемы 1с).

При повторной сертификации железнодорожного подвижного состава в органе по сертификации, проводившем сертификацию данной продукции ранее, по его решению допускается проведение экспертизы доказательственной документации вместо испытаний продукции, имеющей результаты испытаний в отношении показателей воздействия на железнодорожный путь, а также показателей, связанных с проведением динамических и усталостных испытаний, давностью не более 10 лет. Такие результаты испытаний могут быть приняты при повторной сертификации при отсутствии изменений в конструкторской и технологической документации, влияющих на эти показатели, а также изменений в стандартах. В



остальных случаях результаты испытаний давностью более 5 лет для целей сертификации продукции не рассматриваются.

Срок выдачи сертификата соответствия не должен превышать 15 рабочих дней с даты получения органом по сертификации протоколов испытаний и документов об устранении выявленных при сертификации несоответствий.

Сертификат соответствия продукции, составные части которой подлежат подтверждению соответствия, может быть выдан только при наличии сертификатов соответствия или деклараций о соответствии этих составных частей.

Периодическую оценку сертифицированной продукции осуществляет орган по сертификации, проводивший сертификацию продукции. Периодическая оценка сертифицированной продукции может быть плановой и внеплановой и обеспечивает получение информации о сертифицированной продукции в виде результатов испытаний и анализа состояния производства продукции с целью установления того, что продукция продолжает соответствовать требованиям [2], подтвержденным при сертификации. Орган по сертификации проводит плановую периодическую оценку сертифицированной продукции в течение срока действия сертификата соответствия 1 раз в год.

По результатам проведения периодической оценки сертифицированной продукции может быть принято одно из следующих решений:

– сертификат соответствия продолжает действовать, если продукция соответствует требованиям ТР ТС 001/2011;

– действие сертификата соответствия приостанавливается, если путем корректирующих мероприятий заявитель может устранить обнаруженные причины несоответствия продукции требованиям ТР ТС 001/2011;

– действие сертификата соответствия прекращается, если путем корректирующих мероприятий заявитель не может устранить обнаруженные причины несоответствия продукции требованиям ТР ТС 001/2011.

#### Список литературы

1 Решение Совета Евразийской экономической комиссии от 14.09.2021 № 90 «О внесении изменений в некоторые решения Комиссии Таможенного союза и Совета Евразийской экономической комиссии» [Электронный ресурс] : офиц. сайт Евразийской экономической комиссии. – Режим доступа : <http://www.eurasiancommission.org/>. – Дата доступа : 18.07.2022.

2 ТР ТС 001/2011. О безопасности железнодорожного подвижного состава / Евразийская экономическая комиссия. – Минск : Госстандарт; БелГИСС, 2022. – 49 с.

3 Решение Совета Евразийской экономической комиссии от 18.04.2018 № 44 «О типовых схемах оценки соответствия» [Электронный ресурс] : офиц. сайт Евразийской экономической комиссии. – Режим доступа : <http://www.eurasiancommission.org/>. – Дата доступа : 18.07.2022.

УДК: 629.4.016.2

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФАКТИЧЕСКИХ ТЯГОВО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АВТОНОМНЫХ ЛОКОМОТИВОВ ПО ДАННЫМ БОРТОВЫХ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И ДИАГНОСТИКИ

*Д. Н. КУРИЛКИН*

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

Современный локомотив трудно представить без микропроцессорных систем управления и устройств накопления информации о параметрах движения локомотива и поезда. Всё большую роль играют современные устройства автоматического ведения поездов. Проблемы определения энергоэффективных режимов работы локомотивов при их паспортных характеристиках во многом нашли свое теоретическое и практическое решение [1–4]. Во многом решены проблемы измерения, накопления, удаленной передачи и хранения больших объемов информации о техническом состоянии автономных локомотивов. Кроме того, имеется ряд теоретических и практических разработок, связанных с интеллектуальной обработкой информации для осуществления оперативной диагностики тягового подвижного состава [5].

Как показали исследования [6], техническое состояние локомотива может существенно влиять на его энергоэффективность и выбор режимов работы, ее обеспечивающих. Однако на данный момент времени при выполнении тягово-энергетических расчетов, разработке режимных карт и программ автоведения исходными данными, в основном, являются паспортные характеристики локомотивов, не учитывающие текущее техническое состояние, настройки и регулировки силовой и вспомогательной аппаратуры [1–4]. Подобный подход приводит к существенному снижению точности выполняемых расчетов, что приводит к перерасходу энергоресурсов в системах автоведения и низкому уровню доверия к режимным картам со стороны локомотивных бригад. Между тем, данные фиксируемые современными микропроцессорными системами управления и устройствами обработки информации позволяют получить достаточно точное представление о фактических тягово-энергетических характеристиках локомотивов.

На данный момент времени осуществляются поиск, практическая реализация и разработка научно-обоснованных принципов, методов, алгоритмов и программного обеспечения для определения фактических тягово-энергетических характеристик автономных локомотивов на основе анализа данных бортовых микропроцессорных систем управления и диагностики. Основой определения фактических характеристик локомотивов является анализ энергетической цепи локомотива, под которой подразумевается комплекс агрегатов, осуществляющих преобразование химической энергии топлива в механическую энергию, используемую для перемещения поезда и привода вспомогательного оборудования локомотива. Структура энергетической цепи тепловозов 2ТЭ116У и 2ТЭ25Км показана на рисунке 1. Эффективность функционирования энергетической цепи определяется как эффективностью преобразования энергии топлива в работу на валу теплового двигателя, так и распределением этой работы на тяговый привод и на обеспечение функционирования агрегатов энергетической цепи, т. е. на вспомогательные нагрузки локомотива.

В докладе будут представлены результаты расчета затрат энергии на элементы тягового привода на примере тепловозов 2ТЭ116У, 2ТЭ25Км и ТЭП70БС с учетом особенностей их конструкции в синхронном тяговом генераторе, тяговых электродвигателях, тяговом редукторе, моторно-осевых подшипниках [7, 8].

Кроме того, выполнен анализ затрат энергии на такие составляющие вспомогательных нагрузок:

- возбуждение синхронного тягового генератора [9];
- мотор-вентиляторы охлаждающих устройств дизеля [10];
- зарядку аккумуляторных батарей тепловозов [11];
- привод тормозного компрессора;
- неотключаемые нагрузки.

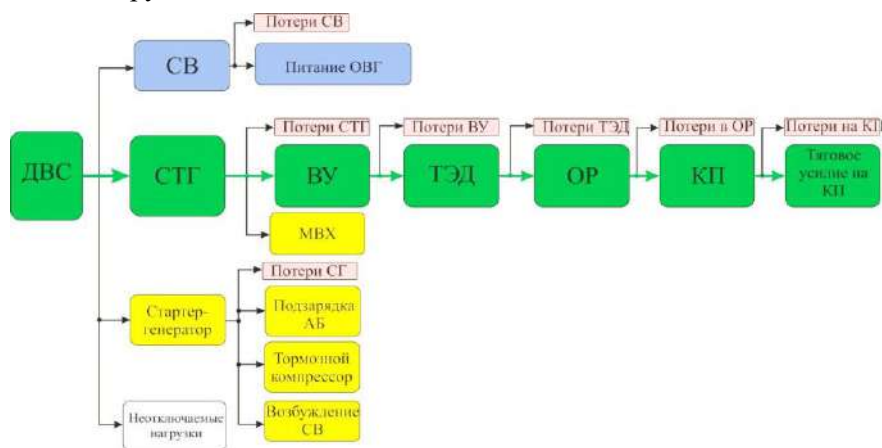


Рисунок 1 – Энергетическая цепь тепловозов 2ТЭ25Км и 2ТЭ116У:

ДВС – двигатель внутреннего сгорания; СТГ – синхронный тяговый генератор; ВУ – выпрямительная установка; ТЭД – тяговые электродвигатели; ОР – осевой редуктор; КП – колесные пары; МВХ – мотор-вентилятор охлаждающего устройства дизеля; СВ – синхронный возбудитель; ОВГ – обмотка возбуждения синхронного тягового генератора; АБ – аккумуляторная батарея

В результате выполненных расчетов получено, что затраты мощности на привод вспомогательных нагрузок могут отличаться до 25–50 % у различных локомотивов одной серии и существенно влиять на тягово-энергетические характеристики локомотивов, которые могут отличаться даже для двух секций одного тепловоза на 20–25 % особенно для промежуточных позиций контроллера.



В результате выполненной работы можно сделать вывод о необходимости определения фактических тягово-энергетических характеристик автономных локомотивов при составлении режимных карт и программ автоведения для повышения их точности.

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

#### Список литературы

- 1 Оптимизация управления движением поездов / Л. А. Баранов [и др.] ; под ред. Л. А. Баранова. – М. : МИИТ, 2011. – 164 с.
- 2 Юренко, К. И. Математическое моделирование энергооптимальных режимов ведения поезда с учетом возмущений / К. И. Юренко, А. Н. Савоськин, Е. И. Фандеев // Изв. вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2015. – № 3. – С. 34–44.
- 3 Мугинштейн, Л. А. Энергооптимальные методы управления движением поездов / Л. А. Мугинштейн, А. Е. Илютович, И. А. Ябко. – М. : Интекст, 2012. – 80 с.
- 4 Программа выполнения тягово-энергетических расчетов «тяга-прогноз» ведения локомотивами поездов различной составности по энергооптимальным режимам. – Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2022616927, 18.04.2022 : заявка № 2022616055 / В. П. Гриневич, Д. Н. Курилкин, Т. С. Авсиевич, Л. М. Воронкова. – 06.04.2022.
- 5 Грачев, В. В. Прескриптивный контроль энергоэффективности силовой установки тепловоза с использованием интеллектуальных методов обработки измерительной информации встроенных средств диагностики : [монография] / В. В. Грачев. – СПб. : ФГБОУ ВО ПГУПС, 2019. – 106 с.
- 6 Влияние технического состояния вспомогательного оборудования тепловозов на их энергоэффективность в эксплуатации / В. А. Перминов [и др.] // Вестник научно-исследовательского и конструкторско-технологического института подвижного состава. – 2015. – № 97. – С. 45–58.
- 7 Оценка потерь мощности в моторно-осевых подшипниках скольжения тягового подвижного состава / А. В. Осипов [и др.] // Вестник транспорта Поволжья. – 2022. – № 2 (92). – С. 23–30.
- 8 Курилкин, Д. Н. Определение затрат энергии в синхронных тяговых генераторах тепловозов при различных режимах нагружения / Д. Н. Курилкин // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2022. – Т. 19, № 2. – С. 286–297.
- 9 Курилкин, Д. Н. Определение затрат энергии на возбуждение синхронного тягового генератора по данным микропроцессорных систем управления для прогнозирования тяговой характеристики локомотива / Д. Н. Курилкин // Бюллетень результатов научных исследований. – 2022. – № 1. – С. 103–117.
- 10 Курилкин, Д. Н. Анализ затрат энергии на привод мотор-вентиляторов охлаждающего устройства дизеля тепловоза 2ТЭ116У по данным МСУ-ТП / Д. Н. Курилкин // Вестник транспорта Поволжья. – 2022. – № 1 (91). – С. 25–33.
- 11 Курилкин, Д. Н. Определение затрат энергии на подзарядку аккумуляторной батареи по данным микропроцессорной системы управления / Д. Н. Курилкин // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2022. – Т. 19, № 1. – С. 68–74.

УДК 629.42:629.4.054

### ПРОЦЕСС ИЗНОСА ЗУБЬЕВ КОЛЕСА РЕДУКТОРА МАГИСТРАЛЬНОГО ТЕПЛОВОЗА ТИПА UZTE16M

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

*Ташкентский государственный транспортный университет, Республика Узбекистан*

Износ зубьев шестерни зависит от режима нагрузок, изменения контактного напряжения, силы трения, возникающей в кинематических парах, величины силы в зубчатой передаче, от шероховатости поверхности зубьев, скорости вращения зубчатой передачи, характера приложения рабочих и динамических сил, системы смазки коробки тяговых передач и уровня вязкости смазки.

В свете вышеизложенного данной работе исследован процесс износа зубьев колеса редуктора магистрального тепловоза типа UZTE16M. В таблице 1 приведены геометрические параметры редуктора тягового редуктора магистрального тепловоза типа UZTE16M.

Таблица 1 – Геометрические параметры тяговой передачи редуктора магистрального тепловоза типа UZTE16M

Параметры	Шестерня	Зубчатое колесо
Количество зубьев	17	75
Модуль сцепления, мм	10	
Угол сцепления, град	20	
Поправочный коэффициент	0,505	0,437
Расстояние между осями, мм	468,8	
Количество передач	4,412	

Если зубчатое колесо тяговой передачи редуктора установить по отношению к оси колесной пары с натягом, шестерню к якорю тягового двигателя также придется устанавливать с натягом [1]. Из-за того, что зубчатые колеса тяговой передачи редуктора работают в сложных условиях и под нагрузкой, случаются все виды износа и они возникают на различных уровнях. В работе, в основном, нами будет рассмотрена связь износа зубьев с расстоянием, пройденным транспортным средством. По причине того, что процесс сцепления зубчатых колес характеризуется не только внешними процессами, но ещё и контактом между зубьями, который должен быть примерно одинаковым для всех колёс, используем при этом принятое уравнение сцепления [2, 3].

Для определения уровня износа зубчатых колес тяговой передачи редуктора при помощи уравнения износа получим следующее уравнение:

$$\delta = (\delta_1 + h) \cdot 10^{\frac{t-t_1}{A}} - h, \quad (1)$$

где  $\delta$  – текущее отклонение (износ), мм;  $\delta_1$  – математическое ожидание износа после её обработки  $t_1$ ;  $h$  – коэффициент сдвига;  $t$  – время текущей обработки;  $A$  – коэффициент долговечности. Применяв приведённое уравнение для магистрального тепловоза типа УЗТЕ16М, получим следующие уравнения для зубчатого колеса и шестерни:

– для зубчатого колеса:  $\delta = (0,66 + 0,34) \cdot 10^{\frac{t-0,125}{12+16,6}} - 0,34$ ;

– для шестерни:  $\delta = (0,82 + 0,22) \cdot 10^{\frac{t-0,042}{12+11,45}} + 0,22$ .

Решив вышеуказанные уравнения при помощи пути, пройденного тепловозом, получим графики, представленные на рисунках 1 и 2.

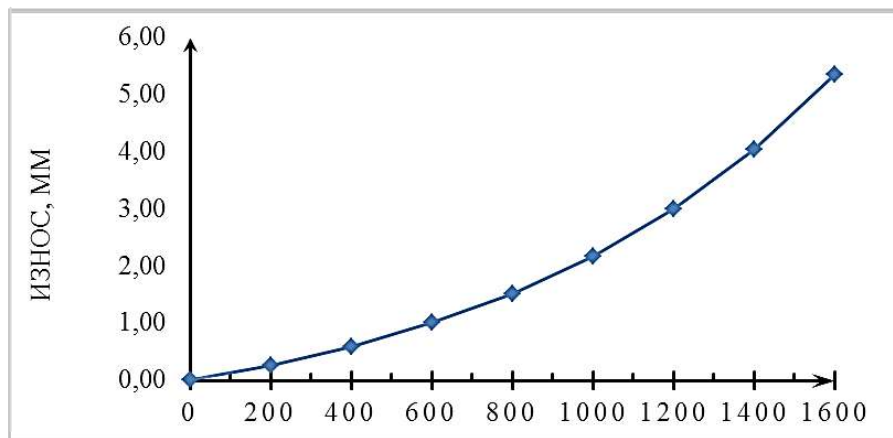


Рисунок 1 – Износ зубчатого колеса редуктора

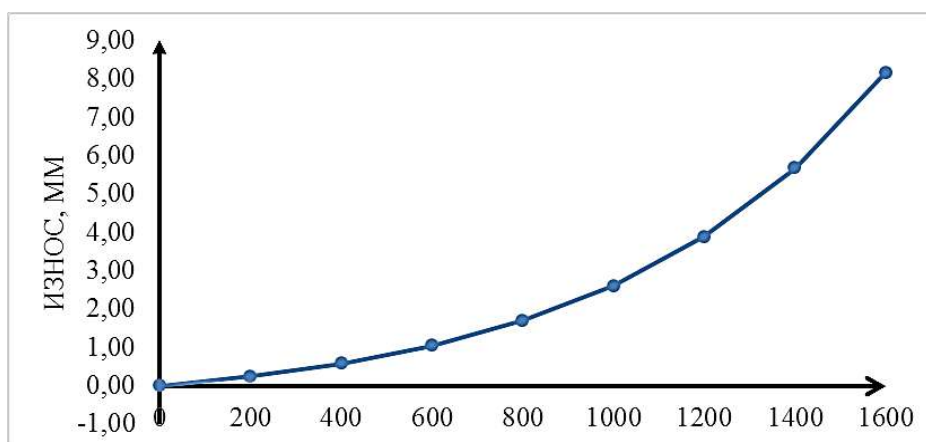


Рисунок 2 – Износ зубьев шестерни редуктора

Таким образом, темпы износа зубчатых колес тяговой передачи тепловоза прямо пропорциональны пройденному им пути и максимальное значение износа для зубчатого колеса и шестерни равно 2,2 мм.

#### Список литературы

- 1 **Механическая часть тягового подвижного состава** : учеб. для вузов ж.-д. трансп. / И. В. Бирюков [и др.] ; под ред. И. В. Бирюкова. – М. : Транспорт, 1992. – 440 с.
- 2 **Бирюков, И. В.** Тяговые передачи электроподвижного состава железных дорог / И. В. Бирюков, А. И. Беляев, Е. К. Рыбников. – М. : Транспорт, 1986. – 256 с.
- 3 **Старченко, В. Н.** Процесс изнашивания и распределений долговечности зубчатых тяговых передач тепловозов / В. Н. Старченко // Конструкция и производство транспортных машин, 1979. – № 11. – С. 79–85.

УДК 629.4:539.43

### АНАЛИЗ ПРИЧИН ОТКАЗОВ ТОРМОЗНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ЛОКОМОТИВОВ ПО УПРАВЛЕНИЮ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЛОКОМОТИВОВ АО «УЗБЕКИСТОН ТЕМИР ЙУЛЛАРИ»

*Ш. И. МАМАЕВ, Ш. Э. ТУРСУНОВ, А. С. ИБАДУЛЛАЕВ, Д. И. НИГМАТОВА*  
*Ташкентский государственный транспортный университет, Республика Узбекистан*

Сегодня в АО «Узбекистон темир йуллари» (АО «УТИ») вводятся в эксплуатацию новые железнодорожные участки. В частности, участки железной дороги Ангрэн-Пап, Ташгузар-Кумкурган-Байсун являются горными, и одна из основных задач при эксплуатации этих участков – безопасная эксплуатация тормозного оборудования подвижного состава. Поэтому целесообразно выявить факторы, которые влияют на возникновение проскальзывания между тормозной колодкой и бандажом, снижающего срок службы тормозной системы магистральных локомотивов, устранить дефекты тормозных узлов подвижного состава. Надежная работа тормозной системы железнодорожного подвижного состава и ее частей является основой обеспечения пропускной и провозной способности железных дорог, а также безопасности движения поездов [1–3]. Надежность тормозного оборудования подвижного состава играет особую роль в обеспечении безопасности движения поездов. Для повышения надежности тормозного оборудования необходимо выявить основные причины, приводящие к отказам тормозных приборов [4].

В 2018–2020 годах на участках железной дороги АО «УТИ» зарегистрировано 18780 отказов в эксплуатационной работе по причине неисправностей тормозного оборудования подвижного состава, что составляет 12,6 % от общего количества отказов.

Наибольшее количество неисправностей по причине отказов тормозного оборудования зафиксировано в Карши-Термезском РЖУ – 2895 случаев (14,75 % от общего количества отказов тормозного оборудования, зафиксированных в АО «Узбекистон темир йуллари»); в Бухарском РЖУ – 2456 случаев (12,51 %); в Ташкентском РЖУ – 1968 случаев (10,02 %).

В 2020 году наметилась общая тенденция снижения количества отказов тормозов подвижного состава по сравнению с предыдущими годами. Однако было отмечено, что количество отказов тормозно-рычажной передачи и тормозной арматуры в 2020 г. было выше, чем в 2018–2019 гг. (таблица 1).

Таблица 1 – Среднее количество отказов узлов тормозного оборудования

Тормозное оборудование	Год		
	2018	2019	2020
Ручной тормоз	60	55	45
Резервуары	132	128	123
Тормозной цилиндр	212	214	219
Автоматический режим	209	219	223
Тормозная подвеска	674	628	675
Рычажная передача	898	872	908
Тормозная арматура	1098	1201	1315
Тормозная магистраль	2805	2880	2815
Воздухораспределитель	528	5318	5765

Благодаря проводимой целенаправленной работе по улучшению качества обслуживания тормозных устройств в локомотивных депо АО «Узбекистон темир йуллари» наблюдается общий сдвиг в снижении количества отказов тормозного оборудования [5, 6].

Наибольшее количество отказов тормозного оборудования в 2018–2020 годах связано с неисправностями воздухораспределителей.

Основная часть отказов связана со сложностью конструкции воздухораспределителя и наличием большого количества конструктивных элементов, что снижает уровень их надежности.

Разработана концепция безопасности движения АО «Узбекистон темир йуллари». Меры, предусмотренные в Концепции, направлены на обеспечение безопасности (управление, люди и технологии) в АО «Узбекистон темир йуллари».

Человеческий фактор также влияет на существующую методику измерения плотности тормозной магистрали поезда, что связано с низким уровнем точности измерительных приборов и несовершенством методов определения годности тормозной магистрали.

В настоящее время плотность тормозной магистрали поезда измеряют с помощью манометров и непроверенных наручных часов машинистов. Плотность поездной тормозной сети в пути следования измеряется многократно, по этому параметру оценивается работоспособность поездного автоматического тормозного оборудования.

Исходя из вышеизложенного в локомотивных депо необходимо улучшить контроль за качеством ремонта и испытания воздухораспределителей тормозов, а на ПТО вагонов улучшить качество технического обслуживания вагонов в поездах.

#### Список литературы

- 1 **Kasimov, O. T.** Modeling the bending of the tire surface by pads during braking / O. T. Kasimov, A. T. Djanikulov, S. I. Mamayev // AIP Conference Proceedings. AIP Publishing LLC, 15 November 2021. – Vol. 2402, no. 1. – P. 070030.
- 2 **Kasimov, O. T.** Causes of rolling stock brake equipment failures / O. T. Kasimov, Sh. I. Mamaev, A. V. Grishenko // Journal of Technical science and innovation. – 2021. – No. 2. – P. 302–306.
- 3 **Балон, Л. В.** Повышение быстродействия пневматической тормозной системы грузовых локомотивов / Л. В. Балон, И. А. Яицков // Проблемы повышения надежности подвижного состава : Межвуз. сб. науч. тр. – Ростов н/Д : РГУПС, 2001. – С. 61–63.
- 4 **Касымов, О. Т.** Оценка технического состояния асинхронных тяговых электродвигателей электровозов серии «UZ-EL» средствами вибродиагностики / О. Т. Касымов, О. Р. Хамидов // ГНИИ «Нацразвитие» : материалы конф., 27–30 сентября, 2017. – С. 13–19.
- 5 **Файзибаев, Ш. С.** Моделирование сдвига поверхностного слоя бандажа колесной пары локомотива в зонах контакта с чугунными тормозными колодками / Ш. С. Файзибаев, О. Т. Касимов // Universum: технические науки. – Международный центр науки и образования, 2020. – № 10–2 (79). – С. 6–9.
- 6 **Баллон, Л. В.** Оценка эффективности пневматического тормоза электровоза ДЭ1 / Л. В. Баллон, И. А. Яицков // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2002. – № 2. – С. 28–31.

УДК 621.333

### АНАЛИЗ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ДВИГАТЕЛЕЙ ЛОКОМОТИВОВ ОА «УЗБЕКИСТОН ТЕМИР ЙУЛЛАРИ»

*Ш. И. МАМАЕВ, Ш. Э. ТУРСУНОВ, А. С. ИБАДУЛЛАЕВ, Д. И. НИГМАТОВА*  
*Ташкентский государственный транспортный университет, Республика Узбекистан*

Большинство отказов тяговых электрических двигателей (ТЭД) локомотивов связано с возникновением недопустимых статических или периодически меняющихся динамических нагрузок, приводящих к усталостному разрушению элементов ТЭД. При этом наиболее характерными отказами ТЭД являются: разрушение межкатушечных соединений, выход из строя главных полюсов, механические повреждения изоляции обмоток, излом соединительных болтов, повреждения моторно-осевого подшипника, пальцев щеткодержателей или поворотной траверсы [1–4].

По данным подразделений статистики Ташкентского тепловозоремонтного завода и управления статистики АО «Узбекистон темир йуллари», АО «YO'LREFTRANS», на территории Узбекистана основными причинами преждевременного выхода из строя колёсно-моторного блока тепловозов

являются: неудовлетворительный уход за локомотивами со стороны локомотивных бригад, недостаточный уровень практической подготовленности к оперативному выявлению и устранению неисправностей и нарушение режимов управления локомотивами, заводской брак оборудования, низкое качество капитального ремонта, однако наибольший процент причин приходится на несовершенные методы диагностирования.

По данным Управления эксплуатации локомотивов АО «Узбекистон темир йуллари», наибольшее число отказов по локомотивным депо приходится на тяговый электрический двигатель тепловозов (рисунок 1). В таблице 1 указаны причины неисправностей локомотивов по годам АО «Узбекистон темир йуллари».

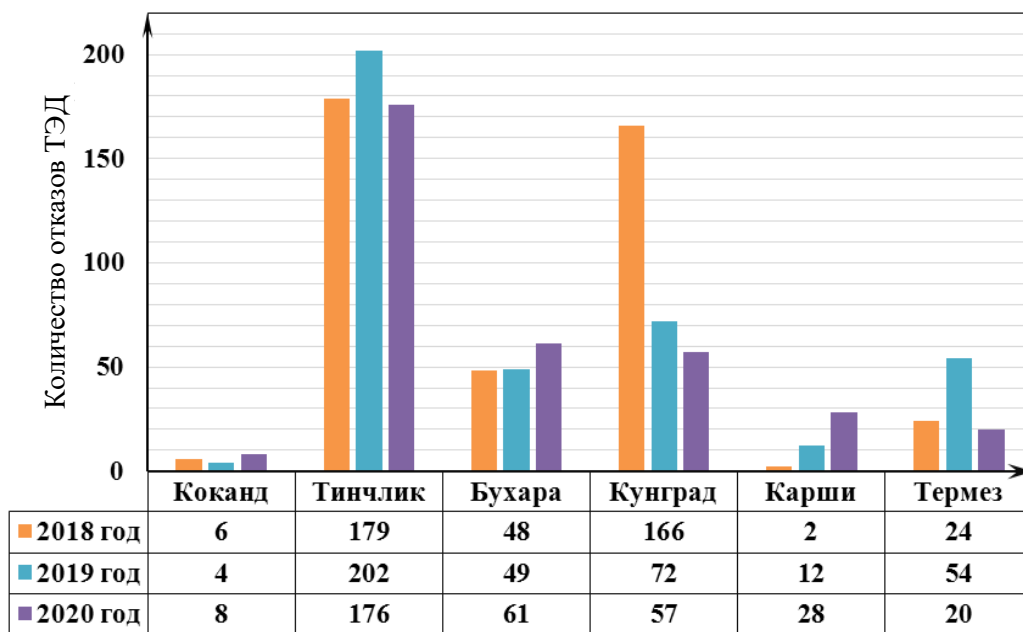


Рисунок 1 – Распределение неисправностей тяговых электродвигателей тепловозов по годам и локомотивным депо ОА «Узбекистон темир йуллари»

Часто меняющаяся нагрузка с мгновенными толчками в период пуска и торможения, ударная нагрузка при выходе движущей колесной пары из состояния буксования, динамические воздействия от неровностей пути, значительные перегрузки в период выхода из строя одного из тяговых двигателей создают особенно тяжелые условия для работы вала якоря.

Таблица 1 – Причины обнаруженных неисправностей узлов локомотивов

Причина	Год		
	2018	2019	2020
1 Мотор-компрессор	3	1	–
2 ТЭД НБ-412, 514, 418, ЭД118	21	15	8
3 Неисправности дизеля	7	12	7
4 Мотор вентилятор АЭ-92, АП-82	3	3	4
5 Воздушные компрессоры КТ-6, КТ-7	3	8	2
6 Фазорасщепитель	3	2	3
7 Вкладыш МОП	1	2	–
8 Трещины рамы тележки ВЛ60к	–	2	–
9 Неисправности электрической схемы	2	9	–
10 Главный генератор ГП-311, ГП-300	2	–	1
11 Стояночный и вспомогательный тормоз электровоза	2	–	1
Трансформатор ОДЦЭ	–	–	1
12 Шестерня ТЭД	3	1	–
<b>Всего</b>	<b>50</b>	<b>55</b>	<b>27</b>

Неравномерность токораспределения усиливается из-за большого коэффициента динамики во всём диапазоне рабочих частот кинематической системы щеткодержателей при воздействии на них внешних вибраций, природа которых зависит от характеристики подвижного способа подвешивания тягового двигателя на локомотиве, что подтверждается параметрами амплитудно-частотных характеристик кинематических систем щеткодержателей тяговых электрических двигателей ЭД-118Б(А). У двигателя ЭД-118Б(А) в диапазоне частот от 10 до 100 Гц коэффициент динамики не превышает 4, а максимум равен 14 на частоте 165 Гц.

Из-за действия вибрационных нагрузок в эксплуатации остается высокой повреждаемость щеточно-коллекторного узла ТЭД по причине кругового огня и подгаров, подплавления коллекторных пластин, повреждений щеткодержателей и кронштейнов.

Исходя из вышеизложенного на локомотивных депо необходимо усилить контроль за качеством ремонта и испытания щеточно-коллекторного узла электрических машин тепловозов.

#### Список литературы

- 1 Глущенко, А. Д. Динамика тяговых электродвигателей электровозов / А. Д. Глущенко, В. И. Юшко. – Ташкент : Фан, 1980. – 168 с.
- 2 Динамика локомотивов : учеб. пособие / М. А. Ибрагимов [и др.]. – М. : РГОТУПС, 2005. – 128 с.
- 3 Djanikulov, A. T. Modeling of rotational oscillations in a diesel locomotive wheel-motor block / A. T. Djanikulov, S. I. Mamayev, O. T. Kasimov // Journal of Physics : Conference Series. – Vol. 1889, no. 2. – P. 022017.
- 4 Simon, I. Handbook of Railway Vehicle Dynamics / I. Simon. – Taylor & Francis Group, 2006. – 527 p.

УДК 621.3.56

### ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ДЕТАЛЕЙ ПО ЖЕЛЕЗНЫМ ДОРОГАМ

*Г. Б. МИРАДУЛЛАЕВА, У. А. ЗИЯМУХАМЕДОВА, Э. Т. ТУРГУНАЛИЕВ, Ж. Х. НАФАСОВ*  
*Ташкентский государственный транспортный университет, Республика Узбекистан*

В настоящее время много фундаментальных и прикладных работ посвящено защите механических поверхностей деталей поездов. Основной проблемой является агрессивная среда, в которой работают детали машин. Эта проблема обычно решается использованием цветных металлов и нержавеющей сталей вместо обычных конструкционных [1]. Для крупногабаритных конфигурационных деталей это очень дорого и не окупает расходы. А известные на сегодняшний день специальные покрытия зарубежного производства достаточно волютоёмкие и не оправдывают эксплуатационные расходы на технологическое оборудование местного производства.

Реологические свойства, зависящие от технологических свойств, – это деформационные свойства расплавов полимерных материалов и характер их течения под воздействием внешних сил, т. е. когда в расплавах развиваются большие необратимые деформации. При приложении внешних сил возникает течение, основная особенность которого заключается в том, что одновременно развиваются три вида деформации: мгновенная упругая, высокоэластическая (запаздывающая упругая) и пластическая (необратимая). При течении расплавов полимеров возникают эффекты Вайссенберга, Барруса и эластическая турбулентность.

Реология – ключевой метод получения характеристик для разработки материалов с желаемыми физическими свойствами и управления производственным процессом с целью обеспечения надлежащего качества продукции.

К эксплуатационным (конструкционным) свойствам материала, определяющим качество изделий, относятся физико-механические (прочностные, теплофизические, электрические, антифрикционные) и другие свойства. Кроме ГОСТов и ТУ на полимерные материалы в настоящее время имеется достаточное количество справочной литературы по оценке их свойств. [2].

При использовании реологии как структурного соотношения «реология – полимер» в работе [3] предложено применять реологию в качестве идеального инструмента для проектирования материалов с конкретными параметрами обработки и конечного использования (рисунок 1). Реология расплава обеспечивает прямую информацию о технологичности обработки, а реология твердой фазы и фазы расплава может быть связана с характеристиками конечного продукта. Кроме того, вследствие вязкоупругого

характера расплава, который может привести к желательной и нежелательной анизотропии во время процесса, параметры конечного продукта также зависят от того, как обрабатывается материал.



Рисунок 1 – Диаграмма применения реологии для коррелирования характеристик конечного использования и технологической обработки полимеров [3]

Реологические свойства расплавов наполненных полимеров имеют очень важное значение при выборе оптимальных условий переработки. Вязкость расплавов, а также температура текучести полимеров сильно зависят от концентрации наполнителя и формы его частиц. При этом, если в расплаве формируется структура, образованная частицами наполнителя, то реологические свойства определяются в значительной мере этой структурой. Собственные реологические свойства полимерной среды также играют первостепенную роль и по-разному сказываются на реологическом поведении системы, составленной из различных наполнителей [4].

На основании теоретических представлений о корреляции между параметрами вязкого течения и упругости твердого тела предполагается, что вязкость жидкости, содержащей наполнитель, и модуль упругости при сдвиге твердого тела, содержащего аналогичным образом распределенный наполнитель, связаны с соответствующими величинами для полимерной матрицы. Для описания вязкости наполненных систем может быть использовано уравнение Кернера, дающее отношение модулей упругости при сдвиге в наполненной и ненаполненной системах и позволяющее найти соответствующие уравнения для  $G/G_0$ :

$$\eta / \eta_0 = G / G_0. \quad (1)$$

Экспериментальные исследования, проведенные для частиц наполнителя различной формы, позволили установить условия, при которых возможно соблюдение уравнения (1). Это было сделано на примере термопластов, свойства которых легко можно изучать как в жидком, так и в твердом состоянии. Уравнение (1) оказывается применимым при соблюдении следующих условий. Вязкость должна измеряться в отсутствие заметной анизотропии полимерного расплава, т. е. в условиях стационарного течения при напряжениях сдвига ниже 104 Па, когда течение является ньютоновским. Для несферических частиц вязкость должна измеряться только в той области концентраций, при которой не возникают структуры, образованные частицами наполнителя. Наконец, размер частиц должен превышать 1 мкм, чтобы площадь поверхности частиц была не столь велика, чтобы значительное количество полимера было связано с ней адсорбционными силами.

Относительное возрастание объемной доли наполнителя в растворе полимера может быть использовано для определения толщины адсорбционного слоя, если с помощью того или иного уравнения, связывающего вязкость суспензии с вязкостью дисперсионной среды, определить кажущийся объем дисперсной фазы. Разность между действительным и кажущимся объемом частиц дает эффективный объем адсорбированного слоя, из которого может быть вычислена его средняя толщина.

Из рассмотренных выше результатов следует, что свойства композиционных материалов на основе гетерокомпонитных систем зависят от свойства составляющих компонентов и реологических параметров смесей полимеров, влияющих на структурообразование. При этом на формирующуюся в процессе полимеризации структуру гетерокомпонитной системы оказывают большое влияние различные наполнители, которые по-разному воздействуют на её реологическое поведение и содержание модифицирующих компонентов.

## Список литературы

1 Development of The Composition of a Composite Material Based On Thermoreactive Binder Ed-20 / U. Ziyamukhamedova [et al.] // Chemistry And Chemical Engineering. – 2021. – No. 3. – P. 6.

2 **Ziyamuxamedova, U. A.** Study of the phase composition of products of mechanochemical interaction in Ta+C systems / U. A. Ziyamuxamedova, G. B. Miradullaeva, J. H. Nafasov // Innovative Technologica : Methodical Research Journal. – 2022. – Vol. 3, no. 06. – P. 61–67.

3 **Ziyamuxamedova, U. A.** Evaluation of the efficiency and operability of parts and assemblies made of engineering heterocomposite polymer materials / U. A. Ziyamuxamedova, G. B. Miradullaeva, J. H. Nafasov // Web of Scientist : International Scientific Research Journal. – 2022. – Vol. 3, no. 6. – P. 1328–1334.

4 Исследование причин образования трещины в одной из половин стеклоформы после её окончательного изготовления / О. Т. Тоиров [и др.] // Scientific progress. – 2022. – Vol. 3, no. 2. – P. 1485–1487.

УДК 621.8

## РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ НА СТЕНД ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ ШУРУПОВЕРТА ШВ-2М

*В. Л. МОИСЕЕНКО, К. В. МАКСИМЧИК, Д. С. ПУПАЧЁВ*  
*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Железнодорожный путь представляет собой комплекс инженерных сооружений и устройств, расположенных в полосе отвода и предназначенных для осуществления движения поездов [1]. Надежность пути во многом зависит от качества прикрепления рельсов к подкладкам и шпалам, а также от степени затяжки болтов в рельсовых стыках. Эти операции при текущем содержании пути по трудоемкости составляют до 8 %, а при капитальном ремонте – до 3,5 % общего объема работ [2].

Для упомянутых операций применяют различные путевые шурупверты. В частности, на предприятиях Белорусской железной дороги популярным является шурупверт типа ШВ-2М, который предназначен для заворачивания и отворачивания путевых шурупов, гаек клеммных и закладных болтов и сверления отверстий в шпалах. Он относится к механизмам непрерывного действия и используется при текущем содержании пути, всех видах ремонта и строительстве железных дорог.

Шурупверт ШВ-2М (рисунок 1) состоит из следующих основных узлов: электродвигателя 4, редуктора 8, трехколесной тележки 9 с роликами 15, рычажного переключателя скоростей 3, электропереключателя 2 и кабеля с кабельной вилкой 5. Параллелограммная подвеска мотор-редуктора, которая состоит из двух верхних, одной нижней тяг и уравнивающей пружины 12 с предохранительным тросиком внутри, позволяет регулировать вертикальное положение шпинделей 7. Это достигается благодаря регулированию раздвигающейся нижней тяги 13 при помощи болта и контргайки у стойки 14 тележки.

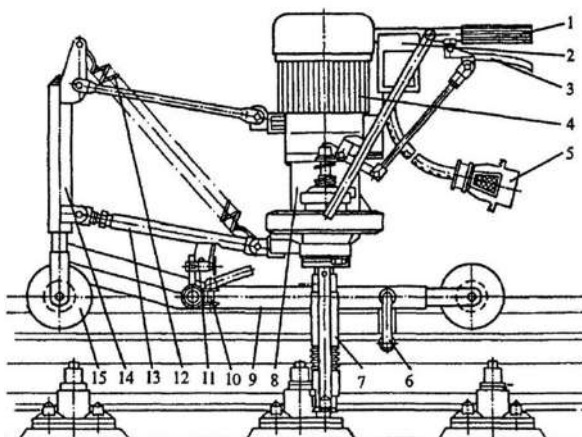


Рисунок 1 – Схема шурупверта ШВ-2М:  
1 – рукоятка; 2 – электропереключатель; 3 – рычаг;  
4 – электродвигатель; 5 – кабельная вилка с кабелем;  
6 – предохранительный захват; 7 – шпindelь; 8 – редуктор;  
9 – трехколесная тележка; 10 – винт зажима оси; 11 – фиксатор;  
12 – уравнивающая пружина; 13 – параллелограммная подвеска;  
14 – стойка-колонка; 15 – двухребордные ролики

Со стороны мотор-редуктора рама тележки опирается на головку рельсов двумя двухребордными роликами 15, а с противоположной – одним гладким роликом с изоляционными втулками и имеет откидной предохранительный ролик, позволяющий поворачивать мотор-редуктор на 180° и обеспечивающий безотказность работы.



Мотор-редуктор состоит из электродвигателя, планетарного и основного цилиндрических редукторов. Применение планетарного редуктора позволило уменьшить габариты и массу основного редуктора и одновременно увеличить величину крутящего момента, развиваемого инструментом. Солнечная шестерня планетарного редуктора выполнена заодно с валом электродвигателя. Находящиеся с ней в зацеплении два сателлита свободно насажены на осях вала-водила основного редуктора. Зубчатый венец планетарного редуктора неподвижно соединен с корпусом электродвигателя. Вал-водило так же, как и два других вала, укреплен в разъемном корпусе редуктора на шарикоподшипниках.

Переключение скоростей производится вручную при помощи рычага 3. Помимо своих основных функций, путевой шурупверт можно использовать как сверлильный станок. Для регулировки крутящего момента на шпинделе редуктора имеется предохранительная муфта, при помощи которой регулируется крутящий момент. На рукоятке тележки размещен переключатель для включения и реверсирования электродвигателя.

С целью выявления скрытых конструктивных недостатков, а также для проведения приемо-сдаточных испытаний после ремонта или планового обслуживания шурупверта ШВ-2М сотрудниками кафедры «Транспортно-технологические машины и оборудование» Белорусского государственного университета транспорта разработан специальный испытательный стенд. Он предназначен для проверки работоспособности инструмента.

Конструктивно стенд представляет собой устройство, состоящее из рамы, со смонтированными на ней металлоконструкциями рамного типа, установленным барабаном и прижимающими его колодками (рисунок 2).

На раме 1 установлен барабан 5, который прижимается колодками 3 посредством затяжки гаек на стержне 4. Колодки 3 прикреплены штифтами к трубам квадратного сечения (ГОСТ 30245). Трубы, в свою очередь, также штифтами устанавливаются в два швеллера (ГОСТ 8278), при этом одна труба для дополнительной устойчивости установлена на трубу круглого сечения (ГОСТ 10704). Швеллеры приварены к упорной пластине. Таким образом, устойчивость основной конструкции соблюдается.

Стенд является мобильным, его можно демонтировать и перенести при помощи ручек 2.

Перед установкой шурупверта на стенд барабан 5 прижимают колодками 3 посредством затяжки гаек на необходимый минимальный момент, который контролируют ключом моментным или иным устройством. После регулировки испытуемый шурупверт закрепляют посредством запорных устройств, при этом рабочий наконечник шурупверта насаживают на шестигранник, установленный на барабане 5. Испытания начинают после проверки крепления шурупверта и считают состоявшимися, если момент срабатывания испытуемым шурупвертом достигнут.

Характеристики стенда приведены в таблице 1.

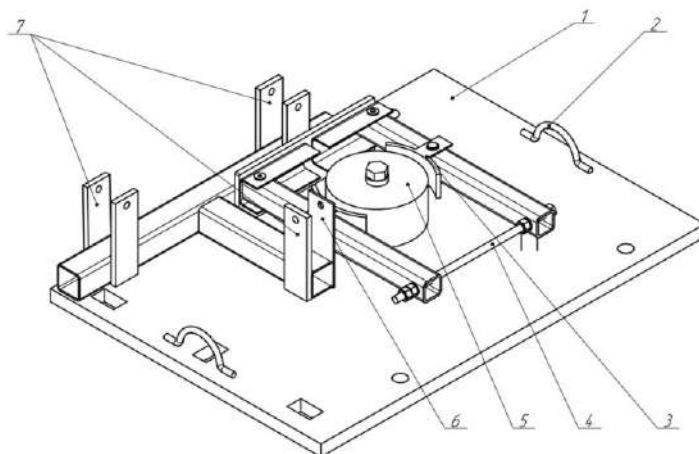


Рисунок 2 – Схема испытательного стенда:  
1 – рама; 2 – ручка; 3 – колодка; 4 – стяжной стержень;  
5 – барабан; 6, 7 – крепежные пластины

Таблица 1 – Технические характеристики стенда

Параметр	Показатель
Габаритные размеры, не более, мм:	
длина	850
высота	185
ширина	600
Масса, не более, кг	130
Минимальный крутящий момент (при испытании завинчивания), Н·м	120
Максимальный крутящий момент (при испытании завинчивания), Н·м	300
Минимальный крутящий момент (при испытании отвинчивания), Н·м	700
Максимальная мощность, приходящаяся на барабан, кВт	1,5

Таким образом, проверка шуруповерта на стенде позволяет одновременно оценить несколько параметров, которые влияют на объект исследования. В реальных условиях такое тестирование провести практически невозможно без влияния на безопасность движения поездов. При помощи стенда определяют нарушения работы агрегата либо его полное соответствие требуемым параметрам. Такой подход позволяет своевременно выявить и устранить конструктивные недочеты.

#### Список литературы

1 Текущее содержание железнодорожного пути. Технические требования и организация работ : СТП 09150.56.010-2005. – Введ. 29.06.2006, приказ № 221Н. – Изм. 03.06.2020, приказ № 190Н. – Минск : Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2006. – 145 с.

2 Путьевые машины : учеб. для вузов ж.-д. трансп. / С. А. Соломонов [и др.] ; под ред. С. А. Соломонова. – М. : Желдориздат, 2000. – 756 с.

УДК 656.2

### АКТУАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

*Д. В. НАУМОВ, Е. А. ТАРАСЕНКО, М. А. ПОЛТОРАК*

*Оренбургский институт путей сообщения – филиал Самарского государственного университета  
путей сообщения, Российская Федерация*

На современном этапе бесперебойное функционирование железнодорожного транспорта находится в исключительной прерогативе национальных экономических интересов России. В этой связи стратегическую роль приобретают задачи по изысканию интенсификационных резервов по повышению эффективности использования подвижного состава железных дорог.

Благодаря планомерной закупке новой техники за последние 10 лет уровень износа локомотивного парка снизился с 78 до 59 %. По этому показателю ОАО «Российские железные дороги» не только не уступает, но и превосходит многие зарубежные компании. Однако рост технической оснащенности и повышение интенсивности использования локомотивного парка ведут к увеличению объемов работ по ремонту и техническому обслуживанию. В свою очередь высокопроизводительное использование локомотивного парка находится в прямой зависимости от состояния системы сервисного обслуживания. Известно, что качество отремонтированных локомотивов и их послеремонтный ресурс в полной мере отражают степень организации ремонтного производства и уровень технико-экономического развития. До недавнего времени при планировании ремонтных работ основными ориентирами являлись количественные и качественные показатели. Теперь же всё большую актуальность приобретает значительное усиление влияния показателей, учитывающих качество проведения ремонта и надежность каждой отремонтированной единицы [1].

Складывающаяся в последнее время непростая ситуация, связанная с нарушением логистических цепочек материально-технического оснащения производственной базы сервисных локомотивных депо, влечет за собой естественное удорожание стоимости запасных частей и ремонтного оборудования. В данном случае обеспечение качественного ремонта требует дополнительных затрат труда и средств, что, как следствие, вызывает снижение экономических показателей деятельности предприятия. Поэтому сервисные предприятия идут на улучшение качества ремонта преимущественно в тех случаях, когда это не ухудшает их основные оценочные показатели. При этом важно не только восстановить ключевые характеристики, реализующие работоспособность локомотива, но и обеспечить способность их сохранения в процессе работы без изменения в рамках назначенной наработки [2, 3]. Тогда о качестве проведенного обслуживания или ремонта вполне объективно можно судить по количеству отказов в первый статистический период пробега от 0 до 1 тыс. км. Анализ статистики технического состояния тепловозного парка за 2021 год в сервисном локомотивном депо Оренбургское позволил установить, что при совокупном количестве отказов за год в 409 единиц на пробег до 1 тыс. км приходится 32,3 % отказов, при этом наибольшее количество отказов происходило после проведения ТО-3 (рисунок 1).

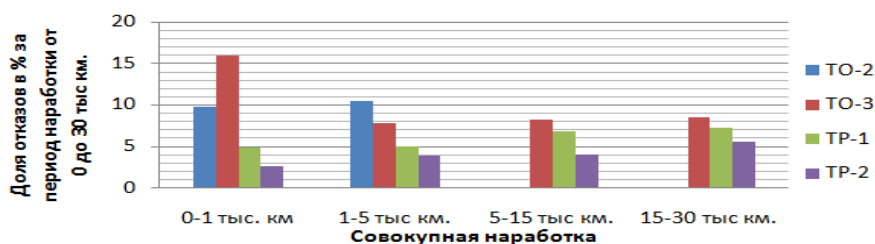


Рисунок 1 – Доля отказов по пробегам после проведенного обслуживания и ремонта

Таким образом, материалы обследований актуализируют необходимость к изысканию методов и средств решения важной и актуальной задачи – повышения качества содержания и ремонта локомотивов.

С целью определения области максимального риска по оборудованию, допустившему отказы технических средств, была построена диаграмма Парето (рисунок 2).

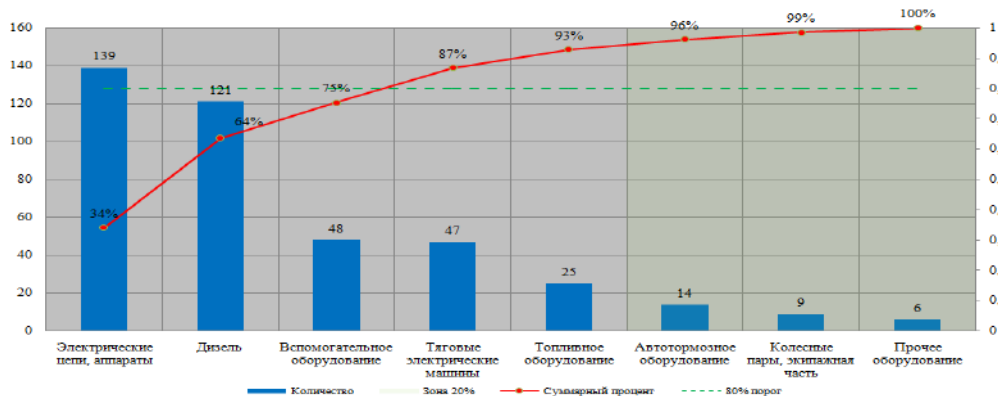


Рисунок 2 – Распределение отказов по оборудованию

Из построенной диаграммы видно, что генерирующими факторами  $\approx 80\%$  отказов в работе узлов являются неисправности электрических цепей, аппаратов (139 случаев, или 34 %); дизеля (121 случаев или 30 %); вспомогательного оборудования (48 случаев, или 12 %); тяговых электрических машин (47 случая, или 12 %).

Детальный анализ причин возникновения неисправностей в электрической проводке позволил выявить 13 случаев, обусловленных нарушением выполнения полного комплекса работ при пайке проводов, при этом 11 случаев обусловлены невыполнением полного комплекса работ при проведении ТО-3 и ТР-1. Отказы дизельной установки в 8 случаях произошли по причине образования трещины в цилиндровой втулке, что было вызвано нарушением норм протяжки. Неисправности трубопроводов вспомогательного оборудования в 15 случаях были допущены по причине течи воды из-за образования трещины вследствие отсутствия установки крепящих скоб, что привело к вибрации и последующему его излому. Основные неисправности тяговых электродвигателей допущены по причине низкого сопротивления изоляции, при этом 19 случаев обусловлены низким качеством проведения цикловых работ, а именно некачественной обработкой магнитной системы при проведении технических обслуживаний и ремонтов.

Вышеуказанные причины можно классифицировать как недостаточность исполнительской дисциплины работников.

В качестве корректирующих мероприятий в сервисном локомотивном депо Оренбургское активно применяются различные формы мер, в том числе и организационные. В частности, активно разрабатываются и применяются чек-листы, необходимые для проверки работ, а с работниками проводятся практические технические занятия по устранению основных неисправностей. Данные меры в определенной степени обеспечивают повышение качества проведения цикловых работ, однако эффективность локомотивного парка, его надежность и улучшение технического состояния невозможно обеспечить без достижения высокого культурно-технического уровня работников депо.

В этой связи требуется комплексный подход в реализации прогрессивных методов работы по развитию культурно-технического уровня работников депо, при которых будет обеспечен их мотивационный интерес к самоповышению профессионально-технической подготовки, основанный на расширении профессионального кругозора и мастерства, углублении знаний в области современного производства и желании осваивать новейшую технику и технологические процессы.

#### Список литературы

1 **Андрончев, И. К.** Проблемы повышения надежности подвижного состава железных дорог / И. К. Андрончев, А. А. Булатов, О. Г. Булатова // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2011. – Т. 13, № 4–3. – С. 663–666.

2 **Тарасенко, Е. А.** Порядок материально-технического снабжения предприятий ОАО «Российские железные дороги» / Е. А. Тарасенко, Д. А. Карх // Логистика: форсайт-исследования, профессия, практика : материалы II Нац. науч.-обр. конф. (Санкт-Петербург, 21 октября 2021 г.) – СПб. : Санкт-Петербургский государственный экономический университет, 2021. – С. 259–264.

3 **Розов, А. Д.** Совершенствование управления качеством ремонта подвижного состава железнодорожного транспорта / А. Д. Розов // Современное состояние, проблемы и перспективы развития отраслевой науки : материалы Всерос. конф. с междунар. участием (Москва, 23–24 ноября 2017 г.). – М. : Перо, 2017. – С. 414–416.

УДК 629.4

### ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ПОРШНЕЙ ДИЗЕЛЯ K6S310DR

*Л. В. ОГОРОДНИКОВ, Г. Е. БРИЛЬКОВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Надежность тягового подвижного состава, определяемая совершенством его конструкции и технологией изготовления, в процессе эксплуатации постепенно снижается вследствие изнашивания трущихся деталей, коррозии, усталости металла, старения материалов и других вредных процессов. Они вызывают повреждения, устранение которых становится необходимым для обеспечения безотказной работы тепловоза.

Важнейшей частью любого тепловоза является его первичный двигатель – дизель, работающий в эксплуатации на переменных режимах от полной мощности (номинальной мощности) до холостого хода. При этом дизель должен обладать высокой экономичностью, надежностью и высокой степенью ремонтпригодности. Одним из основных узлов дизеля, определяющим долговечность, надежность и безаварийность его работы, является цилиндро-поршневая группа.

Надежность работы узлов (деталей) цилиндро-поршневой группы современных дизелей тепловозов определяется величинами механической и тепловой напряженности. По мере повышения цилиндрической мощности дизелей тепловая напряженность стенок деталей, и особенно поршней, возрастает. Поэтому для прогнозирования достаточного запаса прочности появляется необходимость в тщательном расчете напряженного состояния деталей цилиндро-поршневой группы дизелей [1].

На настоящий момент основным тепловозом маневрового парка Белорусской железной дороги является тепловоз серии ЧМЭЗ, оборудованный дизелем K6S310DR. Дизель K6S310DR совместно с тяговым генератором постоянного тока образует силовую установку тепловоза. Дизель – шестицилиндровый, четырехтактный, с вертикальным расположением цилиндров, водяным охлаждением и наддувом. Номинальная мощность 993 кВт при частоте вращения коленчатого вала 750 об/мин [2].

Согласно статистическим данным в процессе эксплуатации тепловозного дизеля K6S310DR, одной из основных проблем является возникновение неисправностей поршней, связанных с появлением «задилов» на их поверхности. Для определения характера и причин появления «задилов», зон наиболее вероятного их появления предлагается использовать средства CAD/CAE-моделирования для построения 3D CAD-моделей деталей цилиндро-поршневой группы и решения этой многофакторной задачи.

На первом этапе исследования предлагается разработка трехмерных твердотельных моделей деталей цилиндро-поршневой группы дизеля K6S310DR с использованием рабочих чертежей цилиндрической втулки и поршня. Для обеспечения максимальной точности и адекватности моделей проектирование велось параллельно с использованием CAD/CAE-систем проектирования SolidWorks / COSMOS и

Autodesk Inventor. Модели деталей и изделий, создаваемые в среде этих систем, представляют собой их точные трехмерные электронные макеты, позволяющие всесторонне изучать поведение изделий ещё в процессе их разработки: анализировать геометрию, получать фотореалистичные изображения, проводить инженерные расчеты и исследования данных объектов. На рисунке 1, *а* показаны трехмерные твердотельные модели деталей цилиндро-поршневой группы дизеля K6S310DR.

Дальнейшие исследования сборочной 3D-модели можно проводить в системе SolidWorks Simulation. В данной системе сетка создается автоматическим построителем, и для твердых тел используются конечные элементы – тетраэдры черного качества или параболические тетраэдры высокого качества. Использование такого рода элементов позволяет повысить точность, но усложняет дальнейший расчет.

С использованием программных комплексов SolidWorks / CosmosWorks были проведены начальные расчетные исследования методом конечных элементов (МКЭ), причем деформации от теплового нагружения определялись на режиме номинальной мощности, а силовые деформации – на режиме максимального момента при максимальном давлении в цилиндре, то есть при давлении в цилиндре  $p_z$ , равном 9,7 МПа, и максимальной температуре  $T_z$ , равной 680 °С [3]. На рисунке 1, *б* представлен макет нагружения модели поршня.



Рисунок 1 – Трехмерные твердотельные модели деталей (*а*) и макет нагружения модели поршня (*б*) дизеля K6S310DR

В результате проведенных расчетных исследований получили картину термонапряженного состояния поршня с учетом приложения температурных и силовых нагрузок, представленную на рисунке 2. В результате расчета созданы конечно-элементная модель поршня и других деталей цилиндро-поршневой группы дизеля K6S310DR. С использованием модели проведены исследования и определены максимальные деформации как определяющих для деталей цилиндро-поршневой группы, так и картины возникающих напряжений и перемещений при их совместной работе.

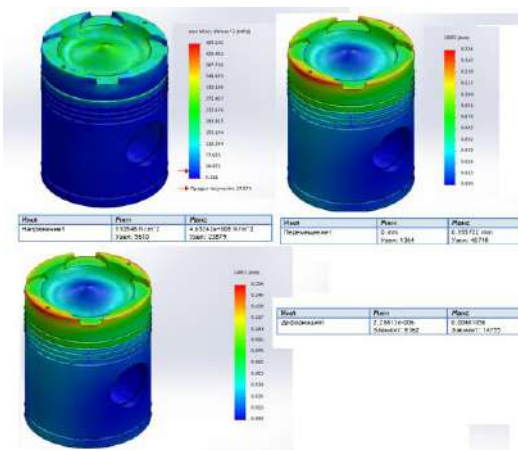


Рисунок 2 – Результаты исследования термонапряженного состояния поршня

Анализ полученных данных позволил определить наиболее вероятные зоны возникновения «задигов» на поверхности поршня, установить их причины и наметить пути устранения, что позволит улучшить эксплуатационную надежность сборочной единицы.

## Список литературы

- 1 **Насыров, Р. А.** Повышение надежности работы поршней тепловозных дизелей / Р. А. Насыров. – М. : Транспорт, 1977. – 216 с.
- 2 **Нотик, З. Х.** Тепловозы ЧМЭЗ, ЧМЭЗТ, ЧМЭЗЭ: Пособие машинисту / З. Х. Нотик. – 2-е изд. перераб. и доп. – М. : Транспорт, 1996. – 444 с.
- 3 **Алямовский, А. А.** SolidWorks / CosmosWorks. Инженерный анализ методом конечных элементов / А. А. Алямовский. – М. : ДМК Пресс, 2004. – 432 с.

УДК 629.4.023.14.017

## РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ КУЗОВА ВАГОНА И РАМЫ ТЕЛЕЖКИ ДИЗЕЛЬ-ПОЕЗДА СЕРИИ ДРБ1

*Л. В. ОГОРОДНИКОВ, Д. П. РУСОВ, И. С. ЕРЕМЕЙЧИК*  
*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Перевозка пассажиров в пригородном движении на неэлектрифицированных линиях осуществляется главным образом дизель-поездами, в частности серии ДРБ. Состав дизель-поезда формируется из головных с кабиной управления и прицепных вагонов, при этом прицепные в составе могут отсутствовать. Головные вагоны не имеют силовых установок. В настоящее время в эксплуатации на Белорусской железной дороге находится 105 вагонов дизель-поездов типа ДРБ1, из которых 83 прицепных и 22 головных. Дизель-поезда приписаны к локомотивным депо Орша и Могилев. Среднегодовой пробег вагонов – около 100 тыс. км.

Назначенный срок службы вагонов дизель-поезда типа ДРБ1 составляет 20 лет, и к настоящему времени проведены работы по обоснованию возможности продления срока службы до 35 лет. Около 10 % вагонов введены в эксплуатацию более 50 лет назад, а около 65 % в ближайшее время подойдут к сроку эксплуатации в 35 лет. Поэтому требуется либо замена имеющегося парка вагонов на новые, либо обоснование возможности дальнейшей безопасной эксплуатации, которое особо актуально в связи с невозможностью единовременного омоложения существующего парка. Практика эксплуатации и ремонта вагонов дизель-поезда ДРБ1 показала отсутствие существенных отказов по несущим конструкциям, что стало основанием предположить наличие в них остаточного ресурса.

Для определения остаточного ресурса необходимо произвести комплекс мероприятий, одним из которых является расчет на прочность кузова вагона и рамы тележки. Для этого были разработаны конечно-элементные модели несущих конструкций [1]. Данная работа является подготовительным этапом для проведения серий прочностных расчетов, после нагружения расчетной модели конструкций. Это позволит определить наиболее напряженные элементы металлоконструкции вагонов дизель-поездов, в зависимости от режимов эксплуатации для составления схемы наклейки тензометрических датчиков при подготовке вагонов к натурным испытаниям и проведении испытаний согласно технической документации.

Оценка прочности в соответствии с ГОСТ 33796 [2] производилась по эквивалентным напряжениям. Эквивалентные напряжения, возникающие в конструкции кузова вагона и раме тележки устанавливаются при I, II, III и IV расчетных режимах нагружения. Сочетания сил, действующих на кузов вагона дизель-поезда, представлены в таблице 1.

*Таблица 1 – Сочетания сил при расчетных режимах нагружения кузова*

Расчетные силы	Сочетание сил для расчетного режима				
	I(a)	I(б)	II(a)	III	IV
Силы тяжести	пп. 2.2, 2.3				п. 2.3
Вертикальные динамические силы при движении	–	–	п. 2.4	п. 2.4	–
Продольные силы на упорах сцепных устройств	п. 2.5	п. 2.5	–	–	–
Продольные силы инерции	–	п. 2.6	–	–	–
Центробежная сила	–	–	п. 2.7	–	–

Режим I включает режимы I(a) и I(б): режим I(a) учитывает действие максимальных продольных квазистатических сил в конструкции; режим I(б) учитывает действие максимальных продольных ударных сил.

Режим II включает режимы II(а), II(б) и II(в): режим II(а) учитывает силы, действующие при движении в кривых участках пути с максимальным разрешенным непогашенным ускорением. Максимальное разрешенное непогашенное ускорение задают в технических требованиях на МВПС применительно к особенностям полигона эксплуатации; режим II(б) учитывает силы, действующие при трогании; режим II(в) учитывает силы, действующие при экстренном торможении.

Для режима III, учитывающего действие статических и динамических сил, оценку прочности выполняют как по допускаемым напряжениям, так и на сопротивление усталости. Режим III учитывает силы, действующие при движении с различными скоростями вплоть до конструкционной по прямому участку пути.

Режим IV учитывает силы, обусловленные технологией ремонта и производством аварийно-восстановительных работ, включает режимы IV(а) и IV(б): режим IV(а) – подъем кузова на трех домкратах; режим IV(б) – подъем вагона за узел сцепного устройства.

Сочетания сил, действующих на раму тележки дизель-поезда в соответствии с расчетными режимами, представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Сочетания сил при расчетных режимах рамы тележки

Расчетные силы	Сочетание сил для расчетного режима				
	IIб	IIа	IIб	IIв	III
Силы тяжести	пп. 2.2, 2.3				
Вертикальные динамические силы при движении	–	п. 2.4	–	–	п. 2.4
Силы от действия продольной силы инерции кузова	п. 2.8	–	–	–	–
Силы, действующие со стороны тормозной системы	–	–	–	п. 2.9	–
Продольные силы инерции	п. 2.6	–	–	п. 2.6	–
Центробежная сила	–	п. 2.7	–	–	–
Рамные силы	–	п. 2.10	–	–	п. 2.10
Кососимметричные силы со стороны букс	–	п. 2.11	–	–	–

В результате проведенного расчета на прочность были получены эквивалентные напряжения, возникающие в конструкции кузова вагона и раме тележки при различных расчетных режимах. Поля распределения эквивалентных напряжений в кузове вагона и раме тележки дизель-поезда ДРБ1 при различных расчетных режимах нагружения показаны на рисунках 1 и 2 соответственно.

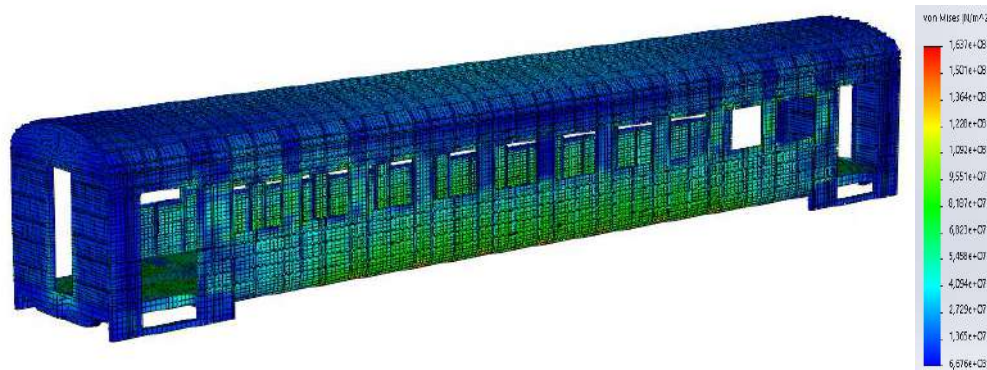


Рисунок 1 – Распределение напряжений в кузове вагона дизель-поезда ДРБ1 при I(а) режиме нагружения, растяжение

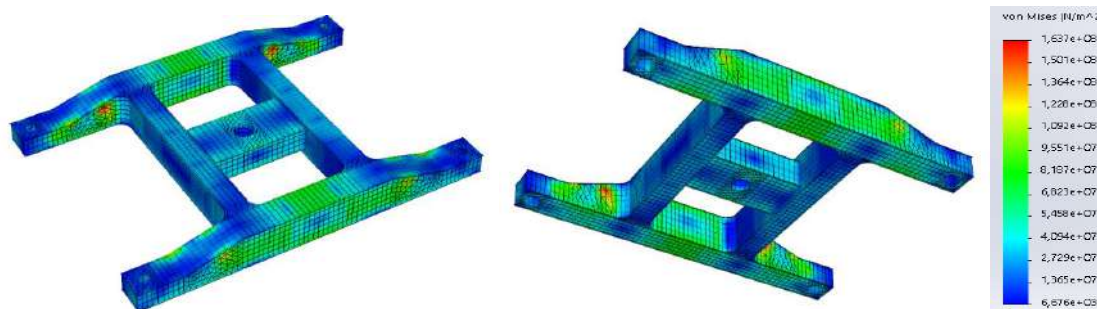


Рисунок 2 – Распределение напряжений в раме тележки дизель-поезда ДРБ1 при II режиме нагружения



В результате расчета на прочность кузова вагона и рамы пассажирских тележек дизель-поезда ДРБ1, с учетом их реального физического состояния тележек, установлено, что прочность при всех расчетных режимах удовлетворяет требованиям Норм. Полученные результаты приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Значения максимальных напряжений по конструктивным группам металлоконструкции рам тележек и кузова вагона дизель-поезда ДРБ 1

Режимы нагружения	Кузов вагона	Рама тележки
I(а), растяжение	Балки боковые 124,79 (47 % от допускаемых)	
I(а), сжатие	Обшивка боковой стены 201,78 (76 % от допускаемых)	
I(б)	Обшивка боковой стены 215,06 (81 % от допускаемых)	Центральная плита 179,4 (65 % от допускаемых)
II(а)	Обшивка боковой стены 104,43 (59 % от допускаемых)	Центральная плита 162,8 (59 % от допускаемых)
II(б)	–	Центральная плита 154,6 (56 % от допускаемых)
II(в)	–	Центральная плита 157,3 (57 % от допускаемых)
III	Обшивка боковой стены 99,12 (56 % от допускаемых)	–
IV(а)	Обшивка боковой стены 71,69 (27 % от допускаемых)	–
IV(б)	Обшивка боковой стены 79,65 (30 % от допускаемых)	–

Выполненный комплекс расчетов, позволил дать оценку напряженно-деформированного состояния несущей конструкции кузова и рам тележек дизель-поезда ДРБ1 при различных режимах нагружения. Приведенные результаты распределения напряжений носят принципиальный характер, позволяют выявить наиболее нагруженные области конструкции и могут быть использованы при разработке схемы установки тензометрических датчиков для проведения натурных испытаний вагона, а также станут основой для разработки конструкторско-технологических мероприятий по усилению выявленных конструктивных областей в рамках выполнения ремонтных работ в депо.

#### Список литературы

- 1 Огородников, Л. В. Анализ неисправностей дизель-поездов серии ДР1 и подготовка для оценки напряженно-деформированного состояния несущих металлоконструкций / Л. В. Огородников, Г. Е. Брильков, С. М. Пытлев // Проблемы безопасности на транспорте : материалы IX Междунар. науч.-практ. конф. Ч. 1. – Гомель : БелГУТ, 2021. – С. 125–127.
- 2 ГОСТ 33796–2016. Моторвагонный подвижной состав. Требования к прочности и динамическим качествам. – Минск : Госстандарт, 2017. – 40 с.

УДК 629.424.3:620.1

### СРАВНЕНИЕ ВЫЯВЛЯЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ МЕТОДОВ КАПИЛЛЯРНОГО И МАГНИТОПОРОШКОВОГО КОНТРОЛЯ В УСЛОВИЯХ ЛОКОМОТИВНОГО ХОЗЯЙСТВА БЕЛОРУССКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

*А. Г. ОТОКА*

*Гомельское вагонное депо, Белорусская железная дорога*

*О. В. ХОЛОДИЛОВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В соответствии с Единым перечнем деталей и узлов тягового подвижного состава, подлежащих неразрушающему контролю на Белорусской железной дороге [1], капиллярному контролю (КПК)



подвергается более 50 наименований в зависимости от серий тепловозов и дизель-поездов, в то время как магнитопорошковому контролю (МПК) – более 1000.

Капиллярный контроль деталей и узлов тягового подвижного состава при определенных условиях может выполняться как основным методом, так и как подтверждающий наряду с МПК. Капиллярный контроль является старейшим методом неразрушающего контроля и самым чувствительным методом обнаружения поверхностных дефектов.

Необходимыми условиями выявления трещинообразных дефектов при КПК и проникновения в них пенетранта является отсутствие загрязнений и других посторонних веществ как в самой несплошности, так и у ее выхода на поверхность объекта контроля. При этом глубина несплошности должна значительно превышать ширину ее раскрытия. Также важным условием является обеспечение хорошей смачиваемости пенетрантом материала объекта контроля.

В зависимости от светокolorистических свойств пенетранта и, соответственно, способа получения первичной информации они подразделяются на несколько групп: яркостные (ахроматические), цветные (хроматические), люминесцентные и люминесцентно-цветные.

Визуализация несплошностей облегчается как вследствие наличия яркостного (цветового) контраста индикаторных рисунков на фоне поверхности объекта контроля, так и за счет большей ширины индикаторного рисунка по сравнению с действительной шириной раскрытия самой несплошности (в большинстве случаев значительно), причем ширина следа дефекта увеличивается с увеличением глубины дефекта [2].

Капиллярный контроль позволяет контролировать объекты любых размеров и формы из ферромагнитных и неферромагнитных, черных и цветных металлов и их сплавов, пластмасс, стекла, керамики и других конструкционных материалов.

В локомотивном хозяйстве Белорусской железной дороги широкое применение получили яркостный и цветной методы. Яркостный КПК считается самым простым. К нему относится также метод керосиново-меловой пробы, который еще в прошлом веке был успешно применен для обнаружения трещин на полированных шейках осей паровозов и вагонов. Керосиново-меловая проба длительное время была обязательным методом контроля всех шеек осей колесных пар. Значительно позже арсенал средств обеспечения безопасности на железнодорожном транспорте пополнили магнитный и ультразвуковой методы контроля, потеснив КПК [3].

Чувствительность КПК определяют по размеру наименьших выявляемых реальных или искусственно инициированных дефектов. В соответствии со стандартом [4] основным параметром дефекта, по которому оценивают чувствительность, является ширина его раскрытия. Поскольку глубина и длина дефекта также оказывают существенное влияние на возможность его обнаружения (в частности, глубина должна быть существенно больше раскрытия), эти параметры считают стабильными.

Нижний порог чувствительности (минимальная величина раскрытия выявленных дефектов) определяется тем, что весьма малое количество пенетранта, задержавшееся в полости небольшого дефекта, оказывается недостаточным, чтобы получить контрастную индикацию при данной толщине слоя проявляющего вещества. Существует также верхний порог чувствительности, который определяется тем, что из широких, но не глубоких дефектов пенетрант вымывается при удалении излишков пенетранта с поверхности [5].

Основными способами нанесения дефектоскопических материалов при КПК являются аэрозольный и кистевой. Составы наборов не должны ухудшать эксплуатационные качества материала контролируемых деталей и конструкций.

В зависимости от минимального размера дефектов, поддающихся выявлению, КПК может соответствовать одному из следующих классов чувствительности: I (до 1 мкм), II (от 1 до 10 мкм), III (от 10 до 100 мкм), IV (от 100 до 500 мкм) и технологический (минимальная ширина раскрытия дефекта не нормируется) [4].

Капиллярный контроль часто сравнивают с магнитопорошковым по причине высокой чувствительности к поверхностным дефектам. Например, при МПК выявляются поверхностные дефекты шириной раскрытия от 2 мкм и протяженностью 0,5 мм, а при капиллярном выявляются дефекты с раскрытием порядка 1 мкм.

Магнитопорошковый контроль является основным на Белорусской железной дороге. В настоящее время магнитную суспензию при проведении МПК наносят путем распыления (из распылителя) или полива из емкости.

Для сравнения рассмотрим применение этих методов на примере контроля шейки коленчатого вала при выявлении сетки трещин.

На рисунке 1 видно, что сетка трещин хорошо выявляется как КПК, так и МПК. Однако сетка трещин более отчетливо видна всё-таки при проведении МПК. Поэтому для достижения высокой чувствительности при КПК нужно применять хорошо смачивающие высококонтрастные пенетранты, лакокрасочные проявители, увеличивать освещенность объекта. Оптимальное сочетание этих факторов позволяет опытному дефектоскописту обнаружить дефекты с раскрытием в десятые доли микрометра.

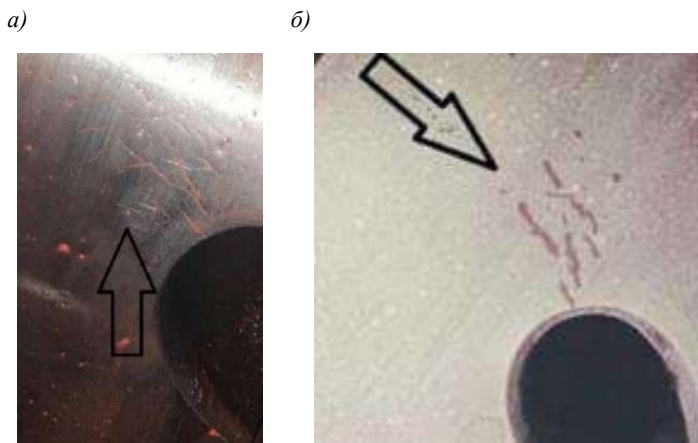


Рисунок 1 – Индикаторный рисунок после проведения КПК и МПК шейки коленчатого вала (зона канала для подачи масла):  
*a* – капиллярный контроль [MR68С (пенетрант), MR70 (проявитель), MR79 (очиститель)];  
*б* – магнитопорошковый контроль (концентрат магнитной суспензии «Mi-Glow 850»)

Сравним применение КПК и МПК на примере выявления трещины пальца прицепного шатуна дизеля 5Д49.

На рисунке 2, *б* видно, что после МПК торцевой части пальца прицепного шатуна хорошо выявляется трещина, которую визуалью до проведения контроля обнаружить не представлялось возможным (рисунок 2, *а*).

После проведения контроля этой же зоны пальца прицепного шатуна капиллярным методом трещина выявлена не была. Причины отсутствия индикаторного рисунка могут быть разными. Не исключено, что из-за сложной конфигурации зоны контроля могло произойти вымывание пенетранта при нанесении проявителя.

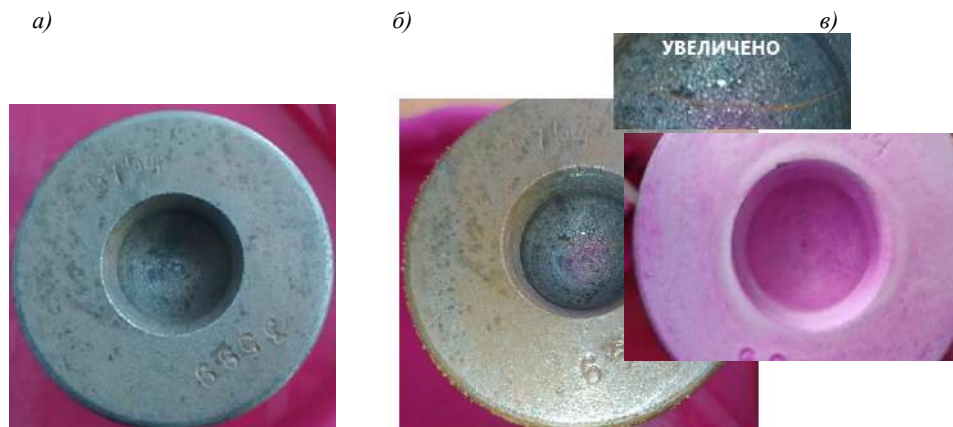


Рисунок 2 – Сравнение полученных индикаторных рисунков на примере выявления трещины в торцевой части пальца прицепного шатуна:  
*a* – до проведения контроля; *б* – после проведения МПК (концентрат магнитной суспензии «Диагма-1200»);  
*в* – после проведения КПК [MR68С (пенетрант), MR70 (проявитель), MR79 (очиститель)]

В заключение следует отметить, что КПК локомотивных деталей из ферромагнитных материалов всё же уступает по чувствительности МПК по ряду причин, описанных выше. Однако в настоящее время интерес к КПК всё больше возрастает.

Как показывает практика, применение КПК связано, в первую очередь, с тем, что этот вид контроля занимает сравнительно мало времени и предполагает получение результатов «на месте». Также капиллярный метод относительно прост, и некоторые места деталей и узлов можно проконтролировать непосредственно под локомотивом при проведении его технического обслуживания.

При невозможности проведения МПК таких деталей и узлов локомотивов по каким-либо причинам (немагнитные и неметаллические материалы, трудность размагничивания, контроль объемных дефектов типа поры и др.) предпочтение отдается КПК. Обладая высокой чувствительностью выявления поверхностных дефектов, метод может применяться практически в полевых условиях (под локомотивом).

Стоит отметить, что выявляемость дефектов существенно зависит от точности выполнения технологических операций проведения КПК, опыта и состояния здоровья дефектоскописта («человеческий фактор»).

#### Список литературы

1 Единый перечень деталей и узлов тягового подвижного состава, подлежащих неразрушающему контролю на Белорусской железной дороге : утв. приказом от 30.06.2021 № 581НЗ. – Введ. 2021-07-01. – 93 с.

2 СТБ 1172–99. Контроль неразрушающий. Контроль проникающими веществами (капиллярный). Основные положения. – Взамен ГОСТ 18442-80; введ. 1999-08-30. – Минск : Госстандарт, 1999. – 13 с.

3 Прохоренко, П. П. Физические методы неразрушающего контроля – качеству литейных материалов / П. П. Прохоренко // Литье и металлургия. – 2007.– № 1 (41). – С. 136–139.

4 ГОСТ 18442–80. Контроль неразрушающий. Капиллярные методы. Общие требования. – Взамен ГОСТ 18442–73; введ. 01.07.1981 – 26 с.

5 Методы контроля проникающими веществами. Капиллярный метод [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://vactron.ru/index.php/library/lection/100-metody-kontrolya-proni-kayushchimi-veshchestvami-kapillyarnyj-metod>. – Дата доступа : 21.09.2022.

УДК 629.436

## К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ДИЗЕЛЕЙ ТЕПЛОВЗОВ

С. А. ПЕТУХОВ, М. Ю. КАРПЕНКО, Р. А. ШАХНАЗАРЯН, К. А. ПАВЛОВ

Самарский государственный университет путей сообщения, Российская Федерация

Условия эксплуатации определяют режимы работы дизелей тепловозов, а режимы, при прочих равных условиях, – износ трущихся деталей. Анализ опубликованных работ в данной области исследования показывает, что надежность и безопасность эксплуатации дизелей тепловозов в большей степени зависит от скорости изнашивания и величины износа лимитирующих деталей, таких как ЦПГ и КШМ. В зависимости от ряда факторов до 90 % отказов двигателей обусловлено износом деталей, поэтому борьба с ним является одним из путей повышения экономичности и эффективности эксплуатации тепловозов [1].

Эксплуатация дизелей тепловозов нередко осуществляется под чрезмерной нагрузкой при заниженных температурах рабочих жидкостей, притом что выше 4-й позиции запрещается осуществлять набор контроллера машиниста [2].

Например, последствия эксплуатации дизелей тепловозов с заниженной температурой моторного масла приводят к нарушению теплообменных процессов, из-за чего может возникнуть риск образования дефектов в виде трещин на поверхностях деталей цилиндрического комплекта [3].

Самый неблагоприятный режим трения в цилиндре происходит в зоне с малыми скоростями поршня при реверсировании, в частности, у камеры сгорания. При этом максимальное давление составляет 6–16 МПа [4]. Такие условия способствуют выгоранию масляной пленки в момент такта сжатия и потере ее смазывающей способности (рисунок 1).

В комплекс мероприятий управления надежностью деталей ЦПГ, лимитирующих ресурс дизелей тепловозов, входят конструкторско-технологические и эксплуатационные методы (рисунок 2).

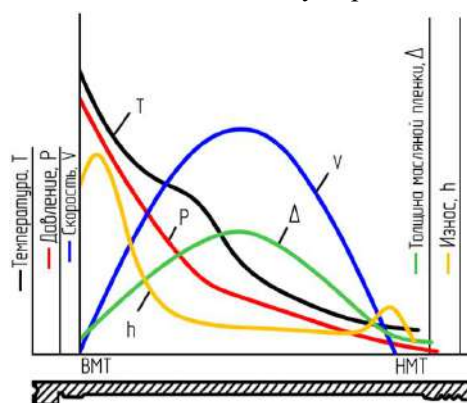


Рисунок 1 – Изменение температуры  $T$ , давления  $P$ , толщины масляной пленки  $\Delta$ , скорости скольжения поршня  $v$  и износа  $h$  по длине втулки цилиндров четырехтактных дизелей



Рисунок 2 – Структурная схема управления надежностью деталей ЦПГ тепловозных дизелей

В таблице 1 приведены нарушения режимов эксплуатации дизелей тепловозов 2ТЭ116, которые приводят к преждевременной потере эксплуатационных свойств моторного масла, а также описание алгоритмов защиты для программного обеспечения бортовых микропроцессорных систем управления (МСУ).

Таблица 1 – Перечень алгоритмов защиты для МСУ тепловозов 2ТЭ116 от опасных режимов эксплуатации для поддержания эксплуатационных свойств моторного масла

Вид нарушения режима эксплуатации	Описание алгоритма защиты
1 Запуск дизеля в холодном состоянии без предварительной прокачки масла	Выводить на дисплейный модуль предупреждение «Запуск дизеля в холодном состоянии без предварительной прокачки масла», если при температуре масла менее 45 °С время прокачки масла менее 60 с
2 Остановка дизеля без прокачки масла	После поступления команды от машиниста остановить дизель, фиксировать время работы масляного насоса. Если время прокачки масла менее 60 с, вывести на монитор МСУ необходимое сообщение
3 Запуск дизеля при заниженной температуре моторного масла	После поступления команды от машиниста запустить дизель, проверить температуру масла. Если температура масла менее 8 °С, вывести на монитор МСУ необходимое сообщение
4 Эксплуатация дизеля при заниженной температуре моторного масла (ПКМ выше 4-й)	После поступления команды от машиниста установить 5-ю позицию контроллера машиниста, проверить температуру масла. Если температура в норме, выполнить команду. Если температура мала ниже нормы (ниже 45 °С), запретить набор позиции выше 4-й и вывести на монитор МСУ необходимое сообщение. Разрешить набор позиции выше 4-й по достижении требуемой температуры масла не менее 45 °С
5 Эксплуатация дизеля при превышенной температуре моторного масла (ПКМ выше 4-й)	После запуска ДГУ контролировать температуру масла. Если температура масла выше 88 °С, уменьшить мощность дизеля на 20 % и вывести на монитор МСУ необходимое сообщение. При достижении требуемой температуры масла не более 88 °С восстановить уровень мощности дизеля
6 Остановка дизеля при превышенной температуре моторного масла	Если поступила команда от машиниста остановить дизель, то необходимо проверить температуру масла. При нормальной температуре выполнить команду. При наличии превышенной температуры команду не выполнять и вывести на монитор МСУ необходимое сообщение

Таким образом, если следовать приведенному алгоритму для МСУ тепловозов от опасных режимов эксплуатации в целях поддержания эксплуатационных свойств моторного масла, появляется возможность повысить надежность и безопасность эксплуатации дизелей тепловозов.

#### Список литературы

- 1 Ресурсосбережение и энергоэффективность тепловозных двигателей : [монография] / С. А. Петухов [и др.]. – Самара : СамГУПС, 2020. – 138 с.
- 2 Петухов, С. А. Совершенствование режимов запуска тепловозных дизелей / С. А. Петухов // Актуальные проблемы развития железнодорожного транспорта : материалы 2-й Междунар. науч.-практ. конф. (Самара, 7–8 декабря 2005 г.). – Самара: СамГАПС, 2006. – С. 242–243.
- 3 Анализ причин внеплановой замены моторного масла дизелей тепловозов и мероприятия по их недопущению / Е. А. Лазарев [и др.] // Вестник транспорта Поволжья. – 2019. – № 5 (77). – С. 100–109.
- 4 Изнашивание деталей тепловозного дизеля и способы его снижения / Е. А. Лазарев [и др.] // Вестник транспорта Поволжья. – 2019. – № 6 (78). – С. 88–93.

## АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ РАМЫ УНИВЕРСАЛЬНОЙ ПЛАТФОРМЫ

А. В. ПИГУНОВ, В. В. ПИГУНОВ

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Платформа модели 13-401 состоит из сварной металлической рамы, на которой крепится деревянный настил пола. К концевым и боковым продольным балкам шарнирно крепятся торцевые и продольные откидные борта. Концевые балки П-образного поперечного сечения из металла толщиной 10 мм. Шкворневые балки замкнутого коробчатого сечения переменной высоты. Верхние и нижние листы из стали толщиной 10 мм, вертикальные – толщиной 8 мм. Для усиления конструкции рамы в средней части предусмотрена установка двух основных поперечных балок, которые выполнены в виде двутавров высотой 500 мм с толщиной стойки и горизонтальных полок 5 и 7 мм соответственно. На участке между шкворневыми балками дополнительно устанавливаются четыре поперечные балки из двутавра № 10. Над ними, для поддержания настила пола, конструкцией предусмотрена установка четырех продольных балок также из двутавра № 10 [1]. Длина рамы платформы 13,4 м, ее масса (тара) составляет 20,92 т, а грузоподъемность – 70 т.

На основе конструкторской документации была разработана расчетная конечно-элементная модель металлоконструкции рамы платформы. Она составлена для рамы в целом и позволяет проводить расчеты для любого сочетания эксплуатационных нагрузок. Для построения модели использовались пластинчатые трех- и четырехугольные конечные элементы. Кинематические граничные условия включают в себя ограничение степеней свободы в местах установки упоров автосцепного устройства и пятников.

Расчеты производились на совместное действие продольных (сжимающей 2,5 МН и растягивающей 2,0 МН) и вертикальных нагрузок. Вертикальная нагрузка прикладывалась в виде равномерно распределенной по продольным балкам рамы, равномерно распределенной посередине боковых балок на длине 3 м (45 т) и равномерно распределенной посередине боковых балок на длине 4,3 м (60 т). Максимальные значения расчетных напряжений по конструктивным группам металлоконструкции рамы приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Максимальные значения напряжений

Конструктивная группа	Максимальные расчетные напряжения, МПа					
	Равномерно распределенная нагрузка		45 тонн		60 тонн	
	растяжение	сжатие	растяжение	сжатие	растяжение	сжатие
Концевая балка	159	148	137,8	119,25	137,8	119,25
Хребтовая балка:						
-нижняя полка	138	188	127,2	145,75	143,1	145,75
-стойка	170	162	151,05	159	151,05	169,6
-верхняя полка	125	183	100,7	180,2	100,7	193,45
Шкворневая балка:						
-вертикальные листы	80	130	68,9	106	68,9	113,95
-горизонтальные листы	154	252	113,95	201,4	121,9	209,35
Основная поперечная балка	170	82	238,5	159	288,85	206,7
Боковая балка:						
-верхняя полка	56	101	76,85	159	92,75	169,6
-нижняя полка	58	69	106	129,85	124,55	145,75
-стойка	50	90	84,8	124,55	100,7	135,15

Как видно из данных, приведенных в таблице 1, в большинстве элементах конструкции расчетные напряжения не превышают 200 МПа. В поперечных элементах рамы шкворневой и основной поперечных балках рамы, при действии сжимающей нагрузки, наблюдается максимальный уровень напряжений, который превышает 200 МПа. Напряжения в элементах хребтовой и боковых балках рамы ниже. Максимальная величина для хребтовой балки 194 МПа, а для боковых – 170 МПа. Эти элементы конструкции наиболее материалоемкие и вносят значительный вклад в формирование массы рамы вагона. Поэтому целесообразно провести более детальный анализ распределения напряжений в средней части балок.

При действии растягивающей нагрузки наиболее напряженным в средней части хребтовой и боковых балок рамы является нижний горизонтальный лист двутавра и примыкающий к нему вертикальный участок стойки. По мере отдаления от нижней горизонтальной полки уровень напряжений

снижается. При действии сжимающей нагрузки наблюдается противоположная картина. Наибольшей величины напряжения достигают в верхней горизонтальной полке двутавра и уменьшаются к нижней части двутавра. Отсюда можно сделать вывод, что в средней части вертикальных стоек двутавра по высоте сечения наблюдается наименьший уровень напряжений при действии как сжимающей, так и растягивающей продольной силы.

Таким образом, для снижения массы рамы платформы становится возможным облегчение хребтовой и боковых балок путем введения вырезов. Форму, количество вырезов и их размеры возможно обосновать после проведения дальнейших прочностных расчетов.

#### Список литературы

1 Пастухов, И. Ф. Конструкция вагонов : учеб. / И. Ф. Пастухов, В. В. Пигунов, Р. О. Кошкалда. – М. : Желдориздат, 2000. – 497 с.

УДК 620.168

### РАСЧЕТ УСОВЕРШЕНСТВОВАННОГО РОТОРА В SOLIDWORKS

*Д. И. ПОНАМАРЕНКО, А. Р. КОНОВАЛОВА, И. А. КОНОВАЛОВ*

*Самарский государственный университет путей сообщения, Российская Федерация*

В предварительно напряженных телах существуют вынужденные продольные колебания. Теоретически можно говорить о значительности взаимовлияния поперечных, продольных и крутильных колебаний в достаточно простых (струны, стержни, пластины и т. д.) механических системах. Возможный путь исследования для таких сложных механических систем экспериментальный, включающий создание стенда для экспериментальных исследований натуральных или модельных роторов с имитацией возбуждения в предварительно напряженных телах комбинации волновой нагрузки различного направления с фиксацией комплексной АЧХ системы, испытания на этом стенде натуральных или модельных объектов с их нагружением различными комбинациями волновой нагрузками, анализ и обобщение полученных результатов.

Исследование динамических характеристик ротора планируется проводить на установке РОУ-1, изначальная конструкция которой представлена на рисунке 1.

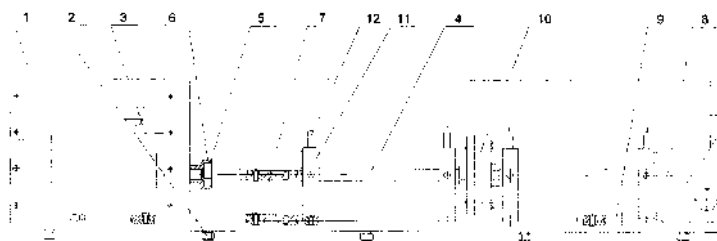


Рисунок 1 – Установка РОУ-1:

1 – станина; 2 – опоры; 3 – электродвигатель; 4 – вал; 5 – муфта; 6 – полумуфта; 7, 8 – корпус опорных узлов; 9 – направляющая пластина; 10 – нагрузочный диск; 11 – стойки; 12 – датчики перемещений

#### Методика проведения испытаний в среде SolidWorks

Для получения необходимых данных по модернизации установки РОУ-1 необходимо провести аналогичное исследование в среде компьютерного моделирования SolidWorks Simulation (рисунок 2). Основные неизвестные параметры: толщина стенок ротора, давление в полости, при котором выдержат сваренные торцы вала.

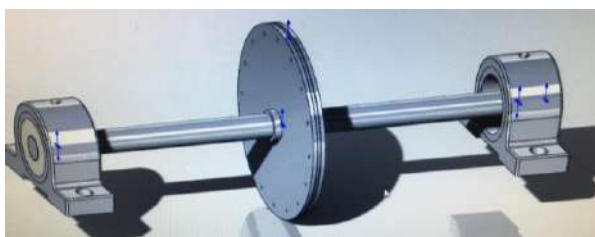


Рисунок 2 – Компьютерная модель РОУ-1



Для определения максимального допустимого давления, закачиваемого в полость ротора, и выявления влияния его на колебания, данную модель необходимо упростить, а именно применить принцип освобождения связей и исключить диск. В итоге получится полый вал, освобожденный от подшипниковых узлов, и без установленного диска.

Подшипниковые узлы заменены реакциями, и принято во внимание то, что конец вала, к которому подсоединен электродвигатель, не имеет никакой возможности перемещаться в пространстве, а подшипниковый узел противоположного конца позволяет ему перемещаться только вдоль самого вала.

Размеры вала: диаметр 32 мм, длина 590 мм, толщина стенок 3 мм.

Симуляция проводилась 6 раз. При этом учитывалась собственная частота вала, а также частота при увеличении внутреннего давления. Шаг увеличения составил 10 МПа начиная с 5 МПа.

Чтобы выявить влияние внутреннего давления вала на частоту колебаний, необходимо задать давление, действующее на концевые стенки вала и распирающее вал по всей длине во всех направлениях (рисунок 3).

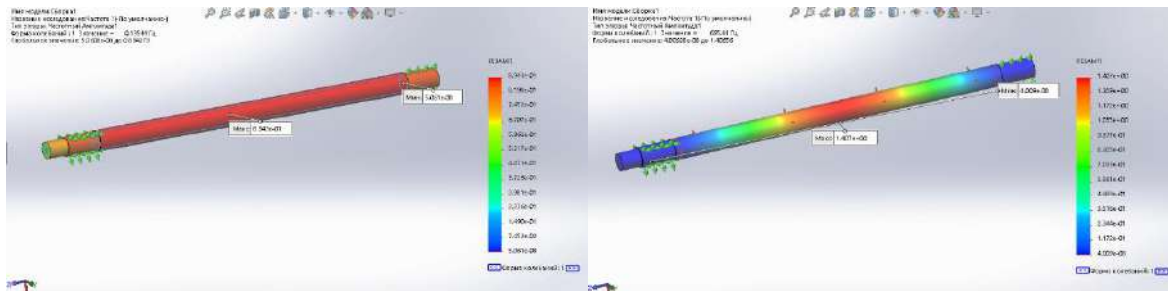


Рисунок 3 – Собственная частота вала и под давлением 5 МПа

По данным экспериментов было выявлено, что при увеличении давления в полости вала до 5 МПа, частота, по отношению к собственной частоте вала, повысилась в 3214 раз.

Таблица 2 – Влияние давления на частоту колебаний

Давление, МПа	Частота, Гц	Давление, МПа	Частота, Гц
0	0,135	25	689,23
5	434,88	35	692,23
15	686,11	45	695,41

Анализируя всё перечисленное, видим, что существенное изменение частот наблюдается только при первых двух ступенях увеличения давления (рисунок 4). Дальнейшее увеличение нецелесообразно, так как частота изменяется пределах 3–5 Гц. Поэтому установленное внутреннее давление составляет 5 МПа.

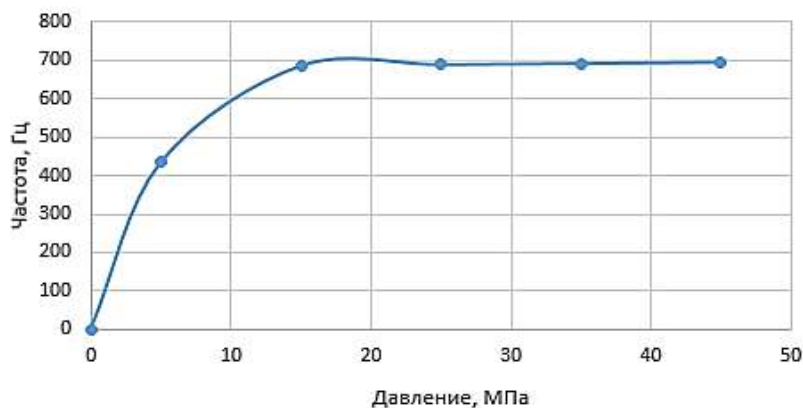


Рисунок 4 – Влияние давления на частоту колебаний

Согласно ГОСТ 949–73 баллоны стальные малого и среднего объема для газов на  $P_r \leq 19,6$  МПа ( $200 \text{ кгс/см}^2$ ). Согласно техническим условиям толщина стенки вала при закачиваемом давлении

14,7 МПа составляет 1,9 мм. Учитывая, что размер диаметра вала гораздо меньше минимального диаметра, данный размер можно оставить в качестве расчетного.

#### Список литературы

- 1 Антипов, В. А. Реализация продольной силы в роторах турбомашин / В. А. Антипов, А. А. Свечников, Д. И. Понамаренко // Наука и образование транспорту. – 2016. – № 2. – С. 223–226.
- 2 Совершенствование упруго-демпфирующих свойств опор роторов энергетических установок транспортных средств / В. А. Антипов [и др.] // Наука и образование транспорту. – 2018. – № 2. – С. 195–199.

УДК 621:981.2

## СНИЖЕНИЕ ИЗНОСА СТАЛЬНОГО КОНТРЕЛА ПРИ ТРЕНИИ ПО ПОКРЫТИЮ НИТРИДА ТИТАНА

*А. Н. ПОПОВ, И. Л. ДМИТЕРКО*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Плунжерные пары и распылители форсунок представляют собой прецизионные пары трения, изготовленные из сталей с высокой твердостью (60–63 HRC) и характеризуются малой шероховатостью ( $R_a < 0,04$  мкм) [1]. Рабочей средой для таких пар трения является дизельное топливо, которое имеет в 300 раз более низкие триботехнические характеристики по сравнению с маслами [2]. При исследовании большого количества плунжерных пар топливных насосов выявлено, что наибольший износ поверхности плунжера наблюдается на его головке со стороны, противоположной рабочей отсечной спирали, в зоне, где воздействие максимальных прижимающих усилий ударного характера (создаваемых давлением 50–80 МПа) накладывается на воздействие движения плунжера с максимальной скоростью (2–4 м/с) в каждом рабочем цикле [3, 4].

Наиболее часто к выходу из строя подвижных трибосопряжений машин приводят абразивное изнашивание и изнашивание вследствие схватывания. Эффективным путем борьбы с абразивным изнашиванием является повышение твердости поверхностных слоев деталей. Существует много традиционных способов создания поверхностных слоев с повышенной износостойкостью. В работе [5] испытывались плоские пары трения с образцами из стали ШХ15, прошедшими различные виды поверхностного упрочнения в дополнение к традиционной закалке: низкотемпературная нитроцементация; ионная имплантация азотной плазмой; лазерная закалка; азотирование в тлеющем разряде; покрытия КИБ на основе нитридов молибдена, хрома, титана; диффузионное хромирование, борирование, силицирование. Однако, по мнению авторов, пары трения сталь ШХ15 (закалка) – покрытие КИБ практически неработоспособны по причине интенсивного изнашивания образца из закаленной стали в связи с наличием капельной фазы на поверхности TiN. Применение покрытий, получаемых методом КИБ, возможно при условии снижения интенсивности изнашивания контртела.

Цель данной работы – установить влияние реакционного газа на капельную фазу и, соответственно, на триботехнические характеристики.

Для получения покрытий использовалась установка вакуумного напыления УВНИПА-1-001 (УРМЗ.279.070). Эта установка оборудована газовым ионным источником ИИ-4-015, с помощью которого можно производить очистку и нагрев подложек; источником плазмы стационарного катодно-дугового разряда с металлическим (титановым) катодом; источником плазмы импульсного катодно-дугового разряда с катодом из графита, используемым для нанесения углеродных покрытий. В установке используется электродуговой испаритель с сепарацией плазменного потока в магнитном поле. Триботехнические испытания проводили на микротрибометре, по схеме «сфера – плоскость» (шарик ШХ15 и исходное покрытие).

Установлено, что с увеличением давления реакционного газа до  $8 \cdot 10^{-3}$  Па уменьшается средний размер капельной фазы и её содержание на подложке. При дальнейшем увеличении давления до  $3 \cdot 10^{-2}$  Па изменения в содержании и размерах капельной фазы не наблюдаются (рисунок 1). Также были изучены снимки скола покрытия нитрида титана (рисунок 2). Из снимков видно, что с уменьшением давления азота на поверхности появляются образования в форме расплюснутых капель и в конусовидной форме. Капли образовались из катодных пятен при их угасании, а конусообразные объекты, возможно, образуются при кристаллизации титана не вступившего в химическую реакцию с азотом из-за низкого давления.



В зависимости от давления изменяется структура покрытия TiN. На всех снимках заметен более плотный поверхностный слой толщиной порядка 0,2–0,3 мкм. При давлении азота  $2 \cdot 10^{-2}$  Па покрытие однородное, что, по-видимому, связано с образованием TiN стехиометрического состава. Это также подтверждается тем, что адгезия в этом случае наименьшая [6]. При уменьшении давления происходит образование столбчатой структуры и увеличивается дефектность покрытия. При давлении более  $2 \cdot 10^{-2}$  Па покрытие перестает быть однородным и уменьшается число капельной фазы на поверхности покрытия.

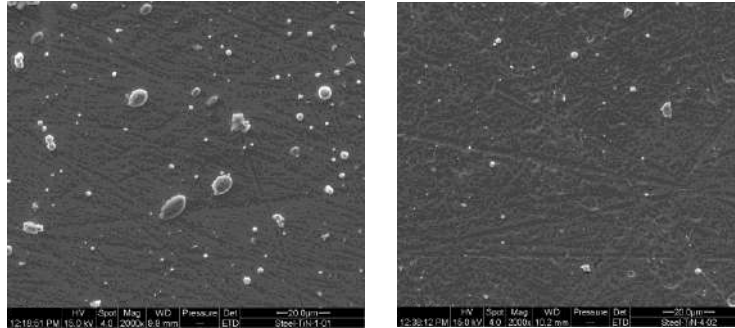


Рисунок 1 – Изображения поверхности TiN, полученного при давлении азота  $4 \cdot 10^{-3}$  Па и  $10^{-2}$  Па

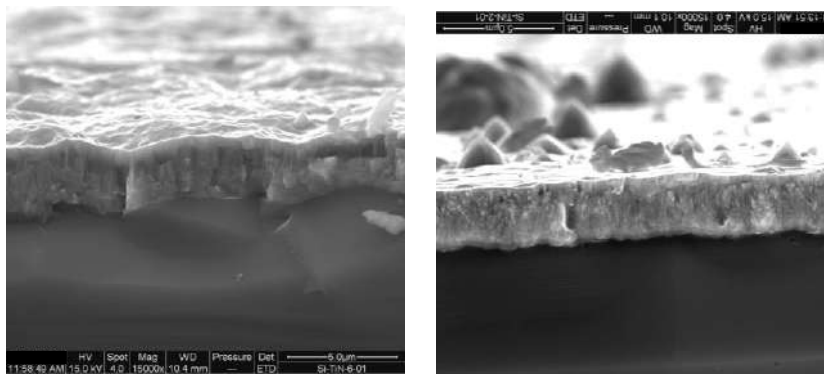


Рисунок 2 – Снимки скола покрытия, полученного при давлениях азота  $3 \cdot 10^{-2}$  Па и  $6 \cdot 10^{-3}$  Па

Триботехнические испытания показали зависимость коэффициента изнашивания стального контртела от давления газа (рисунок 3) (носит одинаковый характер с зависимостью микротвердости покрытий TiN, полученных при различном давлении реакционного газа).

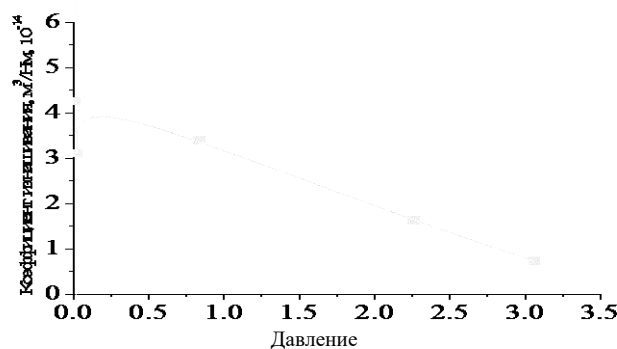


Рисунок 3 – Зависимость коэффициента изнашивания контртела от давления реакционного газа, Па, для пары трения «плоскость с покрытием нитрида титана – ролик с покрытием нитрида титана»

Таким образом, для снижения изнашивания поверхности контртела из-за уменьшения содержания капельной фазы следует увеличивать давления реакционного газа.

#### Список литературы

1 Барвинок, В. А. Физические основы и математическое моделирование процессов вакуумного ионно-плазменного напыления / В. А. Барвинок, В. И. Богданович. – М. : Машиностроение, 1999. – 309 с.

- 2 Справочник по ремонту тепловозов / И. Г. Кокошинский [и др.]. – М. : Транспорт, 1976. – 304 с.  
 3 Исследование закономерностей изнашивания поверхностей методом контактного электросопротивления / Б. И. Кошецкий [и др.] // Вестник машиностроения. – 1988. – № 1. – С. 14–17.  
 4 Дизельная топливная аппаратура / В. Е. Горбаневский [и др.]. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 1996. – 140 с.  
 5 Изнашивание стальных прецизионных пар трения в низкомолекулярных жидкостях / В. Е. Горбаневский // Проблемы трения и изнашивания : Респ. межвед. науч.-техн. сб. – Киев, 1987. – Вып. 32. – С. 38–43.  
 6 Лаптева, В. Г. Выбор методов повышения износостойкости пар трения, изготавливаемых из сталей типа ШХ-15 / В. Г. Лаптева, В. Е. Горбаневский // Трение и износ. – 1988. – Т. 9, № 1. – С. 43–51.

УДК 621.315.611

## ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННЫЙ КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ КОНСТРУКЦИОННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

*И. В. ПРИХОДЬКО, И. П. СМОЛЯКОВА, М. Е. БЕЛЬЧЕНКО, В. Е. БЕЛЬЧЕНКО*  
*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Современную машиностроительную и транспортную отрасли достаточно трудно представить без использования полимерных материалов. Благодаря своим высоким диэлектрическим и физико-механическим свойствам широкое применение в конструкции несущих элементов электрооборудования

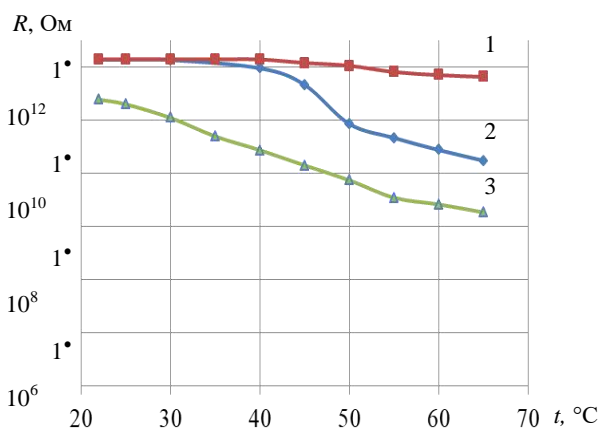


Рисунок 1 – Электрическое сопротивление изоляционного материала в зависимости от состава  
 1 – ЭД (60%), ФФС (40%); 2 – ЭД (40%), ФФС (60%);  
 3 – ЭД (40%), ФФС (60%)

получили композиционные материалы на основе реактопластов, таких как эпоксидные (ЭД) и фенолформальдегидные (ФФС) смолы.

Применение отвердителя не является условием формирования композиционного материала ввиду того, что смолы при определенных сочетаниях способны к самосшиванию полимерной матрицы. Для получения композиционного материала использовали эпоксидную смолу марки ЭД-20, отвержденную фенолформальдегидной смолой (рисунок 1). Проведенный комплекс исследований по подбору оптимального состава позволил выбрать сочетание компонентов: 55 % ЭД и 45 % ФФС (кривая 2 на рисунке 1), так как у материала с большим содержанием ФФС снижаются диэлектрические свойства (кривая 3 на рисунке 1),

а с увеличением содержания ЭД-20 возрастает хрупкость материала. Оптимизированный материал обладает высоким электрическим сопротивлением (до 2 ГОм) при нормальных климатических условиях (НКУ). С ростом температуры значительно снижается величина электрического сопротивления изоляции (см. рисунок 1). Полученный материал не является исключением. Однако при температуре 60 °С, соответствующей температуре в местах кузова подвижного состава, в которых имеются источники сильного дополнительного нагрева, сопротивление изоляции постоянному току составляет 0,78 ГОм, что свидетельствует о его хороших электроизоляционных свойствах. Ударная вязкость полученного композиционного материала при НКУ составила 20 кДж/м<sup>2</sup>, что указывает на его устойчивость к воздействию ударных напряжений и на возможность его применения на отдельных элементах ЭПС в качестве конструкционного материала (рисунок 2).

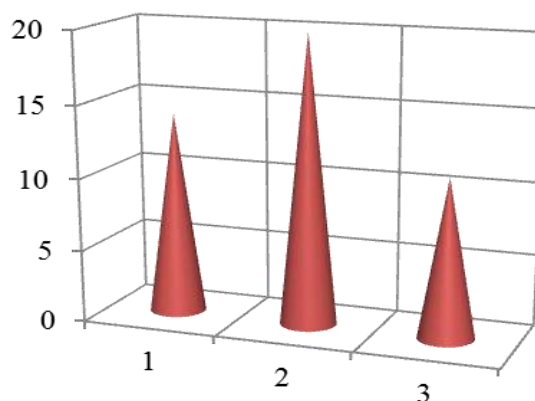


Рисунок 2 – Ударная вязкость составов (НКУ)

Оптимальное сочетание эпоксидной и фенолформальдегидной смол позволяет получить композиционный материал без введения дополнительного компонента (отвердителя) и обладающий приемлемыми физико-механическими свойствами.

## **ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ ДВС ТЕПЛОВОЗА ПУТЕМ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ**

*Л. С. САИДОВА, С. Т. КАЛИЕВА, В. Н. ПАНЧЕНКО*

*Самарский государственный университет путей сообщения, Российская Федерация*

Основными качественными показателями эксплуатации тягового подвижного состава, определяющими эффективность использования тепловозов, являются мощность, экономичность и надежность.

Проблемам повышения надежности уделяется большое внимание, так как от надежности напрямую зависит безопасность. Безопасность железнодорожного подвижного состава – это состояние, при котором отсутствует недопустимый риск, связанный с причинением вреда жизни людей и окружающей среде.

Эффективность использования тепловозов можно увеличить путем уменьшения затрат на поддержание и восстановление их надежности, поэтому для поддержания надлежащего технического состояния существующих тепловозов в первую очередь требуется обеспечивать высокое качество ремонта и технического обслуживания, что достигается использованием современных систем технического диагностирования. Техническая диагностика дает возможность своевременно устранить дефекты, приводящие к возникновению неисправностей в двигателях и отклонению от нормального режима их работы.

Надежность – это свойство устойчивой работы в пределах заданного межремонтного срока службы при условии соблюдения всех требования инструкции по эксплуатации.

В период приработки основной причиной отказов являются производственные дефекты и некачественный ремонт. Поздние дефекты, обусловленные наступившим износом и усталостным повреждением, снова ведут к росту отказов. По результатам анализа технического состояния тепловозов за период с 2015 по 2020 год наблюдается рост числа отказов тепловозов.

Наибольшее количество отказов основного оборудования в среднем по сети дорог ОАО «РЖД» приходится на дизель (около 40 %). Причины сложившегося положения кроются в снижении качества ремонта, длительных межремонтных периодов, несвоевременном выявлении отклонений параметров работы двигателя от номинальных значений.

Проведенный анализ дает понимание того, что техническое диагностирование даст возможность снизить реальные потери на 10–15 % и увеличит срок службы дизеля до следующего ремонта на те же 10–15 %.

Совершенствование систем диагностирования даст возможность предотвратить отказы локомотивных энергетических установок и эффективно рационализировать техническое обслуживание тепловозов.

Различают системы тестового и функционального диагностирования. Системы тестового вида применяют при изготовлении объекта, во время его ремонта и профилактики, при хранении, перед применением и после него, когда необходима проверка исправности объекта. В этом случае на объект диагностики подаются специально организуемые тестовые воздействия.

Системы функционального диагностирования применяют при использовании объекта по назначению, когда нужна проверка правильности функционирования. На объект диагностики поступают только предусмотренные его алгоритмом рабочие воздействия.

Создание систем диагностирования включает в себя изучение объекта, выбор диагностических параметров и алгоритмов, создание математических моделей объекта в исправном и неисправном состояниях, отладку и тест системы. Существующие методы диагностики можно разделить на параметрическую, разборную и диагностику на остановленном агрегате.

В понятие параметрической диагностики включаются методы диагностики по состоянию и изменению параметров дизеля во время работы. Преимущество данной диагностики заключается в том, что для оценки технического состояния тепловозного дизеля нет необходимости останавливаться или разбирать его.

В настоящее время нет датчиков, позволяющих определять непосредственно техническое состояние каждого узла и агрегата дизеля без разборки, так как тепловозный дизель является сложным

энергомеханическим объектом. В связи с этим методы оценки технического состояния дизеля тепловоза по значениям непосредственно измеряемых в процессе работы технологических параметров необходимо развивать путём совершенствования систем технической диагностики. Применение таких систем в локомотивном хозяйстве позволит сократить объём ремонтных работ, снизить затраты на производство ТР и ТО.

#### Список литературы

- 1 Калиева, С. Т. Техническая безразборная диагностика локомотивов как современный метод технического диагностирования / С. Т. Калиева, В. Н. Панченко // Наука и образование транспорту. – 2016. – № 1. – С. 36–37.
- 2 Анализ современных методов технической диагностики, применяемых для контроля топливной аппаратуры дизеля локомотива / С. Т. Калиева, В. Н. Панченко // Известия транссиба. – 2018. – № 1 (33). – С. 30–38.
- 3 Калиева, С. Т. Анализ диагностических комплексов при техническом обслуживании тепловозов на куйбышевской железной дороге / С. Т. Калиева, В. Н. Панченк, В. В. Иванов // Вестник транспорта Поволжья. – 2018. – № 3 (69). – С. 7–13.
- 4 Применение безразборной диагностики в эксплуатации и ремонте локомотивов / С. Т. Калиева [и др.] // Наука и образование транспорту. – 2019. – № 1. – С. 30–32.
- 5 Калиева, С. Т. Повышение топливной экономичности двс за счет ограничения воздействия эксплуатационных факторов / С. Т. Калиева, Л. Л. Саидова, В. Н. Панченко / Проблемы безопасности транспорта в современных условиях развития общества : материалы междунар. студ. науч.-практ. конф. – Нижний Новгород, 2020. – С. 54–58.

УДК 621.33

### ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА ТОКОПРИЕМНИКОВ ТРАМВАЯ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ НА ОСНОВЕ СИСТЕМ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ

*В. С. САЛОВ, А. Г. СТАРИКОВА*

*Самарский государственный университет путей сообщения, Российская Федерация*

Токоприемники являются важнейшими компонентами, влияющими на безопасность работы электроподвижного состава. Работа токоприемников ведется в тяжелых условиях. В процессе эксплуатации электроподвижного состава токоприемники подвергаются сильной тряске, вибрации, резким изменениям температуры, воздействиям пыли, влаги и т. д., поэтому к ним предъявляются требования устойчивой работы.

Каждый год на долю неудовлетворительного технического состояния токоприемников приходится около 8 % всех отказов электроподвижного состава, что может вызывать неисправности контактной сети, на которые приходится до 22 %.

К основным причинам неисправности контактной сети можно отнести несовершенство конструкций деталей, их монтажа и эксплуатации (45 %), старение устройств (24,5 %), в значительной степени обусловленные недостаточностью применения средств диагностики их состояния или вообще их отсутствием. Из наиболее частых неисправностей можно выделить повышенный износ, неравномерность выработки контактной поверхности токоприемника, перегрев контактной поверхности вследствие недостаточного либо чрезмерного усилия прижима токоприемника к контактной сети. Сильный износ или повреждение токосъемной головки может вызвать, помимо прочего, серьезное повреждение контактной сети.

Таким образом, указанные выше обстоятельства определяют необходимость создания системы контроля основных параметров токоприемника, а именно контроль уровня износа и усилия прижима контактной вставки токоприемника к контактной сети.

К числу наиболее эффективных методов автоматической диагностики относится дистанционный контроль параметров токоприемников, проходящих через контрольный пункт. Данный метод позволяет контролировать состояние всех токоприемников, выходящих из депо трамвайных вагонов и поступающих на линию. Дистанционный способ диагностики позволяет осуществлять контроль непосредственно в режиме эксплуатации, а не стационарно на специально оборудованном стенде в трамвайном депо, при этом не потребуется остановка подвижного состава и участие обслуживающего персонала.

Для дистанционной диагностики основных геометрических параметров токоприемников могут применяться системы компьютерного зрения. Для измерения значений статического нажатия воз-

можно применение электромеханических датчиков, размещаемых на контактной сети в зоне контрольного пункта [1].

При проходе трамвайного вагона через контрольный пункт датчик прохода подает сигнал в блок управления, который запускает процесс записи видеоинформации. Данные с видеокамер поступают в устройство хранения и обработки информации с отметкой времени произведённой записи, после чего выполняется автоматическая оценка технического состояния токоприёмника. В случае обнаружения отклонений параметров токоприёмника от нормативных на пульте диспетчера подаются предупреждающий сигнал и изображение токоприёмника с указанием причины срабатывания системы. Для работы в темное время суток пункт оснащается источником освещения [1].

Состав автоматизированной системы диагностики состояния токоприёмников на основе видеоизмерительного комплекса содержит три видеокамеры, датчик прохода, блок контроля и управления, компьютер, источник освещения.

Предлагаемая авторами автоматизированная система оценки состояния токоприёмников позволяет выполнять непрерывный контроль технического состояния токоприёмников, проходящих через контрольный пункт. В автоматическом режиме выполняются регистрация времени и скорости прохода электроподвижного состава (ЭПС), распознавание номера вагона, сохранение данных видеосъёмки, определение типа токоприёмника и оценка технического состояния. Измерение геометрических параметров и определение технического состояния контактных вставок токоприёмников выполняется при помощи специализированных алгоритмов распознавания образов. Основным преимуществом данной системы является бесконтактный способ измерения, позволяющий выполнять регистрацию без влияния на исследуемый объект персонала [1].

Горизонтальная камера оценивает величину отжатия контактного провода в момент прохода токоприёмника, что позволяет оценить величину силы контактного нажатия токоприёмника на основании известной жесткости подвески [1].

При малых скоростях движения ЭПС (до 30 км/ч) сила нажатия токоприёмника на контактный провод близка к величине статического нажатия, которая, в свою очередь, зависит от регулировки токоприёмника. В случае значительного отклонения силы нажатия токоприёмника от нормативного статического нажатия при малых скоростях движения можно сделать вывод о неправильной регулировке токоприёмника.

При движении с более высокой скоростью отжатие подвески контактной сети зависит от типа токоприёмника, но используемые алгоритмы позволяют определить отклонения статического нажатия от нормы и в этом случае [2].

Вертикальная камера позволяет оценить состояние износа токосъёмных пластин на полозах токоприёмника по форме и структуре изображения контактной поверхности, 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 токоприёмника. Профиль токоприёмника должен вписываться в допустимые габариты. Путем сравнения профиля токоприёмника с шаблонными изображениями выявляются механические повреждения полоза и системы подвижных рам [1].

При приближении ЭПС трамвая фронтальная камера регистрирует его изображение, на котором при помощи распознавания символов определяются номер и марка вагона. При этом фронтальная камера должна иметь высокое разрешение для обеспечения точности измерения геометрии полоза и рам токоприёмника.

Для повышения точности измерения геометрических параметров комплекс может быть дополнен цифровым фотоаппаратом [3].

Вертикальная видеокамера обеспечивает съемку со скоростью не менее 400 кадров в секунду с величиной экспозиции не более 1/1000, разрешение кадра видеоизображения при этом не менее 1280×720 точек для получения четкого изображения поверхности полоза.

Для анализа изображений применяется многошаговый алгоритм, состоящий из этапов применения графических фильтров к исходному изображению, выделения значимых элементов и сравнения итогового изображения с набором шаблонов.

Сравнение рабочего изображения с шаблонным изображением токоприёмника выполняется путем вычисления коэффициентов корреляции для каждой точки изображения.

Результатом вычисления коэффициентов корреляции является матрица корреляции. В случае совпадения изображения шаблона с рабочим изображением матрица корреляции будет иметь выраженный максимум в области совпадения шаблона и рабочего изображения. На основании выявленного совпадения определяется тип токоприёмника. Для нахождения механических повреждений системы подвижных рам и полозов токоприёмника производится вычисление отклонений изображения токоприёмника от шаблона. По величине отклонения можно определить вероятность наличия дефекта токоприёмника [1].

Применение автоматизированной системы диагностики состояния токоприёмников на основе видеоизмерительного комплекса позволит сократить количество повреждений токоприёмников и контактной сети и снизить эксплуатационные расходы, связанные с ремонтом контактной сети и задержками в движении трамвайных вагонов на линии.

#### Список литературы

- 1 Смердин, А. Н. Автоматизированная система диагностики состояния токоприёмников на основе видеоизмерительного комплекса / А. Н. Смердин, А. С. Голубков, С. Н. Найден. – М. : Транспортная энергетика, 2012.
- 2 Ковалев, А. А. Повышение безопасности устройств энергоснабжения : материалы молодёжной межрегион. науч.-практ. конф. / А. А. Ковалев. – Екатеринбург : Рос. гос. проф.-пед. ун-т, 2011. – С. 21–25.
- 3 Сидоров, О. А. Методика измерения отжатый проводов контактных подвесок с использованием скоростных видеоанализаторов / О. А. Сидоров. – М. : Энергоиздат, 2015. – 210 с.

УДК 621.31

## АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СИЛОВЫХ МАСЛЯНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

*И. А. САФРОНОВА, О. Н. КОЗМЕНКОВ*

*Самарский государственный университет путей сообщения, Российская Федерация*

Одним из приоритетных направлений научно-технологического развития Российской Федерации является переход к передовым цифровым, интеллектуальным производственным технологиям, роботизированным системам, новым материалам и способам конструирования, создание систем обработки больших объемов данных, машинного обучения и искусственного интеллекта.

Внедрение цифровизации в операционную деятельность ОАО «РЖД» – один из важнейших приоритетов комплексной программы инновационного развития.

Вопрос по автоматизации тяговых подстанций актуален в настоящее время и требует незамедлительного решения.

По данным эксплуатации силовых трансформаторов в настоящее время в Куйбышевской дирекции по энергообеспечению находится в обслуживании 151 тяговая подстанция.

Со сроком службы более 40 лет – 121 тяговая подстанция, или 80,1 %.

На конец 2021 г. в хозяйстве эксплуатируется 274 силовых трансформаторов, из них 90 (34 %) со сроком службы более 50 лет. Количество тяговых трансформаторов в хозяйстве составляет 359 шт., из них 133 шт. (36 %) со сроком службы более 50 лет.

Наибольший процент технологических нарушений трансформаторного оборудования приходится на период его эксплуатации от 20 до 30 лет. Своевременное проведение технического обслуживания продлевает срок службы трансформаторов. Большая часть нарушений работоспособности связана с повреждениями маслонаполненных вводов, обмоток и устройств регулирования.

В рамках исследований проблемы контроля и оценки технического состояния масляных трансформаторов, используемых на железнодорожном транспорте, разработана автоматизированная система контроля и диагностики технического состояния масляных трансформаторов.

Предлагаемая современная автоматизированная система контроля и диагностики технического состояния масляных трансформаторов имеет понятные формы представления результирующей информации, а именно графический оконный интерфейс, звуковое предупреждение, протоколы отчетов с возможностью распечатки на периферийном устройстве.

Автоматизированная система контроля и диагностики технического состояния масляных трансформаторов отображает состояние оборудования на основе цветовой индикации, указывает наиболее опасный агрегат и узел, ограничивающий его ресурс, определяет параметры технического со-

стояния и отображает их на дисплее вместе с их предельными уровнями, обеспечивает возможность анализа данных.

Встроенная экспертная система автоматически определяет и прогнозирует неисправность контролируемого оборудования и выдает рекомендации персоналу по его действиям.

Автоматизированная система контроля и диагностики технического состояния масляных трансформаторов отображает дату и время включения (отключения) агрегата, ведет подсчет общей, месячной наработки, наработки между текущими, средними и капитальными ремонтами.

Автоматизированная система контроля и диагностики технического состояния масляных трансформаторов обеспечивает обмен информацией о состоянии диагностируемого оборудования в сети систем мониторинга через выделенные линии Ethernet, радиоканалы, модемную связь, имеет программные средства для интегрирования в системы диспетчерского управления и сбора данных.

Конструктивное исполнение составных частей автоматизированной системы контроля и диагностики технического состояния масляных трансформаторов обеспечивает их быстрый монтаж, возможность проведения технического обслуживания, профилактических и ремонтных работ в процессе эксплуатации.

Программные и технические средства предлагаемой системы мониторинга обладают иерархической структурой и включают в себя несколько уровней.

Автоматизированная система контроля и диагностики технического состояния масляных трансформаторов включает в себя 3 уровня

- уровень 1 – первичный (датчики);
- уровень 2 – технический;
- уровень 3 – программный.

В разработку системы положен модульный принцип. Основным элементом системы – модуль диагностики с набором датчиков. Модуль реализует набор методов для диагностики технического состояния как отдельного элемента, так и всего трансформатора. Все модули взаимосвязаны и являются составными элементами предлагаемой автоматизированной системы мониторинга и диагностики.

Информационная шина является общей для всех модулей и служит для их взаимосвязи и интеграции полученных данных. Поэтому информация, получаемая в любом модуле, доступна для использования другими модулями.

В системе реализован комплексный подход к диагностике технического состояния трансформатора, итоговая оценка производится на основании обобщающего анализа результатов, полученных экспертными программами всех модулей системы.

На уровне 1 обеспечивается автоматизированный сбор информации для последующей диагностики технического состояния трансформатора за счет использования датчиков, для сбора дискретной информации (датчики температуры масла и температуры окружающей среды) и первичных датчиков для сбора аналоговой информации (цифровые трансформаторы тока и напряжения).

С помощью датчиков фиксируются следующие параметры: температура верхних слоев масла у крышки бака, температура нижних слоев масла у днища бака, температура окружающего воздуха, рабочие токи фаз ВН, СН и НН трансформатора, рабочие напряжения ВН, СН и НН трансформатора.

Уровень 2 – технический уровень, уровень первичной обработки данных, поступающих с датчиков первого уровня. Данный уровень реализован на базе контроллера присоединения, многофункциональных измерительных приборов, счётчиков АСКУЭ и т. д., которые обеспечивают сбор и передачу данных в общую базу. В общей базе данных происходит сбор и интеграция контролируемых параметров, статистических данных, паспортных данных.

Уровень 3 представляет собой программный уровень комплексной оценки технического состояния трансформаторов; включает в себя автоматизированное рабочее место – компьютер и программируемую панель оператора, которые находятся в помещении тяговой подстанции.

Программное обеспечение, установленное на ПК, включает в себя алгоритмы взаимодействия информационных потоков и расчётные математические модели с глубокой обработкой первичной информации.

Уровень 3 позволяет получать структурированную оперативную информацию, обрабатывать, анализировать текущую ситуацию и готовить варианты решений в соответствии с текущей ситуацией. Программное обеспечение позволяет организовать локальный доступ удаленным пользователям для осуществления удаленного контроля функционирования и исправности технических и программных средств системы мониторинга.



## Список литературы

- 1 Козменков, О. Н. Обеспечение бесперебойного электроснабжения железнодорожного транспорта за счёт автоматизации процессов контроля, управления и планирования действий с ресурсами / О. Н. Козменков // Вестник транспорта Поволжья. – 2015. – № 2 (50). – С. 21–26.
- 2 Добрынин, Е. В. Цифровая подстанция. Метод реализации / Е. В. Добрынин, И. А. Ефремова // Вестник транспорта Поволжья. – 2020. – № 1 (79). – С. 16–22.
- 3 Добрынин, Е. В. An overhead line voltage monitoring system / Е. В. Добрынин, Т. В. Бошкарёва, О. В. Табаков. // Russian electrical engineering. – 2020. – № 3. – С. 191–194.
- 4 Ефремова, И. А. Математическая модель оценки технического состояния масляного трансформатора / И. А. Ефремова, О. Н. Козменков, Е. В. Добрынин // Наука и образование транспорту. – 2020. – № 1. – С. 329–332.

УДК 629.4.015

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПОГЛОЩАЮЩИХ АППАРАТОВ НА ПРОДОЛЬНЫЕ СИЛЫ В ПОЕЗДАХ ПРИ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОМ ТОРМОЖЕНИИ

П. А. САХАРОВ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Поглощающие аппараты служат для снижения динамических сил, возникающих в межвагонных соединениях поездов при изменении управляющих воздействий, вызванных сменой режимов движения или профиля пути. Переход с одного режима движения (или профиля пути) на другой приводит к изменению сил, действующих между единицами подвижного состава. Указанное изменение происходит за некоторый период времени, в течение которого режим движения является неустановившимся. В это время значения сил в связях могут существенно превышать силы управляющих воздействий. Их снижению способствуют поглощающие аппараты, упруго-диссипативные свойства которых позволяют значительную часть энергии динамического взаимодействия вагонов преобразовать в энергию колебаний поезда и тепловую, рассеиваемую в окружающую среду. При этом амплитуда и период продольных колебаний поезда зависит от количества вагонов в составе, их массы и расположения, характеристик поглощающих аппаратов.

Существенное влияние на величину продольно-динамических сил, возникающих между вагонами, оказывают силовые характеристики поглощающих аппаратов, которые представляют собой зависимости силы сжатия аппарата  $T$  от величины  $q$  и скорости  $\dot{q}$  сжатия при его нагрузке и разгрузке (рисунок 1). Результаты расчетов, учитывающих конкретные силовые характеристики амортизаторов, могут существенно, если не кардинально, отличаться от результатов аналогичных расчетов, выполненных для амортизаторов с иными характеристиками [1]. В таких условиях целесообразно рассматривать не конкретный тип поглощающего аппарата, а характеристику, свойственную ряду поглощающих аппаратов. Здесь выделяют три основные формы кривой силового нагружения амортизатора: линейную (показатель степени  $n$  по основанию  $q$  которой равен 1), выпуклую вверх (мягкая характеристика с  $n < 1$ ) и выпуклую вниз (жесткая характеристика с  $n > 1$ ).

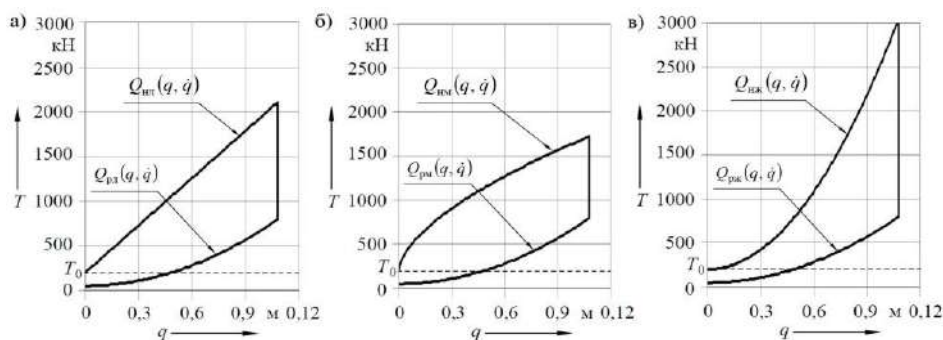


Рисунок 1 – Графики силовых характеристик поглощающих аппаратов с линейной (а), мягкой (б) и жесткой (в) характеристикой



Помимо формы линии нагружения на продольную динамику влияет сила начальной затяжки поглощающего аппарата  $T_0$ . Ее увеличение приводит к росту энергоемкости аппарата и способствует снижению износа его частей. Согласно [2, с. 4] сила начальной затяжки для поглощающих аппаратов грузовых вагонов должна находиться в пределах 0,1–0,4 МН. Величина их максимального сжатия (конструкционный ход) ограничивается значением 120 мм, а соответствующая ему сила при динамическом нагружении не должна превышать 3 МН.

Разработана компьютерная модель [3], с помощью которой исследовано влияние описанных выше характеристик поглощающих аппаратов на силы в межвагонных соединениях поездов при переходе на режим электродинамического торможения локомотивом.

Рассмотрено торможение поездов, оборудованных поглощающими аппаратами с одинаковой максимальной энергоемкостью 100 кДж при конструкционном ходе 120 мм и отличающимися линиями нагрузки силовых характеристик, расчетные выражения которых имеют вид

$$Q_{\text{нл}} = 10^5 + 1,23 \cdot 10^7 q + 10^5 |\dot{q}|; \quad (1)$$

$$Q_{\text{нм}} = 10^5 + 4,2 \cdot 10^6 q^{0,6} + 10^5 |\dot{q}|; \quad (2)$$

$$Q_{\text{нж}} = 10^5 + 1,54 \cdot 10^8 q^2 + 10^5 |\dot{q}|. \quad (3)$$

Согласно формулам (1)–(3) значение силы начальной затяжки принято минимально допустимым для поглощающих аппаратов грузовых вагонов  $T_0 = 100$  кН. Разгрузка всех поглощающих аппаратов в представленном исследовании происходит по линии, определяемой выражением

$$Q_{\text{пл}} = Q_{\text{рм}} = Q_{\text{рж}} = 5 \cdot 10^4 + 2,3 \cdot 10^7 q^2 - 10^5 |\dot{q}|. \quad (4)$$

Выполнена оценка продольной динамики поезда с составом из 100 вагонов, 25 из которых порожние, а 75 – груженые. Порожние вагоны массой по 24 т расположены в голове поезда. Груженые вагоны массой по 100 т. Тормозная сила локомотива в течение одной секунды возрастает до максимального значения, равного в первом опыте 300 кН, во втором – 600 кН, в третьем – 900 кН. В момент начала торможения поезд находится в сжатом состоянии, то есть влияние зазоров не проявляется. Результаты расчетов показали, что при тормозной силе локомотива 300 кН максимальные сжимающие силы в поездах превышают тормозную силу на 50, 27, 25 % соответственно при жестких, линейных и мягких силовых характеристиках амортизаторов. Соответствующие значения при тормозной силе 600 кН составили 70, 25, 17 %, а при 900 кН – 80, 25 и 14 %. Во всех случаях распределение максимальных продольных сил по длине поезда имеет схожий вид. Анализ результатов многочисленных вычислительных экспериментов подтверждает представленные результаты, демонстрирующие, что уменьшение показателя степени  $n$  линий силовых характеристик амортизаторов вагонов способствует снижению максимальных продольных сил в поездах при переходных режимах движения. С ростом силы управляющего воздействия, в частности электродинамического тормоза локомотива, указанное влияние увеличивается.

Увеличение силы начальной затяжки и соответствующее увеличение энергоемкости поглощающих аппаратов способствует существенному снижению максимальных сил. В аналогичных представленных выше исследованиях в поездах, оборудованных амортизаторами с различными силовыми характеристиками и начальной затяжкой до 400 кН, наибольшие значения продольных сил превысили силу торможения локомотива не более чем на 10–23 % в зависимости от величины затяжки. Меньшие значения сил соответствуют амортизаторам с большей силой затяжки. Для амортизаторов с жесткой силовой характеристикой увеличение силы начальной затяжки с 0 до 400 кН привело к снижению продольных сил при резком изменении тормозной силы на величину до 50 %.

Рассмотрено плавное торможение неоднородного поезда с составом из 40 порожних и 60 груженых вагонов массой 24 и 100 т соответственно. Для достижения уровня продольных сил, не превышающих силы электродинамического тормоза локомотива 500 кН, поезду с мягкими силовыми характеристиками амортизаторов потребовалось плавное увеличение тормозной силы в течение 17 с, линейными – 22 с, жесткими – 35 с. То есть в поездах с мягкими силовыми характеристиками амортизаторов допустимо более резкое изменение тормозной силы, чем при линейных или жестких.

Таким образом, снижению продольных сил в межвагонных соединениях поездов способствует увеличение энергоемкости поглощающих аппаратов, достигаемое уменьшением показателя степени  $n$  линии нагружения их силовых характеристик или путем повышения силы начальной затяжки.

При одинаковой энергоемкости важным преимуществом аппаратов с мягкими характеристиками является меньшая сила закрытия, соответствующая их сжатию на величину конструкционного хода. То есть при значительном сжатии таких амортизаторов, характерном для вагонов при роспуске с горки или маневровых операциях, в них возникают значительно меньшие силы, что продляет срок службы вагонов и повышает безопасность их эксплуатации [1].

#### Список литературы

1 Шимановский, А. О. Оценка влияния характеристик поглощающих аппаратов сцепных устройств на продольные силы в грузовом поезде / А. О. Шимановский, П. А. Сахаров // Актуальные вопросы машиноведения : сб. науч. тр. / Объединенный ин-т машиностроения НАН Беларуси. – Минск, 2019. – Вып. 8. – С. 216–219.

2 Аппараты поглощающие сцепных и автосцепных устройств железнодорожного подвижного состава. Технические требования и правила приемки : ГОСТ 32913-2014. – Введ. 2015.06.01. – М. : Стандартиформ, 2015. – 9 с.

3 Сахаров, П. А. Расчетно-экспериментальный метод исследования продольной динамики поезда / П. А. Сахаров // Механика. Исследования и инновации : сб. науч. тр. / Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель, 2020. – Вып. 13. – С. 128–140.

УДК 621.3

## ВИЗУАЛЬНЫЙ КОНТРОЛЬ КОММУТАЦИОННЫХ АППАРАТОВ В СИСТЕМЕ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

*О. В. ТАБАКОВ, Т. В. БОШКАРЕВА*

*Самарский государственный университет путей сообщения, Российская Федерация*

Электрификация железных дорог осуществляется как переводом существующих железных дорог на электрическую тягу, так и созданием новых электрифицированных железных дорог. На электрифицированных железных дорогах тяговые электродвигатели локомотивов (электровозов или электрических секций пригородных поездов) получают энергию от контактной сети, подключенной к тяговой подстанции. Электрифицированная железная дорога одновременно решает еще одну важную задачу – осуществляет электроснабжение районов, прилегающих к дороге, промышленных и сельскохозяйственных предприятий.

Повышение надежности тяговых подстанций и устройств электроснабжения планируется осуществлять за счет применения автоматизированных систем оперативно-технологического управления, удаленного мониторинга и диагностики устройств, силового оборудования с передачей данных по цифровым каналам связи в аналитические и диспетчерские центры управления.

С внедрением систем удаленной диагностики и мониторинга состояния оборудования тяговые подстанции будут обслуживаться по техническому состоянию, без оперативного персонала. Для этого необходимы специальные датчики, современное оборудование, которое требует минимум обслуживания и приборов для диагностики и испытаний электрооборудования тяговых подстанций, позволяющих выявлять скрытые дефекты на ранних стадиях развития.

В частности, предлагается использование системы визуального контроля за положением коммутационных аппаратов на автоматизированной тяговой подстанции, т. е. той, которая управляется по системе телесигнализации.

Разъединитель отвечает за создание видимого разрыва предварительно обесточенной цепи с целью обезопасить обслуживающий персонал (или электроустановку, выведенную в ремонт) от поражения электрическим током.

При дистанционном управлении разъединителями энергодиспетчер ориентируется только на показания системы телесигнализации. Однако эта информация не всегда оказывается достоверной. Причиной может служить как состояние аппаратуры телесигнализации, так и состояние самого разъединителя.

Это значит, что при управлении энергодиспетчером коммутационных аппаратов по системе телесигнализации на «отключение», «ответ» от разъединителя может прийти положительный, т. е. ножи разомкнуты, однако по факту цепь может остаться замкнутой.

Установка дополнительных датчиков, контролирующих состояние цепи (замкнута/разомкнута), помогает контролировать процесс переключения, но не состояние самого оборудования. То есть позволяет определить аварийную ситуацию, но не предотвратить.

Передача информации в виде изображения позволяет увеличить ее объем, достоверность и скорость. Таким образом, энергодиспетчер по видимому изображению разъединителя сможет определить не только его положение, но и состояние – наличие механических повреждений до, во время и после переключения. Следовательно, для усиления контроля состояния оборудования, следует использовать систему видеоконтроля.

Любая система видеоконтроля состоит из следующих основных частей:

- камеры;
- оборудование для передачи данных;
- сервер обработки полученной информации;
- программное обеспечение.

Выбор оборудования зависит от задач, которые стоят перед системой. В частности, для контроля разъединителя предлагается отслеживать его положение, внешнее состояние и качество контакта при замыкании ножей.

Для контроля положения и внешнего состояния достаточно использования видеокамеры с разрешением, зависящим от расстояния до объектов и их числа, контролируемых одной камерой. Поскольку контроль аппаратуры должен быть постоянным, то для этого следует использовать инфракрасную камеру. При этом достаточно черно-белой камеры, работающей в ночное время с инфракрасной подсветкой. Выбор таких камер достаточно велик. Их используют в охранных системах, что делает их доступными в ценовом диапазоне и возможности обслуживания.

Что касается контроля качества контакта в замкнутых ножах, то здесь следовало бы использовать тепловизор. При неправильной регулировке ножи могут не создать надежный контакт, т. е. удельное сопротивление его окажется большим, что приведет к потерям электроэнергии и нагреву контакта. Повышенный нагрев контакта может привести при увеличении нагрузки к перегосу, а значит, к сбою в питании. Тепловизор как раз и позволит проконтролировать температуру нагрева контакта и в автоматическом режиме, и в ручном.

Для передачи изображения с камер на сегодняшний день используются два типа соединения: проводное и беспроводное. В качестве проводной связи может служить практически любой вид кабеля. Как правило, это коаксиальный, оптоволоконный или витая пара, подключаемые и обеспечивающие связь с локальной или глобальной сетью. В качестве беспроводной связи используются радиоканалы конкретного диапазона частот (Wi-Fi, ZigBee, GSM).

Энергодиспетчер в нормальном режиме будет видеть только короткий момент перевода разъединителя на тяговую подстанцию из одного положения в другое после формирования приказа и его исполнения. Данный подход обеспечит необходимую функцию контроля и в то же время не создаст загромождения рабочего пространства энергодиспетчера.

Программное обеспечение и техническое оснащение способно фиксировать, передавать и обрабатывать изображения под любую задачу и в достаточно широком диапазоне частот электромагнитного излучения. Даже подсчет посетителей в магазинах уже ведется не датчиками на оптопарах, а видеокамерами, что значительно повышает его точность. В случае же контроля состояния и положения оборудования системы тягового электроснабжения система видеоконтроля является необходимой, поскольку от этого зависит бесперебойность питания и, самое главное, безопасность людей.

Таким образом, видеоконтроль состояния и положения коммутационного оборудования тяговых и трансформаторных подстанций необходим, т. к. данная система мероприятий позволит создать бесперебойное питание тягового подвижного состава и, самое главное, условия для безопасной работы людей на электроустановке.

#### Список литературы

- 1 Система визуального контроля коммутационных аппаратов / Е. В. Добрынин [и др.] // Электротехника. – 2017. – № 3. – С. 50–54.
- 2 **Бошкарева, Т. В.** Реализация визуальной диагностики контактной сети / Т. В. Бошкарева, О. В. Табаков, Д. Ю. Еремеев // Наука и образование транспорту. – 2017. – № 1. – С. 218–220.
- 3 **Добрынин, Е. В.** Система контроля напряжения в контактной сети / Е. В. Добрынин, Т. В. Бошкарева, О. В. Табаков // Электротехника. – 2020. – № 3. – С. 46–49.
- 4 **Загорский, В. А.** Оценка расчетных моделей системы тягового электроснабжения / В. А. Загорский, Е. В. Добрынин, О. В. Табаков // Вестник транспорта Поволжья. – 2016. – № 1 (55). – С. 34–38.
- 5 **Табаков, О. В.** Система визуального контроля коммутационных аппаратов на тяговой подстанции / О. В. Табаков, Е. В. Добрынин, Т. В. Бошкарева // Перспективные информационные технологии (ПИТ 2017) : тр. Междунар. науч.-техн. конф., Самара, 14–16 марта 2017 г. – Самара : Самарский научный центр РАН, 2017. – С. 737–739.

**О ПРИМЕНЕНИИ ИСПЫТАНИЙ ДЛЯ ПОДТВЕРЖДЕНИЯ СООТВЕТСТВИЯ  
ПРОДУКЦИИ ТРЕБОВАНИЯМ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕГЛАМЕНТОВ  
ТР ТС 001/2011, ТР ТС 002/2011, ТР ТС 003/2011**

*З. Ю. ТРЕТЬЯК, Н. М. ПЕРЕКРЕСТОВА, К. В. СВИРИДЕНКО  
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Испытания продукции для целей подтверждения соответствия – один из этапов подтверждения соответствия продукции установленным к ней требованиям, в частности, требованиям Технических регламентов Евразийского экономического союза. Сертификационные испытания проводятся в аккредитованной испытательной лаборатории (центре). Испытания для декларирования соответствия, в зависимости от схемы декларирования, могут проводиться в аккредитованной испытательной лаборатории (центре) либо в собственной испытательной лаборатории изготовителя. Методы исследований (испытаний) и измерений продукции устанавливаются в стандартах, включенных в перечень международных и региональных (межгосударственных) стандартов, а в случае их отсутствия – национальных (государственных) стандартов, содержащих правила и методы испытаний и измерений, в том числе правила отбора образцов, необходимые для применения и исполнения требований технических регламентов ТР ТС 001/2011 [1], ТР ТС 002/2011 [2], ТР ТС 003/2011 [3] и осуществления оценки соответствия объектов технического регулирования.

Решением Евразийской экономической комиссии № 90 от 14 сентября 2021 года с 6 апреля 2022 года приняты новые редакции технических регламентов ТР ТС 001/2011 «О безопасности железнодорожного подвижного состава», ТР ТС 002/2011 «О безопасности высокоскоростного железнодорожного подвижного состава», ТР ТС 003/2011 «О безопасности инфраструктуры железнодорожного транспорта».

С введением новой редакции технических регламентов ТР ТС 001/2011, ТР ТС 002/2011, ТР ТС 003/2011 были внесены изменения в обязательные для применения и исполнения на таможенной территории Евразийского экономического союза требования к продукции, применяемые при ее проектировании и производстве, правила идентификации продукции, требования к маркировке и правила ее нанесения, а также формы, схемы и процедуры оценки соответствия, в частности были изменены требования к применению испытаний.

Установлено: при оценке соответствия продукции требованиям технических регламентов ТР ТС 001/2011, ТР ТС 003/2011 могут быть использованы результаты проведенных работ при оценке соответствия данной продукции требованиям технического регламента «О безопасности высокоскоростного железнодорожного транспорта» (ТР ТС 002/2011) (протоколы испытаний, экспертные заключения, технические заключения, акты визуального контроля, обоснования безопасности и иные документы, полученные в ходе проведения работ по оценке соответствия продукции требованиям ТР ТС 002/2011) не старше 5 лет. Аналогично при оценке соответствия продукции требованиям технического регламента ТР ТС 002/2011 могут быть использованы результаты проведенных работ при оценке соответствия данной продукции требованиям технических регламентов ТР ТС 001/2011, ТР ТС 003/2011.

Установлена возможность использовать протоколы испытаний давностью не более 10 лет в отношении показателей воздействия на железнодорожный путь, а также показателей, связанных с проведением динамических и усталостных испытаний. Такие результаты испытаний применяются:

- при повторной сертификации, в органе по сертификации, проводившем сертификацию данной продукции ранее;
- при отсутствии изменений в конструкторской и (или) технологической документации, влияющих на эти показатели;
- при отсутствии изменений в стандартах, включенных в перечень стандартов, в результате применения которых обеспечивается соблюдение требований технического регламента ТР ТС 001/2011;
- при отсутствии изменений показателей, связанных с проведением динамических и усталостных испытаний.

В остальных случаях результаты исследований (испытаний) и измерений давностью более пяти лет для целей сертификации продукции не рассматриваются.

Установлены требования к давности протоколов при декларировании соответствия – 5 лет.

Внесены изменения в требования к содержанию протоколов испытаний. Протоколы испытаний должны содержать:

а) наименование и обозначение протокола испытаний, при этом обозначение документа повторяется на каждой странице;

б) наименование и адрес аккредитованной испытательной лаборатории (центра), сведения об аккредитации (наименование органа по аккредитации, номер аттестата аккредитации, номер, дата выдачи аттестата аккредитации, срок действия аттестата аккредитации);

в) сведения об органе по сертификации, поручившем проведение испытаний;

г) реквизиты акта идентификации образцов продукции, поступивших на испытания, сведения об изготовителе и дату изготовления продукции;

д) дату получения продукции на проведение испытаний;

е) информацию о проверяемых показателях и требования к ним, а также сведения о нормативных документах, содержащих эти требования;

ж) дату (период) проведения испытаний;

з) сведения об использованных методах и методиках испытаний;

и) сведения о хранении продукции до проведения испытаний, о подготовке продукции к испытаниям, а также сведения о месте проведения испытаний, об условиях окружающей среды во время проведения испытаний;

к) сведения об использованном собственном и арендуемом испытательном оборудовании, и средствах измерений;

л) сведения об испытаниях, выполненных другой аккредитованной испытательной лабораторией (центром) (при наличии);

м) результаты проведения испытаний, подкрепленные при необходимости таблицами, графиками, фотографиями и другими материалами;

н) заявление о том, что протокол испытаний касается только образцов, подвергнутых испытаниям;

о) подпись руководителя аккредитованной испытательной лаборатории (центра), заверенную печатью организации (при наличии);

п) сведения о должностях и подписи ответственных исполнителей, проводивших испытания;

р) сведения о должности и подпись лица (лиц), ответственного за подготовку протокола испытаний от имени аккредитованной испытательной лаборатории (центра) (при необходимости);

с) дату выпуска протокола испытаний;

т) сведения о том, что внесение изменений в протокол испытаний оформляется отдельным документом (новым протоколом, отменяющим и заменяющим предыдущий);

у) заявление, исключающее возможность частичной перепечатки протокола испытаний.

В отличие от предыдущей версии протокол испытаний не должен содержать доказательственные материалы по полученным результатам, включая первичные зарегистрированные данные в виде таблиц и (или) графиков, а также процедуру проведения обработки первичных данных с указанием всех критериев обработки и полученных промежуточных данных. В сведениях об аккредитации испытательной лаборатории (центра) следует указывать наименование органа по аккредитации.

Разрешена замена испытаний продукции результатами экспертизы о распространении результатов испытаний аналогичных образцов продукции, приведенных в протоколах сертификационных испытаний давностью не более пяти лет по решению органа по сертификации. Экспертиза проводится органом по сертификации или иной организацией по решению органа по сертификации.

#### Список литературы

1 ТР ТС 001/2011. О безопасности железнодорожного подвижного состава / Евразийская экономическая комиссия. – Минск : БелГИСС, 2022. – 48 с.

2 ТР ТС 002/2011. О безопасности высокоскоростного железнодорожного транспорта / Евразийская экономическая комиссия. – Минск : БелГИСС, 2022. – 55 с.

3 ТР ТС 003/2011. О безопасности инфраструктуры железнодорожного транспорта / Евразийская экономическая комиссия. – Минск : БелГИСС, 2022. – 37 с.

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ СИНТЕТИЧЕСКОГО ЧУГУНА

М. Р. ТУРАКУЛОВ, С. Н. КЕНЖАЕВ

Ташкентский государственный транспортный университет, Республика Узбекистан

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 [1, 2].

Сущность процесса выплавки синтетического чугуна состоит в металлургическом обогащении жидкого железа углеродом и кремнием в произвольных пропорциях, а также в применении высокотемпературной обработки, что позволяет получать сплавы с заранее заданными химическим составом и свойствами. Для формирования высоких свойств чугуна в отливках необходимо разрушение несовершенной структуры исходных шихтовых материалов. Применение для выплавки синтетического чугуна индукционных печей позволяет осуществлять глубокую термовременную обработку, рафинирование, модифицирование и легирование жидкого металла [3].

Исходным сырьем для получения синтетического чугуна служат стальная лом, листовая обрезь, стружка и другие дешевые низкосортные металлоотходы. В настоящее время коэффициент использования металла в машиностроении составляет 0,7, т. е. 30 % металла идет в отходы.

Материалы для формовочных и стержневых смесей должны быть проверены при входном контроле отделом технического контроля (ОТК 100 %) согласно ГОСТ 24297–2013 с соответствующей отметкой в учетных сопроводительных документах.

Песок кварцевый сухой и воздушный – сухой, с влажностью:

- для формовочных смесей – до 3 %;
- для стержневых смесей – до 2 %.

Смесь формовочная отработанная должна быть отсепарирована, просеяна через сито с ячейкой не более 5×5 мм; глина формовочная сухая, молотая – просеяна через сито с ячейкой 2×2 мм; сульфитная барда должна храниться в закрытой емкости с крышкой. Не допускается попадание мусора. Необходимо подавать в бегуны в ведрах, серебристый графит должен храниться в мешках в закрытом помещении [4, 5].

Приготовление смесей на основе связующего материала Novanol 165 нужно производить по ТИ № 39.002.2014; приготовление смесей на основе жидкого стекла в смесителе мод. ИСМ-050-02 производить по ТИ № 39.003.2014; вместо хромитового песка использовать кварцевый песок. Состав и свойства стержневой смеси показаны в таблице 1.

Таблица 1 – Состав и свойства стержневой смеси

Состав смеси, %				Свойства смеси
Кварцевый песок	Novanol 165	Стекло жидкое	Вода техническая	Прочность на растяжение твердых образцов, МПа (кгс/см <sup>2</sup> )
100	4,5–6,0	–	–	0,15–0,2 (1,5–2,0)
100	–	10,0–12,0	2,0	Не менее 0,2 (не менее 2,0)

Метод отбора и подготовки пробы для испытания производится по ГОСТ 23408–78; общие требования к методам испытаний – по ГОСТ 23409.0–78; метод определения содержания влаги – по ГОСТ 23409.5–78, метод определения газопроницаемости – по ГОСТ 23409.6–78; метод определения прочности – по ГОСТ 23409.7–78 [6].

*Примечание* – Формовочные и стержневые смеси отбираются на определение содержания влаги, газопроницаемости и на прочность не менее 1 раза в смену.

При ручном изготовлении стержней в неразъемных ящиках произвести следующие операции:

- очистить внутреннюю поверхность ящика от пыли и нанести на его стенки разделительный состав;
- насыпать порцию стержневой смеси в ящик (немного больше половины высоты), установить каркас и произвести уплотнение смеси деревянной трамбовкой;
- насыпать смесь несколько выше борта ящика (на 6–8 мм) и снова уплотнить;

- счистить лишнюю смесь с поверхности ящика линейкой и наколоть душником вентиляционные каналы так, чтобы конец душника не доходил до дна ящика на 5–10 мм;
- сушить стержни углекислым газом; мелкие стержни продувать углекислым газом партиями под зонтом (герметичный ящик). Для этого под зонт 2 раза подают углекислый газ в течение 20–30 с с перерывом в 2–3 минут;
- средние стержни продувать в тело по металлической трубке от 1 минуты непосредственно в стержневых ящиках, благодаря чему исключается возможность их деформации;
- давление продувки должно равняться 1 атмосфере, оптимальная температура смеси при её продувке составляет 18–22 °С;
- после сушки обстучать ящик (растолкать стержень) деревянным молотком;
- осторожно снять стержневой ящик со стержня;
- при необходимости произвести ремонт стержня;
- простой химически упрочнённый стержней не должен превышать 12 часов.

Использование дешёвых металлоотходов для выплавки синтетического чугуна обеспечивает снижение его себестоимости на 25–30 % по сравнению с обычными чугунами вторичного переплава.

Исследована эффективность технологий выплавки синтетического чугуна в индукционной печи с различной долей стального лома в составе металлошихты. Показано, что с увеличением стального лома в металлошихте увеличивается время плавки, удельный расход электроэнергии, расход кокса, твердость колодки и уменьшается выход годного.

Из синтетического чугуна изготавливают разнообразные отливки ответственного назначения: колодки вагонные и локомотивные, фрикционные клинья, поршни Д100, гильзы цилиндров Д100, колёчатые валы, блоки цилиндров и головки двигателей внутреннего сгорания, износостойкие отливки, станочное литьё и т. д.

Ожидаемый валовой доход в производстве:

- 1) вагонных и локомотивных колодок – 3,815 млрд сум/год.
- 2) фрикционных клиньев – 1,931 млрд сум/год.

#### Список литературы

- 1 **Турсунов, Н. К.** Повышение качества стали за счёт применения редкоземельных металлов / Н. К. Турсунов // Проблемы безопасности на транспорте : материалы XI Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 25–26 нояб. 2021 г.: в 2 ч. Ч. 1. – Гомель : БелГУТ, 2021. – С. 156–158.
- 2 Modeling the steering wheel influence by the driver on the vehicle's motion stability / D. Akhmedov [et al.] // Connechydro 2021 : Intern. scientific conference on construction mechanics, hydraulics and water resources engineering. – Tashkent, 2021. – Vol. 264. – P. 05015.
- 3 **Алимухамедов, Ш. П.** Напряженно-деформированное состояние устройства для гашения динамических нагрузок в трансмиссии транспортных машин / Ш. П. Алимухамедов, А. Д. Гапиров // Universum : технические науки. – 2018. – № 12 (57). – С. 23–28.
- 4 **Кайумджонович, Т. N.** Influence of coating formation conditions in chlorine-containing media on the corrosion properties of titanium / Т. N. Kayumjonovich, A. S. Pirmukhamedovich, U. T. Teleubaevich // Web of Scientist : International Scientific Research Journal. – 2022. – Vol. 3, no. 5. – P. 1692–1701.
- 5 Thermodynamic calculation of complex deoxidation by aluminum and silicon of melts of steel 20GL for cast parts of rolling stock autocouple devices / U. T. Teleubaevich [et al.] // Web of Scientist : International Scientific Research Journal. – 2022. – Vol. 3, no. 5. – P. 1761–1771.

УДК 669.18

### ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛИТЫХ ДЕТАЛЕЙ ТЕЛЕЖЕК ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

*Н. К. ТУРСУНОВ, Ш. П. АЛИМУХАМЕДОВ, Л. А. КУЧКОРОВ, О. Т. ТОИРОВ*  
*Ташкентский государственный транспортный университет, Республика Узбекистан*

Основным показателем, обеспечивающим наилучшие прочностные характеристики литых деталей тележек подвижного состава являются механические свойства, в том числе и ударная вязкость при отрицательных температурах.

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 увеличивается. Об этом свидетельствуют и результаты исследователей о причинах излома, которые возможно, связаны с вредными влияниями кислорода, фосфора, серы и неметаллическими включениями. Сравнение составляющих ударной вязкости при различных содержаниях серы и фосфора показывают, что увеличение содержания серы и фосфора приводит к более резкому снижению работы распространения трещины. Поэтому с 2016 года были внесены изменения по химическому составу стали 20ГЛ по вредным примесям и механическим свойствам. Так как ряд предприятий сталкивается с проблемой, заключающейся в низких значениях параметров, которые характеризуют механические свойства из-за повышенного содержания фосфора и серы [4], разработка новых технологических приемов выплавки и внепечной обработки, позволяющих рафинировать, модифицировать, влиять на состав и распределение неметаллических включений, для таких заводов является актуальной задачей.

В работе [1] исследовали влияние содержания серы и фосфора на механические свойства и хладостойкость стали марки 20ГЛ (0,22 % С, 1,45 % Mn и 0,30 % Si). Плавки проводили в промышленных индукционных печах на чистой шихте (сера и фосфор – менее 0,005 %) с последующими фракционными вводами серы и фосфора в заливочные ковши. Испытание механических свойств опытного металла проводили после нормализации и высокого отпуска (таблица 1).

Таблица 1 – Механические свойства стали 20ГЛ при разном содержании серы и фосфора

Массовая доля, %			Механические свойства							
S	P	[Al]	$\sigma_t$ , МПа	$\sigma_b$ , МПа	$\delta$ , %	$\psi$ , %	КСУ, кДж/м <sup>2</sup> , при t, °С			
							+20	-20	-40	-60
0,003	0,005	0,048	410	620	26,8	75,2	2310	1740	1530	1450
0,009	0,005	0,049	420	613	24,9	70,0	1670	1500	1360	1200
0,021	0,005	0,058	427	600	24,1	60,0	1120	700	460	400
0,035	0,005	0,052	430	600	24,2	48,1	770	670	700	560
0,005	0,020	0,040	430	623	25,4	66,0	1840	1650	1280	970
0,005	0,035	0,048	450	630	24,8	64,0	1350	1160	860	650

Приведенные данные показывают, что увеличение содержания серы и фосфора (от 0,003 до 0,035 %) оказывает отрицательное влияние в основном на пластичность и вязкость металла. Прочностные показатели стали 20ГЛ ( $\sigma_t$  и  $\sigma_b$ ) при изменении серы и фосфора в исследуемых пределах практически остаются без изменения. Результаты исследований показывают высокую целесообразность снижения содержания серы в металле до 0,003–0,005, так как при достижении малых концентраций (менее 0,01 %) в наибольшей степени возрастает ударная вязкость стали. При этом особенно эффективно положительное влияние низких содержаний серы на хладостойкость стали. При –60 °С сталь обладает ударной вязкостью, в несколько раз превышающей требования ГОСТ для положительных температур.

С целью повышения эксплуатационной надежности и улучшения механических свойств сталь в ковше обрабатывали алюминием (Al), силикокальцием (СК) и порошковой проволокой (Fe-V-Al-Ca) по четырем различным вариантам, с продувкой аргоном без оголения металла в течение 5 минут. Химический состав стали 20ГЛ, принятый для исследования и термодинамических расчетов, приведен в таблице 2.

Результаты плавки с использованием ПП представлены в таблице 3. Начальное содержание серы в металле перед обработкой ПП составляло 0,015 %.

Таблица 2 – Химический состав стали марки 20ГЛ

Элемент	C	Mn	Si	S	P	Cr	Cu	Ni	Al
Содержание элементов по массе, %	0,206	1,296	0,427	0,015	0,019	0,162	0,177	0,121	0,026

Таблица 3 – Основные результаты плавки при использовании ПП для десульфурации стали 20ГЛ

Вариант	$Q_R$ , мас.%	$\tau_{\text{выд}}$ , мин	[S] <sub>кон.</sub> , %	[O] <sub>с.</sub> , %	[Al] <sub>кон.</sub> , %	[V] <sub>кон.</sub> , %
1	Al – 0,1	5	0,015	0,0095	0,026	–
2	Al – 0,1; СК 30 – 0,1	5	0,014	0,0089	0,030	–
3	Al – 0,1; ПП – 0,1	5	0,011	0,0075	0,044	0,025
4	Al – 0,1; СК30 – 0,1; ПП – 0,1	5	0,008	0,0016	0,056	0,045



Как видно из данных таблицы 3, в зависимости от режима обработки расплава содержание серы в металле снижалось от исходных значений ( $[S]_{нач}$ ) 0,015 % до 0,011–0,008 %. Содержание общего кислорода в металле, обработанном по варианту 4, в 5,9 раза меньше, чем при использовании технологии по варианту 1 (традиционной для данного предприятия).

Плавки, обработанные порошковой проволокой, отличаются более высокой раскисленностью и степенью десульфурации. Это приводит, прежде всего, к уменьшению количества оксидных, сульфидных и сложного состава неметаллических включений в стали, а также к равномерному распределению их в объеме металла, которые коагулируют в макроскопления и затем частично удаляются из жидкой стали путем всплывания.

Таким образом, результаты исследования качества стали 20ГЛ, обработанной по различным вариантам в ковше, позволяют сделать следующие выводы:

- предложена новая концепция технологии модифицирования металла, которая позволяет повысить качество готовой продукции, улучшить макро- и микроструктуру металла и увеличить выход годных деталей железнодорожных тележек;
- введение ПП позволило получить металл с существенно меньшим содержанием серы (до 0,008 %), общего кислорода (до 0,0016 %);
- технология процесса модифицирования стали в сталеразливочном ковше вместимостью 6 т позволила улучшить механические свойства, особенно значение ударной вязкости (увеличение в 2,7 раза по сравнению с традиционной технологией);
- получены количественные зависимости технологических параметров модифицирования металла, положенные в основу новой технологической инструкции производства стали 20ГЛ;
- на основании комплексных полупромышленных исследований разработана и освоена рациональная технология модифицирования стали 20ГЛ с применением порошковой проволоки, обеспечивающая уникальное сочетание служебных свойств деталей железнодорожных тележек.

Результаты исследования внедрены в промышленное производство ДП «Литейно-механический завод» АО «Узбекистон темир йуллари».

#### 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*. – 2022. – № 2–2 (95). – С. 13–19.
- 2 **Kayumjonovich, T. N.** Development of a method for selecting the compositions of molding sands for critical parts of the rolling stock / T. N. Kayumjonovich // *Web of Scientist : International Scientific Research Journal*. – 2022. – Vol. 3, no. 5. – P. 1840–1847.
- 3 **Kayumjonovich, T. N.** Justification and choice of rational operating current frequency in induction crucible furnaces / T. N. Kayumjonovich, A. S. Pirmukhamedovich, U. T. Teleubaevich // *Innovative Technologica : Methodical Research Journal*. – 2022. – Vol. 3, no. 06. – P. 40–47.
- 4 **Турсунов, Н. К.** Исследование в лабораторных условиях и индукционной тигельной печи вместимостью 6 тонн режимов рафинирования стали 20ГЛ с целью повышения ее качества / Н. К. Турсунов, А. Е. Семин, Э. А. Санокулов // *Тяжелое машиностроение*. – 2017. – № 1–2. – С. 47–54.
- 5 **Турсунов, Н. К.** Исследование и совершенствование режимов рафинирования стали в индукционных печах с целью повышения качества изделий / Н. К. Турсунов // *Проблемы безопасности на транспорте : материалы XI Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 25–26 нояб. 2021 г. : в 2 ч. Ч. 1.* – Гомель : БелГУТ, 2021. – С. 153–156.

УДК 629.43:69.18

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК БОКОВЫХ РАМ ТЕЛЕЖЕК ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

*Н. К. ТУРСУНОВ, Ш. П. АЛИМУХАМЕДОВ, Т. Т. УРАЗБАЕВ, О. Т. ТОИРОВ*  
*Ташкентский государственный транспортный университет, Республика Узбекистан*

Прочностные показатели стали определяются степенью ее легирования. Характеристики пластичности и вязкости значительно зависят от степени загрязненности металла вредными примесями и дисперсности структурных составляющих металлической матрицы. Отрицательное влияние на пластичность и вязкость стали оказывают сера и фосфор, содержание которых в металле примерно на порядок выше по сравнению с кислородом, азотом или водородом. При этом особенно вредно

влияние серы, выделяющейся в процессе кристаллизации как в виде неметаллических включений различной морфологии, так и образующих сегрегации в приграничных участках [1].

Улучшение эксплуатационных и технологических свойств, промышленных изделий, повышение технического уровня и качества выпускаемой продукции является одной из основных задач науки, техники и современного машиностроения. Непрерывное ужесточение требований к надежности работы элементов конструкций заставляет более подробно анализировать конкретные условия их работы. Большинство станков, машин и деталей в процессе эксплуатации подвергаются циклическим нагрузкам. Поэтому проблема выносливости материалов актуальна для железнодорожной, автомобильной, авиационной, судостроительной, станкостроительной, энергетической и других отраслей промышленности.

Одним из основных компонентов этой конструкции является «рама боковая» (рисунок 1), т. к. она объединяет в единую систему надрессорную балку, рессорное подвешивание, колесные пары с буксовыми узлами и навесное тормозное оборудование. «Боковую раму» отливают из стали 20ГЛ согласно ГОСТ 32400–2013 [2–4].

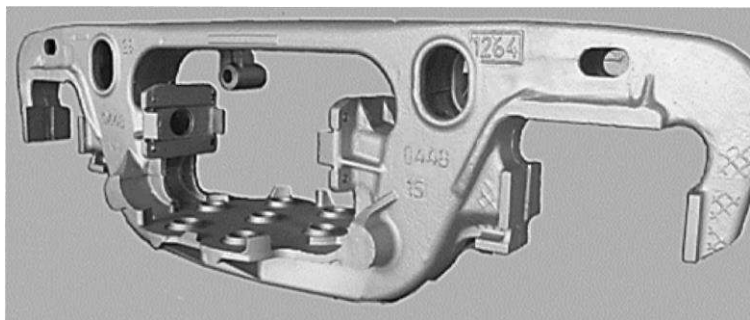


Рисунок 1 – Общий вид боковой рамы тележки модели 18-100

По статистическим данным, с ростом грузоперевозок на железнодорожном транспорте резко увеличились отказы литых деталей тележек модели 18-100 и за последнее 10 лет увеличились изломы боковых рам.

В эксплуатации наблюдаются в основном два вида изломов: хрупкий и усталостный. Основными факторами, способствующими этим изломам, являются: пониженные механические свойства стали; недостатки технологии выплавки и раскисления стали и несовершенство литейной технологии и разливки стали, приводящие к образованию объемных структурных несовершенств и повышенному количеству неметаллических включений в стали. Излом приводит к выходу ее из эксплуатации и, соответственно, к экономическим потерям, а главное – при запоздалом обнаружении дефекта может привести и к людским жертвам.

Несмотря на модификации конструкций и технологий изготовления боковой рамы с целью снижения риска эксплуатационного разрушения, аварии на железных дорогах, количество проблем, связанных с этим дефектом, не уменьшаются, а в ряде случаев увеличиваются.

Центральной заводской лабораторией ДП ЛМЗ проведены исследования по изучению причин изломов боковых рам. Детальный анализ очагов разрушения боковых рам показал, что в большинстве случаях в районе излома повышено содержание вредных примесей (в частности сульфиды и фосфиды), которые приводят к повышению хрупкости металла. Поэтому основным способом предотвращения возникновения излома в эксплуатации является регламентирование содержания вредных примесей в металле.

Как известно, химический состав стали входит в число основных параметров, определяющих механические свойства изделия, от оптимального сочетания которых зависит эксплуатационная стойкость и надежность деталей. Боковую раму тележки отливают из низколегированной стали 20ГЛ, 20ГФЛ или 20ФТЛ. Модификаций стали для боковой рамы несколько, но составы у них близки. Обычно это 20ГЛ или 20ГФЛ.

Для подвергающихся эксплуатационному износу деталей необходимо выбирать оптимальное сочетание всех механических свойств, в том числе при низких температурах, так как отливки эксплуатируются, в том числе в районах Крайнего Севера. Отмеченные задачи можно решить выбором оптимального химического состава стали, её модифицирования, микролегирования и параметров

термической обработки стальных отливок для железнодорожного транспорта, обеспечивающих высокие механические и эксплуатационные свойства отливок с учетом растущих требований.

Были проведены исследования зависимости числа циклов нагружения до потери несущей способности ( $N$ ) рамы боковой от количества модификатора. В качестве модификатора была использована порошковая проволока Fe-V-Al-Si от компаний NPP. Результаты исследования приведены на рисунке 2.

Как видно из данных, приведенных на рисунке 2, с увеличением количества модификатора число циклов нагружения до потери несущей способности увеличивается. Лучшие результаты наблюдали при обработке расплава модификатором в количестве 0,2 % от массы металла. Это достигается за счет снижения количества неметаллических включений и нейтрализации вредных примесей. Также модификаторы, очищая сталь от вредных примесей, улучшают ее литейные свойства, жидкотекучесть, условия питания и трещиностойчивость отливок, снижают анизотропию механических характеристик стали. Высокая эффективность влияния комплексного модифицирования на свойства стали обусловлена их благоприятным воздействием на состав, тип, форму, количество и равномерность распределения образующихся НВ, существенным улучшением макро- и микроструктуры заготовки, снижением ее физической и химической неоднородности, обеспечением повышенной плотности и дисперсности кристаллической структуры во всех зонах литой заготовки, в том числе малого сечения.

Обработка стали, комплексными модификаторами заметно повышает ее прочностные характеристики боковых рам тележек подвижного состава. Наиболее высокие значения числа циклов нагружения до потери несущей способности получили при обработке металла при вводе 0,2 % от общей массы металла, т. е. значения числа циклов 3,5–3,7 в 1,5–1,9 раза больше, чем при технологии по базовому варианту.

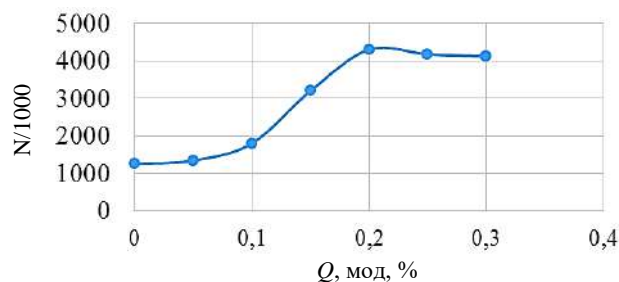


Рисунок 2 – Зависимость число циклов нагружения до потери несущей способности ( $N$ ) от количества модификатора

#### Список литературы

- 1 Analysis of the coatings selection for machine-building parts / A. A. Riskulov [et al.] // Web of Scientist : International Scientific Research Journal. – 2022. – Vol. 3, no. 6. – P. 1285–1297.
- 2 Турсунов, Н. К. Исследование процессов дефосфорации и десульфурации при выплавке стали 20ГЛ в индукционной тигельной печи с дальнейшей обработкой в ковше с использованием редкоземельных металлов / Н. К. Турсунов, А. Е. Семин, Э. А. Саноккулов // Черные металлы. – 2017. – № 1. – С. 33–40.
- 3 Турсунов, Н. К. Исследование в лабораторных условиях и индукционной тигельной печи вместимостью 6 тонн режимов рафинирования стали 20ГЛ с целью повышения ее качества / Н. К. Турсунов, А. Е. Семин, Э. А. Саноккулов // Тяжелое машиностроение. – 2017. – № 1–2. – С. 47–54.
- 4 Features of minerals and mineral-based materials / A. A. Riskulov [et al.] // Web of Scientist : International Scientific Research Journal. – 2022. – Vol. 3, no. 6. – P. 1310–1320.
- 5 Technological preproduction features of the parts manufacturing and material selection / A. A. Riskulov [et al.] // Web of Scientist : International Scientific Research Journal. – 2022. – Vol. 3, no. 6. – P. 1276–1284.

УДК 621.74.94

## РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЛИТЫХ ДЕТАЛЕЙ АВТОСЦЕПНЫХ УСТРОЙСТВ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Н. К. ТУРСУНОВ, Т. Т. УРАЗБАЕВ, Т. М. ТУРСУНОВ, У. Т. РАХИМОВ

Ташкентский государственный транспортный университет, Республика Узбекистан

Значительная доля грузовых перевозок в Республике Узбекистан приходится на железнодорожный транспорт. Повышенные скорости маневровых соударений вагонов, увеличение средней по сети и максимальной массы поездов обусловили более интенсивную нагруженность автосцепных устройств продольными силами. Безопасность и эффективность перевозок в значительной мере зависят от надежности подвижного состава. Одним из важнейших показателей в ходе эксплуатации по-

движного состава является качество автосцепных устройств, включающее в себя механические свойства автосцепных устройств и их эксплуатационную стойкость. В последние годы в связи с растущими потребностями в перевозке грузов и сокращением парка вагонов происходит интенсификация использования подвижного состава за счет увеличения скорости движения и снижения времени на ремонт и обслуживание. Условия эксплуатации вагонов на перспективу будут характеризоваться возрастанием веса грузовых поездов до 10–12 тыс. тс при длине состава 1200–1300 м, увеличением числа вагонов с весом брутто до 176 тс, повышением эффективности тормозов в поезде, увеличением средних скоростей соударения вагонов и т. п. Для нормальной работы в таких условиях автосцепные устройства вагонов должны обладать соответствующей прочностью, повышенной энергоемкостью, необходимой поглощающей способностью и оптимальной формой силовой характеристики.

Поэтому актуальными задачами являются разработка новой технологии изготовления литых деталей автосцепных устройств, повышение чистоты транспортного металла по недеформируемым оксидным неметаллическим включениям с высоким содержанием  $Al_2O_3$ , снижение общей загрязненности стали неметаллическими включениями и повышение эксплуатационной стойкости автосцепных устройств, получаемых из этой стали за счет микролегирования и модифицирования.

Целью работы являются разработка технологии изготовления литых деталей автосцепных устройств подвижного состава железнодорожного транспорта, исследование и совершенствование процессов рафинирования и модифицирования стали в ИТП с использованием комплексного модификатора, разработка технологических процессов, позволяющих производить металл для литых деталей железнодорожного транспорта, исключая отбраковку по такому дефекту, как усталостные трещины.

Опытные плавки проводились на ДП «Литейно-механический завод» в индукционной печи типа «Otto Junker» с ёмкостью 6 тонн с основной футеровкой. В качестве шихтовых материалов использовали отходы стали марки 20ГЛ. После расплавления твердой шихты удаляли шлак и снимали первую пробу на химический анализ. В индукционных печах процесс дефосфорации расплава происходит частично, то есть ниже температуры 1550 °С идёт процесс удаления фосфора и других вредных примесей.

**1-й этап.** Эксперимент начинался введением в новый шлак извести – 16,6 кг и плавящего шпата – 5 кг для десульфурации на 1 тонну стали. В результате добавок образовался белый шлак, который ускорила процесс десульфурации. После десульфурации удалили шлак и сняли вторую пробу для проведения химического анализа. Затем модифицировали химический состав расплава с добавлением ферросилиция ферромарганца до требуемого содержания. После расплавления ферросплавов брали третью пробу для проведения химического анализа. Когда состав сплава соответствует марке 20ГЛ, далее корректируется температура расплава с помощью погружной термопары, затем передаётся в ковш. Конечное раскисление расплава проводилось с добавлением кускового алюминия в стопорный ковш в количестве 0,9–1,2 кг на тонну стали, перед заливанием металла в форму (таблица 1). Измеряется итоговая температура сплава при помощи погружной термопары. Если температура расплава соответствует заливочной температуре сплава, то тогда горячий сплав можно передавать в заливочный участок. Во время заливки отбирается ковшовая четвёртая проба для итоговой проверки химического анализа.

**2-й этап.** Эксперимент проводился аналогично первому после раскисления расплава алюминием добавлением комплексных модификаторов типа ПП-ТМ 14-FeVAiCa проволоку с непрерывной подачей в ковш, в пропорции 1,6–2,5 кг на тонну стали во время заливки металла в ковш (таблица 2).

Результаты механических испытаний образцов после термической обработки по традиционной и по предложенной технологиям показаны в таблице 3.

Таблица 1 – Химический состав стали марки 20ГЛ после раскисления с алюминием

Номер плавки	Номер пробы	Массовая доля содержания элементов, %					
		C	Si	Mn	S	P	V
150	Ковшовая	0,202	0,365	1,17	0,031	0,028	Следы
151	Ковшовая	0,201	0,367	1,16	0,027	0,028	Следы

Таблица 2 – Химический состав стали марки 20ГЛ после раскисления с комплексным модификатором типа ПП-ТМ 14-FeVAiCa

Номер плавки	Номер пробы	Массовая доля содержания элементов, %					
		C	Si	Mn	S	P	V
152	Ковшовая	0,207	0,382	1,17	0,020	0,027	0,068
153	Ковшовая	0,222	0,365	1,22	0,019	0,028	0,063

Таблица 3 – Результаты механических испытаний образцов после термической обработки

Параметр	Значение параметров				
	ГОСТ 22703–2012	Фактически номер плавки			
		150	151	152	153
Предел текучести, МПа	> 500	502	505	613	577
Временное сопротивление, МПа	≥600	645	647	977	916
Относительное удлинение, %	≥12,0	15,8	16,8	20,8	19,8
Относительное сужение, %	≥25	43,5	43,7	65,3	64,1
Ударная вязкость (KCV <sup>50°C</sup> ), кДж/м <sup>2</sup>	≥15	27,5; 27,5	22,5; 22,5	60,0; 55,0	60,0; 60,0

Как видно из таблицы 3, при внепечной обработке стали с порошковой проволокой типа ПП-ТМ-14-FeVAIca стабильно повышаются механические свойства стали. Комплексное модифицирование позволило улучшить и увеличить механические свойства, такие как временное сопротивление – до 51,5 %; предел текучести – до 22,6 %; относительное удлинение – до 31,6 %; относительное сужение – на 50,1 %.

Результаты исследования показывают, что за счёт добавления в расплав комплексных модификаторов ПП-ТМ-14-FeVAIca улучшаются механические свойства стали 20ГЛ.

Исходя из проведённых исследований модифицирование стали марки 20ГЛ комплексными модификаторами является целесообразным для выплавки литых деталей автосцепных устройств.

#### Список литературы

- 1 **Турсунов, Н. К.** Снижение дефектности крупных литых деталей подвижного состава железнодорожного транспорта за счет выполнения мощных упрочняющих ребер / Н. К. Турсунов [и др.] // Проблемы безопасности на транспорте : материалы XI Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 25–26 нояб. 2021 г. : в 2 ч. Ч.1. – Гомель : БелГУТ, 2021. – С. 165–167.
- 2 Improvement of technology for producing cast parts of rolling stock by reducing the fracture of large steel castings / N. K. Tursunov [et al.] // Oriental renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences. – 2022. – Vol. 2, no. 4. – P. 948–953.
- 3 **Toirov, O. T.** Development of production technology of rolling stock cast part / O. T. Toirov, N. K. Tursunov // Conmechhydro 2021 : Intern. scientific conference on construction mechanics, hydraulics and water resources engineering. – Tashkent, 2021. – Vol. 264. – P. 05013.
- 4 Development of innovative technology of the high-quality steel production for the railway rolling stock cast parts / N. K. Tursunov [et al.] // Oriental renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences. – 2022. – Vol. 2, no. 4. – P. 992–997.
- 5 **Тоиров, О. Т.** Совершенствование технологии внепечной обработки стали с целью повышения ее механических свойств / О. Т. Тоиров, Н. К. Турсунов, Л. А. Кучкоров // Universum: технические науки. – 2022. – № 4–2 (97). – С. 65–68.
- 6 **Турсунов, Н. К.** Повышение качества стали за счёт применения редкоземельных металлов / Н. К. Турсунов // Проблемы безопасности на транспорте : материалы XI Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 25–26 нояб. 2021 г. : в 2 ч. Ч. 1. – Гомель : БелГУТ, 2021. – С. 156–158.

УДК 656.224:629.016.2

## ОЦЕНКА КАЧЕСТВА НОРМИРОВАНИЯ РАСХОДА ТОПЛИВА ТЕПЛОВОЗОМ

*С. Я. ФРЕНКЕЛЬ, А. П. ДЕДИНКИН, Г. Д. ЗАХАРОВА*  
*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Цель нормирования расхода топлива тепловозом на поездку – оценка теплотехнического состояния тепловоза и качества работы локомотивной бригады по топливосбережению. Это значит, что в идеале, кроме бригады и теплотехнического состояния тепловоза, ничего не должно влиять на выполнение нормы.

Отклонение от нормы расхода топлива

$$\Delta E = (E_n - E_t) / E_n \cdot 100 \%, \quad (1)$$

где  $E_n$  – установленная норма расхода топлива на поездку, кг;  $E_t$  – фактический расход топлива локомотивом за поездку, кг.

Исходные данные для исследования получены из базы данных автоматизированной системы интегрированной обработки маршрутов машиниста (АС ИОММ). Для рассмотрения приняты данные из маршрутов машиниста одного из локомотивных депо Белорусской ж. д. при работе тепловозов 2ТЭ10М за год.

На рисунке 1 приведена гистограмма распределения отклонения от нормы расхода топлива за поездку.

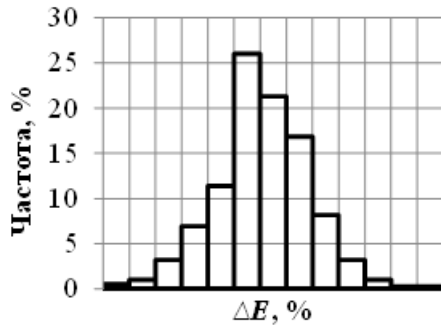


Рисунок 1 – Гистограмма распределения отклонения от нормы расхода топлива

состава на отклонение расхода топлива от нормы. Аналогичные результаты получены и для некоторых других эксплуатационных факторов. Это говорит о несовершенстве алгоритма расчёта нормы расхода топлива на поездку.

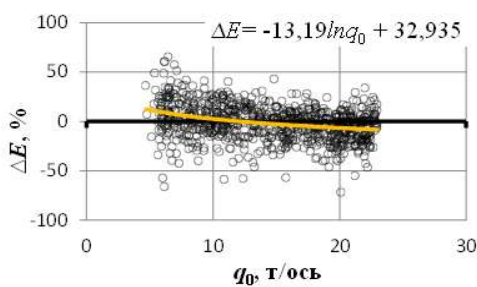


Рисунок 2 – Влияние массы состава на отклонение от нормы расхода топлива

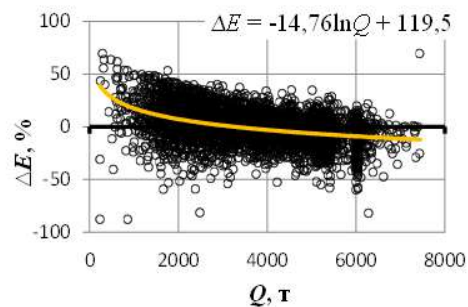


Рисунок 3 – Влияние осевой нагрузки состава на отклонение от нормы расхода топлива

Анализ условий эксплуатации показал, что  $Q$  – масса состава;  $q_0$  – средняя нагрузка на ось вагона;  $s$  – линейный пробег за поездку;  $A$  – перевозочная работа;  $v_t$  – техническая скорость;  $v_y$  – участковая скорость в поездках на протяжении года менялись в достаточно широких пределах.

При правильно построенном алгоритме расчёта нормы расхода топлива на поездку не должно быть влияния отдельных эксплуатационных факторов на выполнение нормы. Исключение составляют машинист и локомотив, поскольку целью анализа выполнения нормы расхода топлива является оценка качества работы машиниста по топливосбережению и теплотехнического состояния локомотива. Следовательно, при расчёте нормы расхода топлива на поездку влияние всех значимых эксплуатационных факторов должно быть компенсировано.

Чтобы оценить, насколько стабильно проявляется влияние массы состава и нагрузки на ось вагона, выбраны два тепловоза, один из которых за год имеет наибольшую за год суммарную экономию (тепловоз № 388), а второй – наибольший за год суммарный перерасход (тепловоз № 196). На рисунках 4, 5 видно, что для тепловоза «экономящего» линия тренда лежит выше, а для «перерасходующего» ниже, но тем не менее для каждого рассмотренного тепловоза проявляется влияние нагрузки на ось вагона и массы состава на отклонение расхода топлива от нормы.

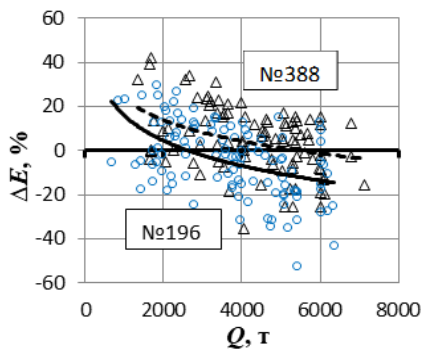


Рисунок 4 – Влияние массы состава на отклонение от нормы расхода топлива локомотивами № 388 и № 196

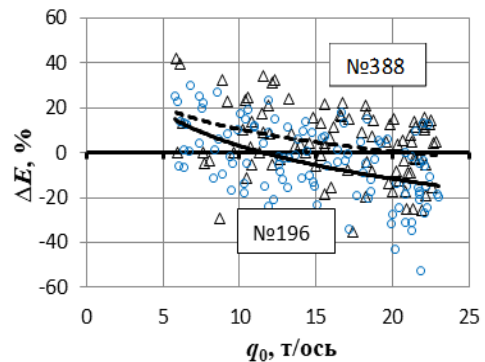


Рисунок 5 – Влияние осевой нагрузки на отклонение от нормы расхода топлива локомотивов № 388 и № 196

Величина отклонения от нормы расхода изменяется в широких пределах.

Для оценки влияния некоторых эксплуатационных факторов ниже построены поля рассеяния и соответствующие линии тренда для отклонения от нормы расхода топлива за поездку от отдельных эксплуатационных факторов. Каждая точка на рисунках 2, 3 является результатом поездки в координатах  $\Delta E(Q)$  или  $\Delta E(q_0)$ . Данные рисунки иллюстрируют влияние средней нагрузки на ось вагона и массы состава на отклонение расхода топлива от нормы. На рисунках 2, 3 очевидно влияние нагрузки на ось вагона и массы

Если предположить, что локомотив № 388 будет совершать поездки только с составами массой более 6000 т, а локомотив № 196 с составами массой не более 2000 т, то последний окажется более экономичным.

Аналогичные результаты получены при сравнении результатов работы локомотивных бригад.

Таким образом, можно утверждать, что при действующей на Белорусской ж. д. системе нормирования расхода топлива на тягу поездов на выполнение нормы влияют не только квалификация локомотивной бригады и теплотехническое состояние тепловоза, но и условия работы локомотива. А это значит, что оценка работы локомотивной бригады по топливосбережению и теплотехнического состояния тепловоза не вполне объективна. Следовательно, требуется совершенствование методики расчёта нормы с тем, чтобы на выполнение нормы расхода топлива влияли только работа локомотивной бригады и теплотехническое состояние тепловоза.

Одним из возможных путей совершенствования системы нормирования может быть применение для расчёта нормы расхода топлива моделей, построенных на данных из маршрутов машиниста за предшествующий период (месяц, квартал, год) [1].

#### Список литературы

1 Кузьмич, В. Д. Теория локомотивной тяги : учеб. для вузов ж.-д. транспорта / В. Д. Кузьмич, В. С. Руднев, С. Я. Френкель. – М. : Маршрут, 2005. – С. 399–409.

УДК 621.313.33

## МОДЕЛИРОВАНИЕ АСИНХРОННЫХ ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ЛОКОМОТИВОВ В ПРОГРАММНОЙ СРЕДЕ MATLAB/SIMULINK

О. Р. ХАМИДОВ, Н. С. ЗАЙНИДИНОВ

Ташкентский государственный транспортный университет, Республика Узбекистан

Наиболее адекватной является математическая модель в трехфазных координатах, которые описывают процесс преобразования электроэнергии в локомотивном асинхронном тяговом электродвигателе с короткозамкнутым ротором в переходных и стационарных режимах [1–3, 8].

На рисунке 1 представлена имитационная модель АТЭД, собранного в программной среде Matlab/Simulink, в естественных координатах.

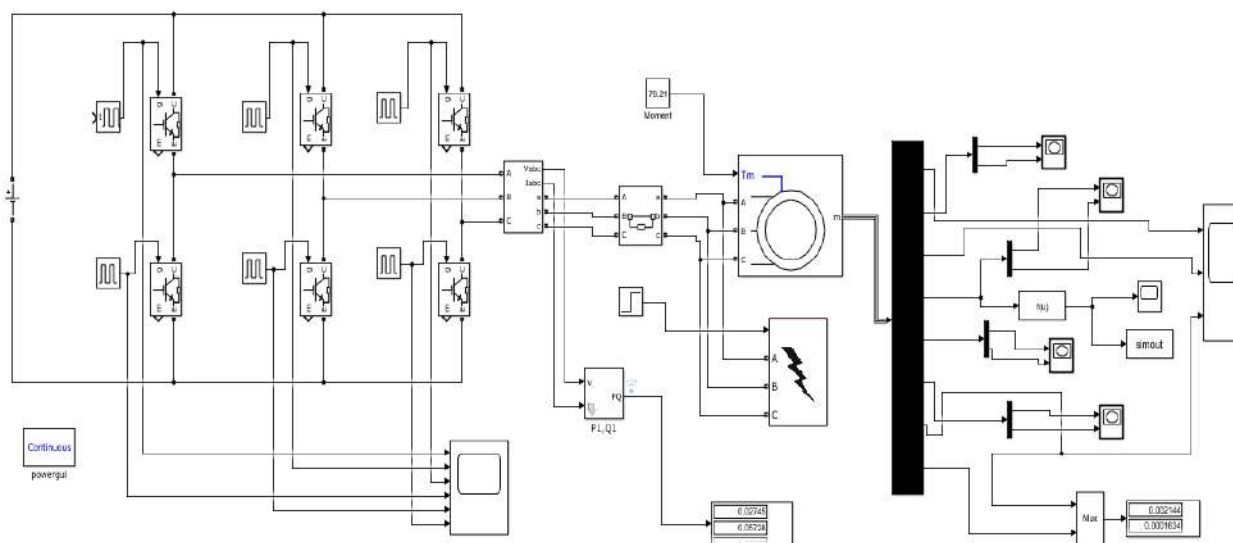


Рисунок 1 – Моделирование АТЭД в программной среде MATLAB/Simulink 2018b



Диагностика АТЭД локомотивов заключается в решении задачи классификации, когда определяется принадлежность входного набора данных (диагностических признаков) к одному из нескольких заранее известных классов технического состояния АТЭД. Нейросетевая модель для диагностики АТЭД локомотивов приведена на рисунке 2 [2–9].

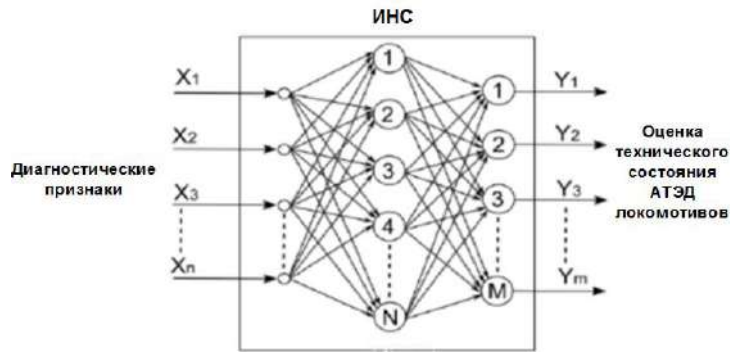


Рисунок 2 – Нейросетевая модель для оценки технического состояния АТЭД локомотивов

Построение математической модели АТЭД происходит в таком порядке.

Матрицы напряжений и токов, а также потокосцепления имеют следующий вид [1–3,6–9]:

$$[U_{ABCS}] = [I_{ABCS}] \cdot [R_{ABCS}] + \frac{d}{dt} [\Psi_{ABCS}], \quad (1)$$

$$[U_{ABCR}] = [I_{ABCR}] \cdot [R_{ABCR}] + \frac{d}{dt} [\Psi_{ABCR}], \quad (2)$$

$$\begin{bmatrix} \Psi_S \\ \Psi_R \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_{Ss} & L_{SR} \\ L_{RS} & L_{Rr} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_S \\ I_R \end{bmatrix}, \quad (3)$$

$$[L_{Ss}] = \begin{bmatrix} L_{AS} & M_{ABS} & M_{BCS} \\ M_{ABS} & L_{BS} & M_{BCS} \\ M_{ACS} & M_{BCS} & L_{CS} \end{bmatrix}, \quad (4)$$

$$[L_{Rr}] = \begin{bmatrix} L_{ar} & M_{abr} & M_{bcr} \\ M_{abr} & L_{br} & M_{bcr} \\ M_{acr} & M_{bcr} & L_{cr} \end{bmatrix}, \quad (5)$$

где  $L_{AS}, L_{BS}, L_{CS}$  – индуктивности фазы статора;  $L_{ar}, L_{br}, L_{cr}$  – индуктивности фазы ротора;  $M_{ABS}, M_{BCS}, M_{ACS}$  – взаимные индуктивности между фазами статора;  $M_{abr}, M_{bcr}, M_{acr}$  – взаимные индуктивности между фазами ротора.

Взаимные индуктивности фаз статора с обмотками ротора и обмоток ротора с фазами статора

$$[L_{SR}(\theta)] = \begin{bmatrix} L_{SRAa} \cos \theta & L_{SRAb} \cos \left( \theta + \frac{2\pi}{3} \right) & L_{SRAc} \cos \left( \theta - \frac{2\pi}{3} \right) \\ L_{SRAb} \cos \left( \theta - \frac{2\pi}{3} \right) & L_{SRBb} \cos \theta & L_{SRBc} \cos \left( \theta + \frac{2\pi}{3} \right) \\ L_{SRAc} \cos \left( \theta + \frac{2\pi}{3} \right) & L_{SRAc} \cos \left( \theta - \frac{2\pi}{3} \right) & L_{SRCc} \cos \theta \end{bmatrix}. \quad (6)$$



$$[L_{RS}(\theta)] = \begin{bmatrix} L_{RSAa} \cos \theta & L_{RSAb} \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & L_{RSAc} \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) \\ L_{RSBa} \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) & L_{RSBb} \cos \theta & L_{RSBc} \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) \\ L_{RSCa} \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & L_{RSCb} \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) & L_{RSCc} \cos \theta \end{bmatrix}. \quad (7)$$

$$L_{Ss} = L_{sl} + L_{sm}. \quad (8)$$

$$M_s = -0,5L_{ms}. \quad (9)$$

$$L_{Rr} = L_{rl} + L_{rm}. \quad (10)$$

$$M_r = -0,5L_{mr}. \quad (11)$$

Электромагнитный момент АТЭД локомотивов равен частной производной по геометрическому углу от общего запаса электромагнитной энергии АТЭД и может быть представлен следующим образом [2, 6–9]:

$$M_e = -GL_{sr} \begin{bmatrix} I_{sa} \left( I_{ra} \sin \theta + I_{ra} \sin\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) + I_{rc} \sin\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) \right) + \\ + I_{sb} \left( I_{ra} \sin\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) + I_{rb} \sin \theta + I_{rc} \sin\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) \right) + \\ + I_{sc} \left( I_{rb} \sin\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) + I_{rb} \sin\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) + I_{rc} \sin \theta \right) \end{bmatrix}. \quad (12)$$

Уравнение движения привода имеет следующий вид:

$$M_e \pm M_c = \frac{\sum J}{Z_p} \cdot \frac{d\omega_r}{dt} + f_v \omega_r. \quad (13)$$

Диагностика АТЭД локомотивов заключается в решении задачи классификации, когда определяется принадлежность входного набора данных (диагностических признаков) к одному из нескольких заранее известных классов технического состояния АТЭД.

Для обработки (реализации) данных, полученных при выполнении математического моделирования и оценки технического состояния АТЭД локомотивов была использована ИНС пакета программ Simulink/Matlab. На рисунке 3 представлены спектры асинхронного электродвигателя.

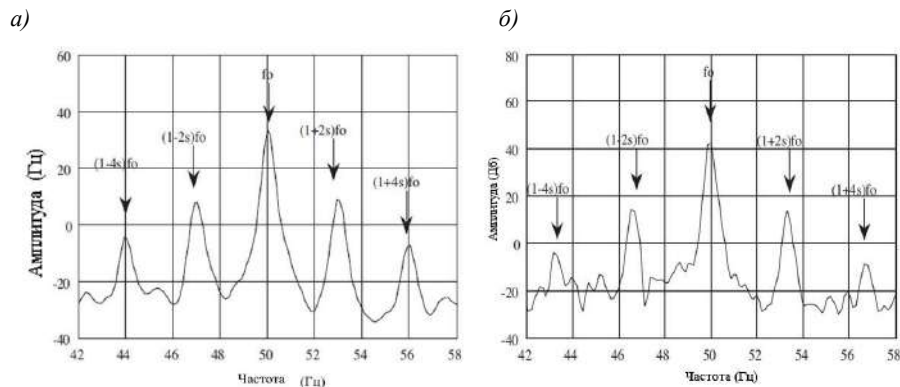


Рисунок 3 – Спектр тока при полной нагрузке:

а – одного обрыва стержня ротора; б – с двумя обрывами стержней, показывающими  $(1 \pm 2s)fs$  и  $(1 \pm 4s)fs$  боковых полос

Из рисунков 1–3 видно, что собранная трехфазная модель асинхронного тягового двигателя в программной среде Matlab Simulink позволяет анализировать несимметричные режимы переменных состояния электродвигателя.

Таким образом, показано, что искусственные сети являются мощным и доступным инструментом, способным давать достоверные результаты при технической диагностике асинхронных тяговых электродвигателей подвижного состава. Представленная математическая модель локомотивных асинхронных электродвигателей в трехфазной системе координат 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 Аппарат искусственных нейронных сетей для диагностики современного локомотива / А. В. Грищенко [и др.] // Локомотив. – 2012. – № 7. – С. 36–40.
- 3 **Хамидов, О. Р.** Разработка методики комплексного диагностирования асинхронного тягового электродвигателя подвижного состава железнодорожного транспорта / О. Р. Хамидов, О. Т. Касымов // Материалы конференции ГНИИ «Нацразвитие»: сб. избранных статей. – 2017. – С. 32–39.
- 4 Использование нейро-нечетких диагностических моделей при оценке технического состояния электрооборудования тепловоза / А. В. Агунов [и др.] // Электротехника. – 2017. – № 10. – С. 14–18.
- 5 **Хамидов, О. Р.** Оценка технического состояния асинхронных тяговых электродвигателей электровозов серии «UZ-EL» средствами вибродиагностики / О. Р. Хамидов, О. Т. Касымов // Материалы конференции ГНИИ «Нацразвитие». – 2017. – С. 13–19.
- 6 **Хамидов, О. Р.** Вибродиагностика повреждения подшипников качения локомотивных асинхронных электродвигателей / О. Р. Хамидов, А. В. Грищенко // Подвижной состав XXI века: идеи, требования, проекты // VIII Международная научно-техническая конференция, Петербургский гос. ун-т путей сообщения, 3–7 июля. – 2013. – С. 174–176.
- 7 **Grishchenko, A. V.** Diagnostics of the Technical Condition of Rolling Bearings of Asynchronous Traction Motors of Locomotives Based on Data Mining / A. V. Grishchenko // Russ. Electr. Engin. – 2020. – Vol. 91. – P. 593–596. – DOI: 10.3103/S1068371220100119
- 8 **Djanikulov, A. T.** Modeling of rotational oscillations in a diesel locomotive wheel-motor block / A. T. Djanikulov, Sh. I. Mamaev, O. T. Kasimov // Journal of Physics: Conference Series. ICMSIT-II 2021, IOP Publishing. – 1889 (2021) 022017. – DOI:10.1088/1742-6596/1889/2/022017.
- 9 **Kasimov, O. T.** Causes of rolling stock brake equipment failures. / O. T. Kasimov, Sh. I. Mamaev, A. V. Grishchenko // Journal of Technical science and innovation. – 2021. – No. 2. – P. 303–307. ISSN 2227-1031 (Print) ISSN 2414-0392 (Online).

УДК 656.22

## СРАВНЕНИЕ МЕТОДИК РАСЧЕТА СИЛ СОПРОТИВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЮ ПОЕЗДОВ

*О. С. ЧАГАНОВА*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Одним из важных вопросов, связанных с безопасностью движения поездов на железнодорожном транспорте, является определение сил сопротивления движению подвижного состава. В настоящее время расчет этих сил производится по различным методикам. Анализ современных исследований по креплению железнодорожных составов на станционных путях выявил, что данный вопрос актуален из-за несовершенства существующих нормативных документов.

На территории стран, входящих в Организацию сотрудничества железных дорог (ОСЖД), используются Правила тяговых расчетов [1], в соответствии с которыми на состав действует сила сопротивления, определяемая выражением

$$W = \sum_{j=1}^k W_j = \sum_{j=1}^k w_{oj}'' Q_{\text{ваг}} g, \quad (1)$$

где  $w_{oj}''$  – основное удельное сопротивление движению грузовых вагонов на звеньевом пути для 4-осных вагонов на роликовых подшипниках ( $q_{o4} > 6$  т),

$$w_{oj}'' = 0,7 + \frac{3 + 0,1v + 0,0025v^2}{q_{o4}}, \quad (2)$$

$q_{o4}$  – осевая нагрузка четырехосных вагонов, т/ось,

$$q_{o4} = \frac{Q_{\text{ваг}}}{4}; \quad (3)$$

$Q_{\text{ваг}}$  – это вес одного вагона;

Полагая в приведенных выражениях скорость равной нулю, получаем максимальные значения сил сопротивления, действующих на неподвижный вагон.

При нахождении поезда на станционных путях на вагоны действуют и иные силы: ветра, сопротивления движению при нахождении в кривой и др. Однако значения этих сил невелики, и, кроме того, в значительной мере носят случайный характер, что отражается на разбросе значений величин, наблюдаемом в результатах испытаний и таким образом будет автоматически учтено в случае обнаружения достоверной статистической закономерности.

В [2] сопротивление движению обычно определяется как сумма сопротивления качению и сопротивления воздуха. В большинстве случаев увеличение сопротивления движению транспортного средства из-за кривизны пути рассматривается отдельно. Подвижной состав различной формы и размеров, сложность аэродинамического сопротивления приводит к использованию эмпирических формул при расчете сопротивления качению. Сопротивление движению выражается уравнением вида

$$R = R_1 + R_2v + R_3v^2,$$

где  $R_1$  – коэффициент, зависящий только от веса транспортного средства и типа подшипника;  $R_2$  – коэффициент динамических потерь поезда;  $R_3$  – коэффициент сопротивления воздуха.

В работе [3] представлен параметр  $R_1$ , определяемый как сопротивление, зависящее от массы транспортного средства и от количества осей; уравнение вида  $R_1 = ax + b$  [4], приведенное в имперских единицах  $1,3wn + 29n$ , где  $w$  – нагрузка на ось, а  $n$  – число осей. Второй член в основном зависит от трения гребня, поэтому коэффициент  $R_2$  обычно мал (отсутствует в некоторых эмпирических формулах), а третий член зависит от сопротивления воздуха. Используемые формы уравнений сопротивления движению и выбранные эмпирические коэффициенты варьируются в зависимости от железнодорожных систем, что отражает использование уравнений, которые более точно соответствуют различным типам подвижного состава и скоростям движения. Список формул сопротивления движению представлен ниже на основе работ [3] и [4]. Все уравнения переведены в единицы СИ и выражены в ньютонах на тонну массы. Существует множество вариантов уравнений сопротивления движению. Далее приведены эмпирические формулы сопротивления движению грузового подвижного состава, используемые в зарубежных нормативных документах. Оригинальное уравнение Дэвиса –

$$R = 6,376 + \frac{129}{m_a} + Bv + \frac{CAv^2}{m_a n},$$

где  $B$  – поправочный коэффициент (0,091 – для локомотивов; 0,137 – для товарных вагонов);  $C$  – поправочный коэффициент (0,044 – для локомотива, 0,0092 – для товарного вагона);  $A$  – площадь передней части подвижного состава, м<sup>2</sup>;

Модифицированное уравнение Дэвиса –

$$R = K_a \left[ 2,943 + \frac{89}{m_a} + 0,0305v + \frac{1,718k_{ad}v^2}{m_a n} \right],$$

где  $K_a$  – поправочный коэффициент, зависящий от типа подвижного состава (равен 1,0 для подвижного состава постройки до 1950 г., 0,85 – для постройки после 1950 г.; 0,95 – для контейнера на платформе; 1,05 – для прицепа на платформе; 1,05 – для вагона-хоппера; 1,2 – для пустых крытых автоэстакад; 1,3 – для груженых крытых автоэстакад);  $k_{ad}$  – константа сопротивления воздуха в зависимости от типа вагона (0,07 – для обычной техники; 0,0935 – для контейнеров, 0,16 – для прицепов на платформах);  $v$  – скорость, км/ч;  $m_a$  – масса, приходящаяся на ось, т;  $n$  – количество осей.

Во Франции применяются следующие выражения для расчета сил сопротивления:

– локомотивы –

$$R = 0,65m_a n + 13n + 0,01m_a n v + 0,03v^2;$$

– грузовые вагоны французского стандарта UIC –

$$R = 9,81 \left( 1,25 + \frac{v^2}{6300} \right);$$

– французские грузовые вагоны с нагрузкой на ось 10 т –

$$R = 9,81 \left( 1,5 + \frac{v^2}{1600} \right).$$

В Германии применяется формула Страла –

$$R = 25 + k \frac{(v + \Delta v)}{10},$$

где  $k$  – экспериментально определённый коэффициент, равный 0,05 для смешанных грузовых поездов и 0,025 – для маршрутных поездов;  $\Delta v$  – скорость встречного ветра, обычно принимаемая равной 15 км/ч.

Даже с учетом параметров, описанных выше, влияние многих факторов не учитывается в следствии сложности расчета. Это касается аэродинамического сопротивления, конструкции кузова транспортного средства, имеющего более сложную структуру, чем это следует из представленных нескольких поправочных коэффициентов. Наблюдалось более высокое аэродинамическое сопротивление из-за добавления встречного ветра с небольшой составляющей бокового ветра для определенных типов поездов (например, открытых порожних вагонов-хопперов).

Таким образом, выполненный анализ учета сил сопротивления движению вагона показал, что из-за сложности учета всех факторов, влияющих на движение подвижного состава, большинство формул являются эмпирическими. Приведенные данные могут быть использованы для динамических расчетов и уточнения значений действующих нагрузок.

#### Список литературы

- 1 Правила тяговых расчетов для поездной работы. – М. : Транспорт, 1985. – 287 с.
- 2 Design and Simulation of Heavy Haul Locomotives and Trains / M. Spiryagin [et al.]. – 1nd ed. – CRC Press, 2016. – 459 p.
- 3 Hay, W. W. Railroad Engineering / W. W. Hay. – 2nd ed. – John Wiley & Sons, 1982. – 784 p.
- 4 Profillidis, V. A. Railway Engineering / V. A. Profillidis. – 2nd ed. – Ashgate Publishing, 2000.

УДК 621.33

## ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ТОКОСЪЕМА ТРАМВАЙНОГО ТОКОПРИЁМНИКА НА СТЫКАХ КОНТАКТНОЙ СЕТИ

*Д. А. ЧЕМОДАНОВ, Ф. М. ЛАУХИН*

*Самарский государственный университет путей сообщения, Российская Федерация*

Во время эксплуатации трамвая образование дуги между контактным проводом и токоприемником приводит к возникновению ряда проблем.

1 Выгорание контактной накладке на токоприемнике влечет за собой образование раковин и ухудшение скольжения провода.

2 Обгорание контактного провода и стыков приводит к ослаблению контактного провода и появлению мест разрыва [1, с. 21].

3 Кратковременное нарушение электропитания приводит к перебоям в работе бортовых систем трамвая.

Накладка полоза токоприёмника выполнена из алюминия, температура плавления которого достаточно невысокая. В момент прохождения стыков контактной сети происходит кратковременное нарушение контакта, в результате чего возникает дуга между контактным проводом и накладкой. На накладке, а также и на контактном проводе или соединительных элементах образуются значительные раковины от испарения металла – поджоги. Эти поджоги снижают качество токосъема за счёт снижения площади контакта накладке и провода, а также могут способствовать зацепу провода за поверхность при перемещении его вдоль накладке [2, с. 44].

Решение данной проблемы видится в модернизации системы питания трамвая путем внедрения бустерного источника энергии, который обеспечит автономное питание двигателей и вспомогательных систем трамвая во время прохождения стыков контактной сети. Чтобы автоматизировать

процесс переключения питания с контактной сети на бустерный источник энергии и обратно, необходима система управления бустерным источником энергии. Предлагаемая система строится на твердотельных ключах – силовых транзисторах. Это обеспечит быстродействие и долговечность, так как, в отличие от электромагнитных контакторов, отсутствуют подвижные механические части. В нормальном состоянии электронный ключ *VT1* закрыт, а *VT2* открыт. Прохождение тока происходит от контактной сети на тяговые двигатели. При возникновении дуги блок управления подаёт сигнал на закрытие ключа *VT2* и одновременное открытие *VT1*, таким образом дуга отсекается от тяговых двигателей и гасится с помощью зарядки конденсатора. А в это время питание электродвигателей осуществляется от аккумуляторной батареи (бустера) через открытый ключ *VT1*.

В качестве детектора срабатывания системы можно взять электромагнитные помехи, вызываемые дугой, или геолокацию. Система контроля токосъема срабатывает за счет улавливания приемником высокочастотных электромагнитных волн, образующихся при искрении между накладками, и проводом в момент отрыва, а также световых вспышек и звуковых волн. Использование трёх различных датчиков позволит системе лучше анализировать процесс токосъема и принимать те или иные меры, которые лежат в алгоритме действий. Чтобы отделять мелкие волны при незначительном искрении, сигнал проходит через фильтр, после чего поступает на блок анализа. Из блока анализа поступает сигнал на включение бустерного питания или электромагнитные клапаны системы активного регулирования силы нажатия, а также на аппараты управления вторым токоприемником.

Первый способ может также быть использован при прохождении участков с плохим контактом, например обледенение провода [3, с. 111]. Но минусом этого способа является запоздалая реакция, так как датчик электромагнитных помех сработает в случае возникновения дуги, которая по факту уже будет гореть и повреждать детали [4, с. 65]. Поэтому данный способ актуален для продолжительного нарушения контакта в любом месте контактной сети. Второй же способ с геолокацией подразумевает отключение от контактной сети и включение бустерного питания заблаговременно, т. е. на электронной карте наносят точки включения и отключения бустерного питания, ориентируясь на стыки контактной сети. Для осуществления геопозиционирования трамвая необходимо оборудовать его приемником спутникового сигнала (GPS/Глонасс), а также устройством с программным обеспечением (например, планшет или малогабаритный компьютер) и цифро-аналоговым преобразователем для управления ключами-транзисторами.

Принцип работы предложенной системы выглядит следующим образом: движущийся трамвай отслеживается на электронной карте, и при прохождении заданной точки отключается питание от контактной сети, при этом токоприёмник остается в поднятом положении. В этот момент на короткое время включается бустерное питание. Процессом включения/отключения руководит программное обеспечение с блоком управления. Движение в автономном режиме, как правило, не превышает по продолжительности 1 минуты. Поэтому емкость батареи аккумуляторов бустерного источника не большая – около 10 Ач при максимальном токе 400А при напряжении 600 В.

Предложенный способ решения проблемы повышения качества токосъема состоит из нескольких мероприятий:

- обеспечение автономного питания всех систем подвижного состава за счёт встроенного накопителя электроэнергии (ВАТ1, ВАТ2) на время горения дуги;
- применение конденсатора (С1, С2), включенного параллельно дуге для ускорения гашения дуги;
- обеспечение синхронизации выключения питания от сети с включением питания от накопителя;
- применение твердотельных ключей на силовых транзисторах в качестве устройства синхронизации;
- управляющий сигнал на блок синхронизации может подаваться от датчика электромагнитных помех, которые вызывает дуга, или по местоположению участков повышенного искрения (GPS-координаты);
- разработка специального программного обеспечения для управления и обучения блока синхронизации.

Кроме функции автономного питания предложенная система может использоваться для рекуперации и последующего разгона подвижного состава, снижая нагрузку на контактную сеть в момент пуска двигателей, что способствует повышению энергоэффективности подвижного состава. Предложенная система построена на принципах беспилотного управления подвижным составом, поэтому является очень актуальной [5].

## Список литературы

- 1 **Беляев, И. А.** Машинисту о контактной сети и токоосъеме / И. А. Беляев. – М. : Транспорт, 1986. – 128 с.
- 2 Электрический износ в паре трения токоприёмник – контактный провод // Железные дороги мира. – 2007. – № 5. – С. 43–49.
- 3 **Дрынкин, Г. А.** Изучение влияния метеоусловий на статистику неисправностей трамвайного токоприёмника // Дни студенческой науки : сб. материалов 47-й науч. конф. обучающихся СамГУПС. – Самара : СамГУПС, 2020. – Вып. 20. – С. 111–113.
- 4 **Андрончев И. К.** О проблеме повышения качества и надежности высокоскоростного токоосъема / И. К. Андрончев, Ф. М. Лаухин // сб. материалов 5-й науч. конф. студентов и аспирантов. – Самара : СамГУПС, 2008. – Вып. 9. – С. 65–66.
- 5 **Петров, Д. В.** Проблемы беспилотного управления пассажирским поездом в ближайшей перспективе / Д. В. Петров // Дни студенческой науки-2020 : сб. материалов 47-й науч. конф. обучающихся СамГУПС. – Самара : СамГУПС, 2020. – Вып. 20. – С. 119–121.

УДК 629.4.027

## РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ ДЛЯ РАСШИРЕНИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ГИДРОПРЕССОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ РЕМОНТЕ КОЛЁСНЫХ ПАР ВАГОНОВ С БУКСОВЫМИ УЗЛАМИ КАССЕТНОГО ТИПА

*Р. И. ЧЕРНИН*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В современных экономических условиях всё более актуальным наряду с обеспечением эксплуатационной надёжности вагонов становится вопрос оптимизации затрат.

Данная оптимизация может достигаться несколькими путями, включая основной – снижение расходов на техническую эксплуатацию и ремонт (плановый и внеплановый) инвентарного парка грузовых и пассажирских вагонов.

Экономический эффект от внедрения ресурсосберегающих технологий в технологические процессы ремонта весьма ощутим и далеко не исчерпан.

В Белорусском государственном университете транспорта (БелГУТе) ведутся разработки новых технических решений по следующим направлениям:

- 1) новые способы неразрушающего контроля прессовых соединений колёсных пар вагонов и устройств для их реализации;
- 2) исследование процессов гидрораспора в соединениях с натягом и разработка рациональной технологической оснастки для совершенствования процессов сборки-демонтажа прессовых соединений колёсных пар вагонов;
- 3) разработка устройств для нанесения покрытий из расплава полимера на внутренние и наружные цилиндрические поверхности деталей вагонов для защиты от коррозии и восстановления требуемых размеров.

В результате исследования по второму направлению разработан ряд технических решений, признанных патентами Республики Беларусь, Российской Федерации и Евразийского патентного ведомства по использованию гидропрессовой технологии для монтажа-демонтажа внутренних колец буксовых подшипников. Однако долгое время вопросы, связанные с использованием гидрораспора при монтаже получающих все большее распространение кассетных буксовых подшипников, не был разработан в должной мере.

Технической задачей работы в данном направлении является осуществление качественной и надёжной гидронапрессовки кассетной буксы в сборе с двумя роликовыми подшипниками на ось вагонной колёсной пары с торцовым подводом масла высокого давления в изолированную зону соприкосновения при осуществлении предварительной герметизации имеющихся разъёмов по торцам колец роликовых буксовых подшипников.

Разработанный способ сборки кассетной роликовой буксы с осью вагонной колёсной пары включает начальную облицовку расплавом полимера посадочных внутренних поверхностей составляющих деталей роликовой буксы в сборе при продольном её перемещении вдоль цилиндрической вращающейся оправки, подводящей расплав полимера, уплотняющей и калибрующей полимерный слой с охлаждением его холодным сжатым воздухом, который подается во внутреннюю полость облицовываемой буксы, а затем облицованную внутри полимерной плёнкой кассетную буксу напрессовывают на шейку оси при осуществлении гидрораспора в зоне контакта соединяемых с

гарантированным натягом деталей от давления масла, нагнетаемого с торца сопряжения. Для этого облицованную полимером кассетную буксу помещают внутрь корпуса силового гидроцилиндра устройства для сборки с упором в сдвигающий поршень в крайнем его положении в соприкосновении с крышкой буксы, а направляющий шток упомянутого силового цилиндра закрепляют соосно на торце шейки оси колёсной пары. Нагнетают масло во внутреннюю полость корпуса силового гидроцилиндра и выполняют частичную незначительную механическую напрессовку кольца заднего роликового подшипника кассетной буксы на шейку оси колёсной пары. Нагнетают масло высокого давления в зону полученного начального сопряжения для создания расклинивающей масляной прослойки в зоне контакта сопрягаемых деталей и при дальнейшем перемещении сдвигающего поршня силового гидроцилиндра выполняют полностью гидронапрессовку на шейку оси кассетной буксы до упора задней крышки последней в предподступичную часть оси колёсной пары. Снижают давление рабочей жидкости и демонтируют устройство для сборки с оси колёсной пары.

Гидропрессовая сборка производится в следующем порядке. Кассетную буксу с облицованными расплавом полимера посадочными поверхностями деталей помещают внутрь корпуса силового цилиндра с упором в сдвигающий поршень в крайнем его положении в соприкосновении с крышкой. Направляющий шток закрепляют с помощью болтов соосно на торце шейки оси колёсной пары. Нагнетают масло через штуцер во внутреннюю полость корпуса и выполняют частичную незначительную механическую напрессовку кольца заднего роликового подшипника кассетной буксы на шейку оси колёсной пары. Подают масло высокого давления в зону полученного сопряжения через каналы для создания расклинивающей масляной прослойки в зоне контакта соединяемых деталей и при дальнейшем перемещении поршня выполняют гидронапрессовку на шейку кассетной роликовой буксы до упора задней крышки последней в предподступичную часть оси колёсной пары. Снижают давление рабочей жидкости и демонтируют устройство для сборки с шейки оси колёсной пары. Ставят на место в отверстие передней крышки корпуса кассетной буксы её круглый плоский вкладыш с центральной заглушкой, крепят её к торцу шейки оси тремя болтами М 24×60 и закрепляют их по месту стопорной планкой.

Таким образом, предлагается использовать передовую гидропрессовую технологию в процессе формирования кассетных буксовых узлов роликовых колёсных пар вагонов, при которой реализуется расклинивающий эффект в деформированном кольцевом зазоре в зоне сопряжения соединяемых деталей от воздействия сжимаемой масляной прослойки. Однако реализовать гидрораспор при напрессовке буксы кассетного типа (например, ТВУ 150×250 мм) по всей длине её сопряжения с шейкой оси невозможно из-за утечек масла при наличии двух разъемов по торцам задней и передней крышек данной буксы с торцами смежно расположенных в ней двух роликовых подшипников и двух разъемов по торцам последних и дистанционного кольца между ними.

Предлагаемое устройство выполнено в виде силового гидроцилиндра, содержащего корпус с отъёмной крышкой и штуцером для подачи масла. Устройство имеет цилиндрический направляющий шток, скреплённый неподвижно с крышкой и снабжённый продольными сквозными отверстиями для размещения удлинённых болтов соосного скрепления его с шейкой оси колёсной пары, сопрягаемой с кассетной роликовой буксой (диаметр штока должен быть несколько меньше диаметра шейки). Предусмотрены каналы в штоке для подвода масла высокого давления в зону контакта сопрягаемых с шейкой деталей кассетного подшипника. В устройстве имеется сдвигающий поршень с кольцевыми уплотнениями, концентрично размещённый на направляющем штоке.

Сущность предлагаемого (как и подобных ему) технического решения заключается в совместном использовании процессов выполнения двух и более известных действий, приводящих к созданию новых или известных материальных объектов. Используется совместное последовательное осуществление в одном производственном процессе известных способов и технологической оснастки для облицовки расплавом полимера внутренних поверхностей деталей сопрягаемой с шейкой оси кассетной буксы (например, ТВУ 150×250 мм), а также применяется способ гидропрессовой сборки кассетной буксы с осью колёсной пары и устройства для выполнения торцевой её гидронапрессовки.

Эффективность данного технического решения заключается в реализации более прогрессивной сборки буксовых узлов колёсных пар вагонов по сравнению с применяемой в производстве механической запрессовкой кассетных букс с роликовыми подшипниками. Кроме того, использование тонкой полимерной пленки в зоне контакта собранных с гарантированным натягом деталей являет-

ся эффективным средством защиты от фреттинг-коррозии, вызывающей усталостные трещины в подступичных частях осей колёсных пар.

Дальнейшие разработки направлены на реализацию принципов гидропрессовой технологии при снятии (демонтаже) кассетных подшипников с шеек осей колёсных пар вагонов. Цель – разработка универсального устройства, позволяющего как напрессовывать, так и распрессовывать кассетные буксовые узлы.

Работа в данном направлении позволит не только снизить себестоимость ремонта, обеспечить сохранность сопрягаемых поверхностей, но и решить вопросы импортозамещения.

УДК 614.841:629.45

## **ОЦЕНКА ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЭЛЕКТРОПОЕЗДА ШТАДЛЕР МОДЕЛИ FLIRT ЭПМ-05-160**

*С. Н. ШАТИЛО*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В настоящее время отмечается увеличение пассажиропотока на железнодорожном транспорте Республики Беларусь. По данным управления Белорусской железной дороги, пассажирооборот в августе этого года составил 501,3 млн пас·км, или 109,5 к августу 2021 года. Объем пассажирских перевозок составил 6,1 млн человек. Отмечен рост пассажирских перевозок как в межрегиональном сообщении (на 7,3 %), так и в международном (на 43,8 %).

Рост пассажиропотока предъявляет всё более высокие требования к организации пассажирских перевозок, созданию комплекса сервисных услуг для пассажиров на вокзалах и в поездах. Особое внимание при этом уделяется обеспечению пожарной безопасности пассажирского железнодорожного подвижного состава. Несмотря на постоянное совершенствование конструкций такого подвижного состава и его противопожарной защиты риски возникновения пожаров в нем остаются. Это связано с тем, что в пассажирских вагонах сконцентрирована большая пожарная нагрузка и находится большое количество пассажиров. Поэтому уже на стадии проектирования современного электропоезда Штадлер приняты соответствующие объемно-планировочные и конструктивные решения, направленные на обеспечение противопожарной устойчивости, ограничение распространения пожара в электропоезде, своевременную и безопасную эвакуацию пассажиров, на своевременное обнаружение, локализацию и тушение пожара. При этом принятые решения соответствуют Техническому регламенту ТС 001/2011 «Безопасность железнодорожного подвижного состава», ГОСТ Р 55434–2013 «Электропоезда. Общие технические требования» и ГОСТ 34394–2018 «Локомотивы и моторвагонный подвижной состав. Требования пожарной безопасности». Снижение пожарной нагрузки пассажирских салонов электропоезда достигнуто за счет ограничения применения горючих материалов. Неметаллические материалы, применяемые во внутреннем оборудовании кабины машиниста и вагонов электропоезда, имеют подтверждающие документы (сертификаты соответствия и пожарной безопасности, протоколы испытаний аккредитованных лабораторий) по показателям пожарной опасности в соответствии с требованиями ГОСТ 34394–2018. Оценка соответствия неметаллических материалов производилась с учетом области применения и назначения. Все несущие элементы конструкции электропоезда, элементы систем вентиляции и кондиционирования, вспомогательное оборудование изготовлено из негорючих материалов. Материалы для теплоизоляции, облицовки потолков и стен пассажирских салонов имеют высокие показатели горючести (Г1 и Г2), воспламеняемости (В1 и В2), умеренной дымообразующей способности (Д2) и умеренной токсичности продуктов горения (Т2). Все материалы отнесены к категории не распространяющих пламя по поверхности или медленно распространяющих пламя по поверхности. Одним из важных факторов пожара, воздействующих на пассажиров при возникновении пожара в вагоне, являются токсичные продукты горения (окись углерода хлористый и цианистый водород и др.). Концентрация этих веществ уже в начальной стадии пожара в закрытом пространстве вагона может превышать предельно допустимую концентрацию, поэтому применение неметаллических материалов с приведенными выше показателями токсичности является важным условием обеспечения безопасности пассажиров, в том числе и при эвакуации в случае пожара.



Электропроводка в электропоезде выполнена с применением электрических проводов и кабелей, которые имеют соответствующие показатели и класс пожарной опасности, регламентируемые ГОСТ 31565–2012 «Кабельные изделия. Требования пожарной безопасности». Выбор электрических проводов и кабелей осуществлялся с учетом области применения на электропоезде, способа прокладки и монтажа. В соответствии с требованиями ГОСТ 34394–2018 выделены следующие области применения: аварийное освещение, пожарная сигнализация и пожаротушение, системы оповещения о пожаре, внутрипоездная связь; освещение и другие электрические цепи, проложенные в кабине машиниста и пассажирских салонах, которые отключаются в аварийных ситуациях; электрические провода и кабели, расположенные вне кабины машиниста и пассажирского салона. В соответствии с требованиями пожарной безопасности для первой области применения электрические провода и кабели должны иметь класс пожарной опасности не ниже П1б.7.1.2.1 или П1б.7.2.2.2 для второй области, при условии отключения электрических цепей в аварийной ситуации класс пожарной опасности должен быть не ниже – П1б.8.1.2.1 или П1б.8.2.2.2. В конструкции электропоезда применены кабели универсальные и контрольно-сигнальные, не распространяющие горения, с изоляцией и оболочкой из безгалогенных композиций на основе сшитого материала Radox. Изоляция соответствует пределу распространения горения при одиночной прокладке ПРГО1 и в пучке ПРГП2. Класс пожарной опасности при групповой прокладке – П1б.1.1.2.1 и П1б.8.1.2.1. По всем показателям примененная кабельная продукция соответствует нормам проектирования электропоезда. Для обеспечения пожарной безопасности предусмотрена раздельная прокладка высоковольтных и низковольтных электрических цепей. Объемно-планировочные решения и конструктивные меры приняты таким образом, что в кабине машиниста и пассажирских салонах практически нет пустот и мест, где могли бы скапливаться горючие материалы. Консольное крепление кресел облегчает уборку пассажирских салонов, а конструкция кресел и багажных полок позволяет визуально контролировать, находящиеся на них предметы. Открытое внутреннее пространство вагонов, отсутствие ниш, применение прозрачных перегородок в посадочных зонах позволяет постоянно контролировать ситуацию в вагонах. Температура поверхности отопительных элементов, осветительных элементов и другого оборудования при нормальной эксплуатации электропоезда не превышает 60 °С. Предусмотрены устройства защиты отопительного оборудования от перегрева, что исключает возгорание примыкающих конструкций. Для обеспечения пожарной безопасности при эксплуатации электрооборудования к цепям с номинальным напряжением выше 500 В и ниже 500 В применяются различные требования, т. к. они являются потенциальными источниками зажигания. Для предотвращения распространения пожара в электропоезде предусмотрены соответствующие объемно-планировочные и конструктивные решения, предусматривающие огнепреграждающие перегородки и соответствующее исполнение ограждений конструктивных элементов и электрооборудования. Огнепреграждающие перегородки между кабиной машиниста и пассажирским салоном имеют предел огнестойкости по показателям потери целостности конструкции и потере теплоизолирующей способности вследствие повышения температуры на необогреваемой поверхности конструкции до предельных значений E30/I15, что соответствует требованиям ГОСТ 34394–2018. Отличительной чертой конструкции электропоезда данной модели является то, что для ограничения распространения пожара вдоль электропоезда предусмотрены огнепреграждающие перегородки между пассажирским салоном и межвагонным перегоном, которые имеют такой же предел огнестойкости E30/I15. Двери в противопожарных преградах имеют предел огнестойкости EI15. Пол вагонов, стенки электрических шкафов с силовым электрооборудованием конструктивно выполнены таким образом, что при применении принятых конструктивных и отделочных материалов предел огнестойкости составляет EI30. Это также соответствует требованиям ГОСТ 34394–2018, а переходные площадки между вагонами имеют предел огнестойкости по показателю потери несущей способности R15.

Для своевременного обнаружения, локализации и тушения пожара электропоезд оборудован системами автоматической пожарной сигнализации и пожаротушения. Система пожарной сигнализации постоянного действия позволяет обнаружить очаги возгорания в определенных зонах электропоезда и оповещает машиниста на ранней стадии пожара. Пожарной сигнализацией оборудованы: пассажирский салон, туалеты, кабины машиниста, помещения для персонала и технические помещения, электрические шкафы. Система пожарной сигнализации позволяет обнаружить пожар по факторам повышения температуры, задымленности и определить место возникновения пожара. Обнаружение пожара осуществляется дымовыми пожарными и линейными тепловыми извещателями, подключенными к системе пожарной сигнализации. Тяговые преобразователи электропоезда обо-

рудованы линейными тепловыми извещателями, а дымовые пожарные извещатели установлены в следующих зонах: кабины машиниста, служебные помещения, пассажирский салон, туалеты, технические помещения и электрические шкафы. Система пожарной сигнализации в случае возникновения пожара подает сигнал (акустический и оптический) в рабочую кабину машиниста. При этом на дисплее системы диагностики отображается зона, где расположен сработавший извещатель. При обнаружении пожара в зонах, где находятся пассажиры и персонал, автоматически отключаются системы вентиляции и кондиционирования воздуха, а также происходит автоматическое закрытие противопожарных дверей вагона, где выявлен пожар. Система пожарной сигнализации в машинных отсеках и электрических шкафах заблокирована с системой аэрозольного пожаротушения.

Анализ пожарной безопасности электропоезда «Штадлер» новой модели показал, что принятые в проекте решения соответствуют всем нормативным требованиям для данного подвижного состава.

УДК 629.4:004.94

## МОДЕЛИРОВАНИЕ СДВИГА ЛОКОМОТИВОМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО СОСТАВА, РАЗМЕЩЕННОГО НА СТАЦИОННЫХ ПУТЯХ

*А. О. ШИМАНОВСКИЙ, О. В. ДЕМЬЯНЧУК*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Вагоны и специальный подвижной состав, стоящие на станционных путях без локомотива, должны быть надежно закреплены от ухода. На железных дорогах Китая, стран СНГ, Северной Америки, а также Европы в качестве средств закрепления подвижного состава на станционных путях применяются тормозные башмаки [1–3]. Для определения необходимого количества тормозных башмаков для закрепления подвижного состава на станционных путях станций Белорусской железной дороги используются Методические рекомендации по расчету норм закрепления подвижного состава тормозными башмаками, соответствующие требованиям Правил технической эксплуатации железной дороги в Республике Беларусь и Инструкции по движению поездов и маневровой работе на железнодорожном транспорте в Республике Беларусь.

На станции Орша-Центральная научно-исследовательской лабораторией «Управление перевозочным процессом» БелГУТа были проведены испытания соответствия удерживающих сил, возникающих при закреплении подвижного состава тормозными башмаками, и влияющих факторов и условий для исключения возможности самопроизвольного ухода вагонов. Однако не все результаты испытаний удается адекватно описать с помощью простых аналитических моделей, что связано с неполнотой учета механических характеристик вагонов. Ранее нами выполнено моделирование наезда одной колесной пары на тормозные башмаки [4]. В представленной работе предлагается компьютерная модель, предназначенная для оценки динамики железнодорожного состава, сдвигаемого локомотивом при установленных тормозных башмаках.

При установке состава поезда на станционном пути, который состоит из участков с разными значениями уклона продольного профиля, изменяется сдвигающая сила, действующая на отдельные вагоны. Таким образом, динамическое уравнение движения состава имеет вид

$$\sum_{i=1}^n m_i a_i = m_i g \sin \alpha_j - W_i \pm R_i + T_i - T_{i+1}, \quad (1)$$

где  $m_i$  – масса брутто  $i$ -го вагона;  $a_i$  – его ускорение;  $g$  – ускорение свободного падения;  $\alpha_j$  – уклон  $j$ -го участка пути;  $R_i$  – сила ветра;  $W_i$  – сила сопротивления движению;  $T_i$  и  $T_{i+1}$  – сила реакции межвагонных связей.

В среде программного комплекса MSC.ADAMS на основе данного уравнения разработана соответствующая проведенным натурным испытаниям модель железнодорожного состава, состоящего из 10 груженых и порожних вагонов различного типа (полувагоны, хопперы и цистерны), который расположен на станционном пути с переменным профилем (уклоны участков 3,1 и 2,8 ‰). Ее внешний вид представлен на рисунке 1. При расчете сил сопротивления с учетом работы [5] коэффициент трения между башмаком и колесной парой при сухих рельсах принят равным 0,25.

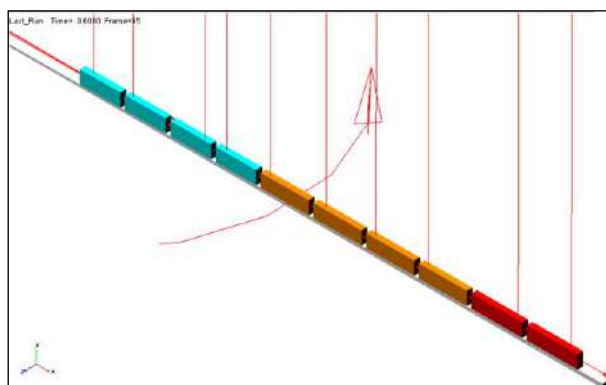


Рисунок 1 – Модель железнодорожного состава в среде MSC.ADAMS

В начале моделирования возникла необходимость обеспечить нахождение положения равновесия системы. Его автоматический поиск осуществить не удалось, что связано с наличием сил трения покоя. Поэтому к одному из вагонов состава была приложена сила, изменяющая свое значение от величины, которая необходима для удержания рассматриваемого состава на пути при отсутствии трения, до нуля, что обеспечивало получение координат вагонов и сил в автосцепках, соответствующих реальным условиям. Затем предполагалась выдержка состава без приложения дополнительных нагрузок с целью затухания продольных колебаний вагонов. Численные эксперименты показали, что длительность такой выдержки должна составлять не менее 10 с.

Третья стадия приложения нагрузок соответствовала сжатию состава с целью нахождения сил, необходимых для смещения состава вместе с удерживающими башмаками. На рисунке 2 представлен пример получающихся зависимостей скорости вагонов от времени.

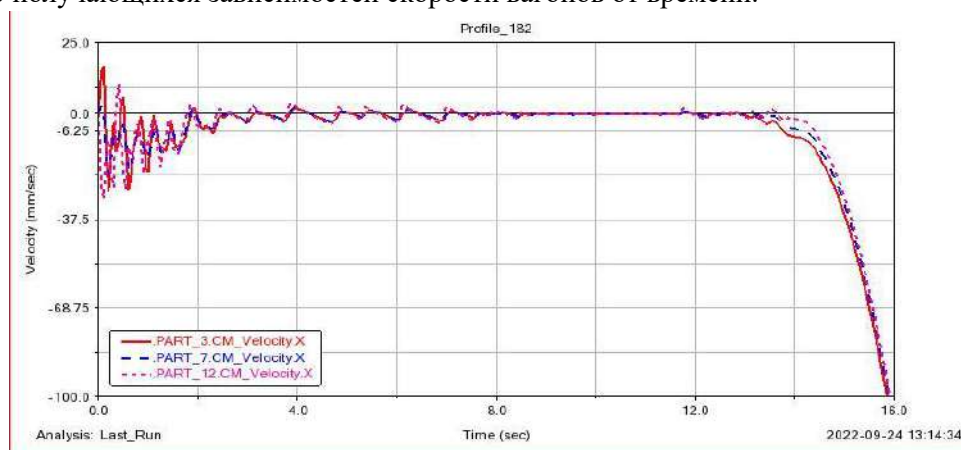


Рисунок 2 – Зависимости скоростей вагонов состава от времени

Результаты моделирования показали, что изменение коэффициентов жесткости автосцепок практически не оказывает влияния на сдвиг состава. Основными параметрами, влияющими на способность тормозных башмаков удержать состав, являются коэффициент трения и сила ветра.

Также установлено, что остановка состава при заданных параметрах моделирования, соответствующих отсутствию ветра, возможна только при укладке трех тормозных башмаков под груженные вагоны. При укладке одного тормозного башмака под груженный вагон остановка возможна только при увеличении коэффициента трения до 0,70.

Предполагается, что разработанная модель позволит установить возможные причины значительного разброса результатов, полученных в результате экспериментов.

#### Список литературы

- 1 Пасичный, А. Н. Обзор современных технических средств для закрепления подвижного состава на станционных путях / А. Н. Пасичный // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2013. – № 2. – С. 80–85.
- 2 Technical Bulletin MP&E 10-01, Enforcement Guidance Regarding Securement of Equipment with Title 49 Code of Federal Regulations Section 232.103(n) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [https://railroads.dot.gov/sites/fra.dot.gov/files/fra\\_net/1052/MP&E1001.pdf](https://railroads.dot.gov/sites/fra.dot.gov/files/fra_net/1052/MP&E1001.pdf). – Дата доступа : 05.10.2021.

3 Anti-Runaway Prevention System with Wireless Sensors for Intelligent Track Skates at Railway Stations / С. Jiang [et al.] // Sensors. – 2017. – Vol. 17, is. 12. – Article 2955. – P. 12.

4 Шимановский, А. О. Компьютерное моделирование динамики взаимодействия колесных пар вагонов с тормозными башмаками / А. О. Шимановский, М. Г. Кузнецова, О. В. Демьянчук // Механика машин, механизмов и материалов. – 2021. – № 4 (57). – С. 48–55.

5 Экспериментальные исследования характеристик сцепления в контакте «колесо-рельс» при наличии промежуточной среды / А. И. Костюкевич [и др.] // Вестник Нац. техн. ун-та «ХПИ»: сб. науч. тр. Темат. вып. : Автомобиле- и тракторостроение. – 2011. – № 56. – С. 56–62.

УДК 539.3:4

## ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ ЦЕЛЬНОКАТАНЫХ КОЛЕС С КОНИЧЕСКИМИ ДИСКАМИ И УЧЕТОМ ОСТАТОЧНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

К. С. ШОКУЧКОРОВ, Р. В. РАХИМОВ, Я. О. РУЗМЕТОВ, Ш. Б. ДЖАББАРОВ, С. Г. ИНАГАМОВ  
Ташкентский государственный транспортный университет, Республика Узбекистан

Причинами появления усталостных трещин в дисковой части колес служат неравномерный прокат или ползун на поверхности катания, создающие повышенные динамические нагрузки на дисковую часть колеса, усталость металла и внутренние остаточные напряжения, образовавшиеся в результате изготовления.

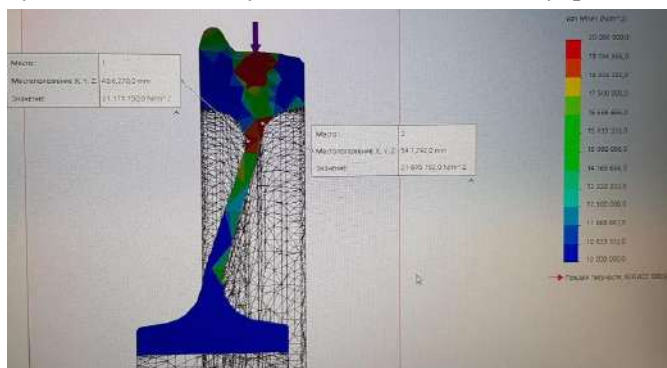


Рисунок 1 – Объекты анализа (исследования)

Объект для расчета в состоянии поставки с завода изготовителя (рисунок 1) – колесо цельнокатаное с плоскоконическим диском, диаметром по кругу катания 957 мм, изготовленное по ГОСТ 10791–2011, сталь марки 2.

Отметим, что в нормативах [1, 2] расчет прочности колес грузовых и пассажирских вагонов выполняется с учетом различных значений толщины ободьев (в результате обточек после определенного пробега), а также вероятного появления ползунов на поверхности катания или неравномерного проката.

Таблица 1 – Напряжения Мизеса в расчетной зоне колеса, возникающие за срок службы

Номер блока нагрузок $j$	Состояние вагона	Действующие нагрузки, кН	Доля движения $\lambda$	Среднее напряжение Мизеса $\bar{\sigma}$ в расчетной зоне колеса при $n$ обточке, МПа				
				$n = 0$	$n = 1$	$n = 2$	$n = 3$	$n = 4$
1	Груженое	$\bar{P} = 142,8$	0,2514	45	50	55	57	60
2		$\bar{P}_2 = 196,9$	0,045	55	60	65	72	77
3		$\bar{P}_3 = 273,8$	0,0036	75	85	90	100	110
4	Порожнее	$\bar{P}_1 = 37,3$	0,1676	10	11	12	15	16
5		$\bar{P}_2 = 51,4$	0,03	15	18	19	21	22
6		$\bar{P}_3 = 182,7$	0,0024	50	55	60	70	75
7	Груженое	$\bar{P}_1 = 142,8$ $Q = 21,7$	0,2514	48	53	60	64	69
8		$\bar{P}_2 = 196,9$ $Q = 21,7$	0,045	60	70	78	82	92
9		$\bar{P}_3 = 273,8$ $Q = 21,7$	0,0036	80	90	100	110	120
10	Порожнее	$\bar{P}_1 = 37,3$ $Q = 5,67$	0,1676	10	12	15	17	18
11		$\bar{P}_2 = 51,4$ $Q = 5,67$	0,03	15	19	21	22	24
12		$\bar{P}_3 = 182,7$ $Q = 5,67$	0,0024	55	60	67	73	76

Примечание –  $\bar{P}_1$  – для колеса без дефекта на поверхности катания;  $\bar{P}_2$  – для колеса с ползуном;  $\bar{P}_3$  – для колеса с неравномерным прокатом.

В таблице 1 указаны средние напряжения Мизеса, рассчитанные с помощью программы SolidWorks/Simulation.

В [2] рассчитаны действующие на колесо вертикальные  $P$  и поперечные  $Q$  нагрузки которые действуют в эксплуатации, с учетом состояния колеса (без дефектов, с ползуном, с неравномерным прокатом), движением колеса в любом состоянии за период срока службы, состояния вагона (см. таблицу 1).

Используя данные таблицы 1, коэффициент запаса прочности колеса в зоне сопряжения диска с ободом рассчитывается по формуле.

$$\sigma_{\text{аз}} = \sqrt[m]{\frac{N_c}{N_0} \cdot \frac{0,5}{1+k_n}} \cdot \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{12} \frac{\lambda_j}{\sqrt{2\pi S_{\sigma_{ij}}}} \int_{\sigma_{\min}}^{\sigma_{\max}} \sigma^m e^{-\frac{(\sigma-\sigma_j)^2}{2S_{\sigma_{ij}}^2}} d\sigma, \quad (1)$$

где  $m$  – показатель степени кривой усталости колес,  $m = 9$ ;  $N_0$  – базовое число циклов,  $N_0 = 108$ ;  $N_c$  – суммарное число циклов действия вертикальной нагрузки за расчетный срок службы колеса,  $N_c = 30 \cdot 108$ ;  $S_{\min}$ ,  $S_{\max}$  – минимальные и максимальные значения амплитуд напряжений в расчетной зоне;  $j$  – номер блока нагрузок;  $i$  – порядковый номер варианта расчетной толщины обода;  $k_n$  – коэффициент порожнего пробега вагона;  $n = 5$  – число вариантов толщин обода колеса с учетом обточек при ремонте;  $\lambda_j$  – доля движения колеса без дефектов, с ползуном и неравномерным прокатом в общем пробеге колеса, соответственно  $\lambda_1 = 0,838$ ;  $\lambda_2 = 0,150$ ;  $\lambda_3 = 0,012$ ;  $\bar{\sigma}_{ij} = \sigma \bar{P}_j \left(1 + 0,683 \frac{\bar{Q}_j}{\bar{P}_j}\right)$  – среднее значение

напряжения в блоке;  $S_{\sigma_{ij}} = \sigma S_{P_j} \left(1 + 0,683 \frac{S_{Q_j}}{S_{P_j}}\right)$  – среднеквадратичное отклонение в блоке.

Среднеквадратичные отклонения, рассчитанные по [1], составили:  $S_{P_1} = 26,5$  кН – для колеса без дефектов;  $S_{P_2} = 21,2$  кН – для колеса с ползуном;  $S_{P_3} = 62,7$  кН;  $S_Q = 14,2$  кН.

Результат расчёта без остаточных технологических напряжений колеса  $n = 2,06$ , что превышает допустимое значение  $n = 2,0$  [2]. Учет остаточных технологических напряжений колеса снижает его коэффициент запаса прочности до  $nr = 1,2$ , что может служить причиной его излома от неучтенных в нормах нагрузок в эксплуатации.

Предложенная методика расчета коэффициента запаса прочности актуальна только для зоны перехода диска в обод [3].

Учитывая тот факт, что в эксплуатации имеются отказы колес вагонов, связанные с появлением усталостных трещин в зоне перехода диска в обод до окончания назначенного срока службы, то следует учитывать остаточные технологические напряжения в расчетах колес на прочность от действия динамических нагрузок.

#### Список литературы

- 1 Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных) / ГосНИИВ-ВНИИЖТ. – 1996. – С. 289–292.
- 2 Результаты расчета коэффициента запаса прочности колеса с коническим диском тележки грузового вагона с помощью Mathcad / А. В. Якушев, А. Е. Архипова, Р. М. Гетманец // Науковедение. – 2014. – № 5. – С. 1–11.
- 3 Остаточные напряжения в цельнокатаных колесах после упрочняющей обработки / И. А. Иванов [и др.] // Известия ПГУПС. – 2016. – № 3. – С. 337–343.

### 3 ИНФОРМАЦИОННАЯ И ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ СИСТЕМ АВТОМАТИКИ, ТЕЛЕМЕХАНИКИ И СВЯЗИ

УДК 621.314

#### ДИАГНОСТИКА ТРАНСФОРМАТОРОВ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ С ПОМОЩЬЮ ПРИБОРНОГО УЧЕТА ДАННЫХ И СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

*В. О. БЕЛЬКИН, И. Л. ГРОМЫКО*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Неотъемлемым элементом при централизованном электроснабжении является трансформатор. Выход из строя силового трансформатора может привести к созданию аварийных ситуаций, перебоям электроснабжения, массовому недоотпуску продукции. Поэтому, контроль состояния трансформатора является важной задачей.

Основные неисправности силовых трансформаторов:

- 1 Межвитковые замыкания.
- 2 Местное замыкание пластин стали (пожар в стали).
- 3 Наличие примесей в трансформаторном масле.

К дополнительным неисправностям, относят:

- 1 Деформация магнитопровода.
- 2 Механическая деформация обмоток.

При выполнении опытов в трансформатор заблаговременно вводились поочередно все неисправности и затем проводились испытания. По результатам экспериментов было выявлено, что наиболее значимыми исходными данными для нейромоделирования являются следующие:

- температура на поверхности обмоток (при МКЗ средний градиент температуры в зоне МКЗ составил около 35 °С/мин);
- отношение токов, напряжений и активных мощностей первичной и вторичной обмоток;
- состав окружающего воздуха на наличие частиц задымления от лака и бумажной изоляции.

Исследование дополнительных испытаний позволяет выявить наиболее значимо изменяющиеся параметры экспериментально. При деформации магнитопровода наблюдается увеличение потерь холостого хода и уменьшение активного сопротивления Т-образной схемы замещения на холостом ходу. А при механической деформации обмоток: увеличивается индуктивность и активное сопротивление обмоток.

На рисунке 1 представлено влияние диагностических испытаний для увеличения срока службы трансформатора.

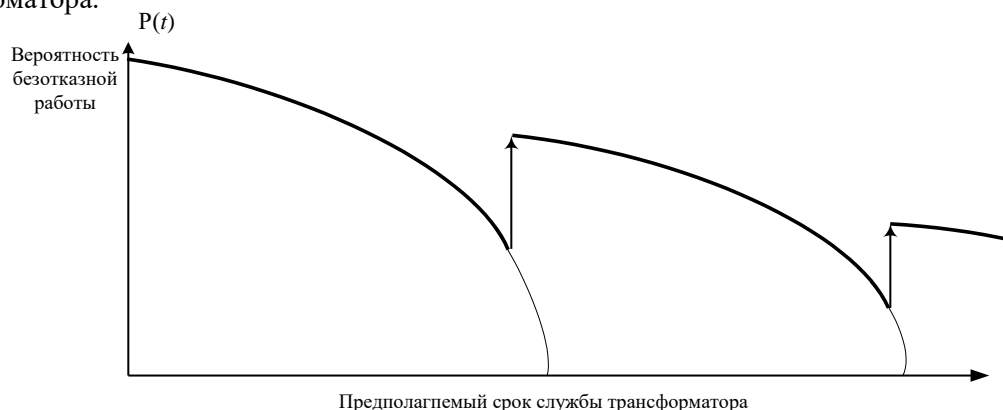


Рисунок 1 – Влияние диагностических испытаний и корректировочные меры для увеличения срока службы трансформатора

Сверточная нейронная сеть, принимая на свой вход данные с первичных преобразователей, позволит в режиме реального времени анализировать информацию и судить о том или ином состоянии электрической машины, не выводя трансформатор из работы, а также с вероятностью 90 % прогнозировать остаточный ресурс. Это предоставляет дополнительные возможности в обеспечении низкого уровня безаварийности и соблюдения режимов бесперебойного электрообеспечения. При этом затраты на внедрение данной технологии нейромоделирования относительно невелики (например, применение одноплатных компьютеров), а эффективность от применения будет существенной.

Состояние изоляции обмоток трансформатора можно оценить, измеряя всего несколько параметров: сопротивление изоляции постоянному току, коэффициенты абсорбции  $DAR$ , поляризации  $PI$  и диэлектрического разряда  $DD$ . Значения этих величин позволяют обнаружить расслоение и загрязнение, определить ток утечки, степень влажности и старения, т.е. сделать вывод о пригодности изоляции к дальнейшей эксплуатации.

В настоящее время существует три метода определения степени увлажненности трансформаторов: «емкость – время», емкостно-температурный метод, метод частотной зависимости емкости.

При испытании изоляции, согласно ТКП 181-2009, сопротивление измерялось мегаомметром MS5201 (на напряжение 1000 В). Характерными временными отсечками при выполнении измерений сопротивления изоляции обмоток являлись следующие: 15 секунд после начала измерения ( $R_{15}$ ); 60 секунд ( $R_{60}$ ); 600 секунд ( $R_{600}$ ).

Данные измерения необходимы для определения действительного сопротивления ( $R_{60}$ ), а также коэффициента абсорбции и индекса поляризации.

В таблице 1 приведены критерии оценки качества изоляции, основанные на результатах измерений индекса поляризации и коэффициента абсорбции. В таблице 2 приводятся частично результаты оценки качества изоляции.

Таблица 1 – Оценка качества изоляции

Индекс поляризации	Коэффициент абсорбции	Качество изоляции
<1	<1,25	Опасное
1–2		Несоответствующее
2–4	1,25–1,6	Хорошее
>4	>1,6	Отличное

Таблица 2 – Результаты измерений для оценки качества изоляции

Сутки	$R_{15}$	$R_{60}$	$R_{600}$	$DAR$	$PI$
	МОм				
0	481	798	2000	1,659044	2,50627
1	273	491	1133	1,798535	2,30754
2	140	245	519	1,750000	2,11837
3	95	180	318	1,894737	1,76666
4	86	133	232	1,546512	1,74436
5	58	104	140	1,793103	1,34615
6	55	65	81	1,181818	1,24615
7	61	66	60	1,081967	0,90909
8	41	47	50	1,146341	1,06383
9	37	40	36	1,081081	0,90000
10	32	30	29	0,937500	0,96667

С помощью программы *Mathlab* на основе Т-образной схемы замещения апробирован и верифицирован инструментарий анализа коротких замыканий обмоток и неисправностей магнитопровода для дальнейшего обучения сверточных нейронных сетей.

#### Список литературы

1 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.

## ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПЕРВИЧНОЙ СЕТИ СВЯЗИ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ОРГАНИЗАЦИИ «БЕЛОРУССКАЯ ЖЕЛЕЗНАЯ ДОРОГА»

*А. Н. БЕЛЬСКИЙ*

*Белорусская железная дорога, г. Минск*

*С. В. КИСЕЛЕВА*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

WDM – это технология, которая позволяет передавать различные оптические сигналы по одному волокну. В качестве основного стратегического решения для организации первичной сети Государственной организации «Белорусская железная дорога» предлагается развивать оптическую транспортную платформу на базе технологии WDM с использованием двух её разновидностей:

- плотного мультиплексирования с разделением по длинам волн (Dense Wavelength Division Multiplexing – DWDM);
- неплотного мультиплексирования с разделением по длинам волн (Coarse Wavelength Division Multiplexing – CWDM).

Такое решение, широко распространённое во всём мире, позволяет многократно увеличить пропускную способность оптических линий, причём постепенно по мере необходимости и без прерывания действующих связей.

На фоне планируемой тотальной «пакетизации» технология SDH как технология класса TDM начинает терять позиции основной технологии первичной сети и постепенно отходит на второй план. Для сохранения преемственности технология SDH может использоваться поверх пакетной технологии MPLS (SDH over MPLS).

Предлагаемые направления дальнейшего развития должны обеспечить формирование эффективной транспортной телекоммуникационной платформы первичной сети Белорусской железной дороги (рисунок 1).

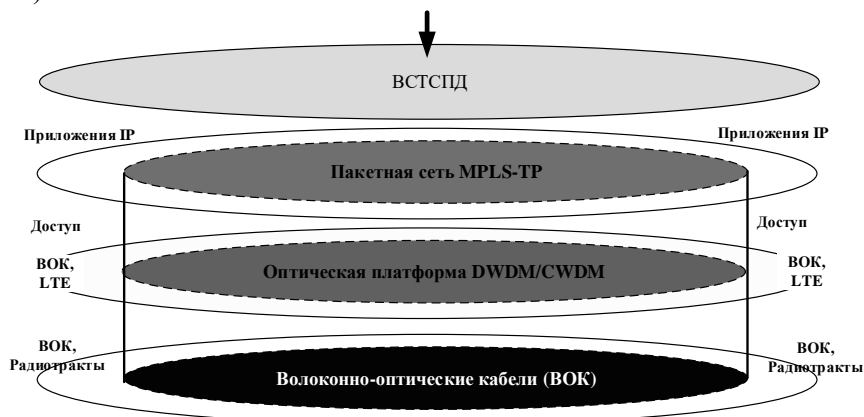


Рисунок 1 – Плоскостная многослойная модель инфокоммуникационной сети инфраструктуры  
ГО «Белорусская железная дорога»

Наиболее распространённой перспективной пакетной технологией для протяжённых сетей является технология IP/MPLS с функцией трафик-инжиниринга (Traffic Engineering), где:

- IP – протокол Интернет (Internet Protocol) в качестве протокола верхнего уровня;
- MPLS – технология многопротокольной коммутации с использованием меток (Multiprotocol Label Switching).

Упрощённая обобщённая схема пакетной сети MPLS представлена на рисунке 2.

Основные преимущества MPLS по сравнению с непосредственной маршрутизацией пакетов IP:

- 1 Упрощение передачи. Коммутация по меткам позволяет принимать решение о дальнейшей передаче пакета на основании анализа метки небольшой длины, в то время как при непосредственной маршрутизации пакетов IP производится анализ всего заголовка пакета.



2 Эффективность маршрутизации. MPLS позволяет использовать явные маршруты только после установления коммутируемого тракта. В сетях IP явный маршрут содержится в заголовке каждого пакета, передаваемого по этому маршруту, что является источником значительной перегруженности сети.

3 Возможность методов и механизмов сбалансированной загрузки всех ресурсов сети за счет выбора пути прохождения трафика. Технология MPLS позволяет перераспределять нагрузку между различными каналами и маршрутизаторами, что является важной особенностью для сетей с возможностью выбора альтернативного маршрута.

4 Простая модель передачи. Коммутация по меткам предлагает простой способ передачи, который обеспечивает поддержку нескольких классов услуг в одной и той же сети, независимо от протоколов плоскости управления, используемых для составления таблиц определения направления передачи.

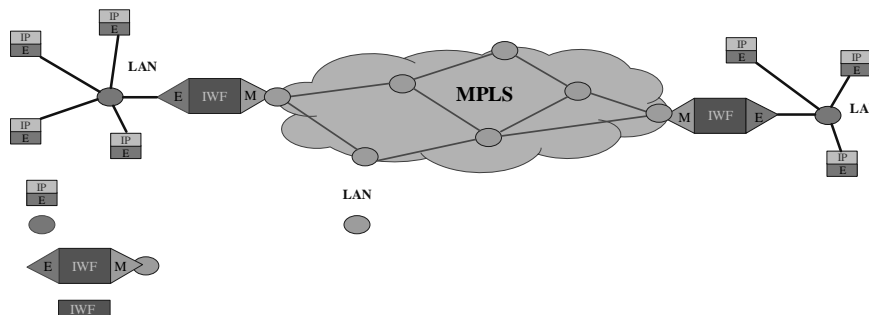


Рисунок 2 – Упрощенная обобщенная схема пакетной сети MPLS

Моделирование трафика позволяет направлять потоки данных не по кратчайшему пути, вычисленному с помощью традиционных протоколов маршрутизации, а через менее загруженные узлы и каналы связи. В настоящее время моделирование трафика очень актуально в связи с чрезвычайно быстрым ростом потребности в сетевых ресурсах, внедрением критически важных IP-приложений и острой конкуренцией на рынке сетевых услуг. При правильном моделировании трафика нагрузка на все физические каналы связи, маршрутизаторы и коммутаторы должна быть сбалансирована таким образом, чтобы ни один из этих компонентов не был недогружен или перегружен. В результате сеть должна работать более эффективно, стабильно и предсказуемо.

Несмотря на перечисленные достоинства, технология MPLS имеет некоторые недостатки, которые следует учитывать при использовании этой технологии в протяжённых телекоммуникационных сетях. IP/MPLS – это не ориентированная на соединения технология, так как решение о продвижении принимается в сети по ходу передачи, а не на основе предварительного анализа. Автоматическое установление и реконфигурирование соединений через сигнальные протоколы IP-маршрутизации не допускают прямого контроля потоков трафика через сеть и приводят к тому, что управление такой сетью направлено главным образом на исправление ошибок, а не на их предотвращение.

Высокоскоростная технологическая сеть передачи данных и развитие железнодорожных телекоммуникаций как пакетная сеть на базе технологии MPLS позволит достичь следующих эффектов:

- замена физически и/или морально устаревшего оборудования;
- многократное увеличение производительности передачи данных;
- сокращение инвестиций в модернизацию сетей радиосвязи, телефонии, видеоконференцсвязи до 20 %;

– возможность предоставления следующих новых сервисов: видеонаблюдение для решения задач безопасности, дистанционное обучение, передача больших массивов данных, например, результатов дефектоскопии, технологической видеоконференцсвязи, масштабный переход на IP-телефонию, возможность гибкой организации диспетчерских кругов, возможность резервирования информации на уровне ЦОД, возможность комфортного обмена больших объёмов информации, например, при создании централизованного хранилища проектной документации капитального строительства, возможность внедрения технологии виртуальных рабочих мест (VDI – Virtual Desktop Infrastructure) и др.

Такой подход позволит создать единое информационно-технологическое пространство Государственной организации «Белорусская железная дорога».

## РАЗВИТИЕ СИСТЕМ ЧАСТОТНО-ВРЕМЕННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРИ ПЕРЕХОДЕ К ТЕХНОЛОГИИ ПАКЕТНЫХ СЕТЕЙ НА БЕЛОРУССКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГЕ

*А. Н. БЕЛЬСКИЙ*

*Белорусская железная дорога, г. Минск*

*В. Г. ШЕВЧУК, С. В. КИСЕЛЕВА*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Частотно-временное обеспечение (ЧВО) телекоммуникационных сетей состоит из двух компонентов: тактовой сетевой синхронизации (ТСС) и синхронизации по времени (единое точное время – ЕТВ). Тактовая сетевая синхронизация является только частотным обеспечением и потому может быть не привязана к меткам времени. Временное обеспечение тесно связано с частотным и предполагает наличие обоих компонентов, в рамках телекоммуникационной сети используются следующие протоколы:

- NTP – протокол сетевого времени (Network Time Protocol);
- RTP – протокол точного времени (Precision Time Protocol).

**Зачем все это нужно.** Сеть и система ТСС на Белорусской железной дороге создавалась одновременно с цифровизацией технологической сети железнодорожной электросвязи начиная с 2004 г. Существующие системы ТСС охватывают сети ОТС (оперативно-технологической связи) и ОБТС (общетехнологической связи), построенные на технологии TDM (мультиплексирование с разделением по времени). Строительство мультисервисной пакетной сети, внедрение пакетных технологий на вторичных сетях должно сопровождаться развитием и модернизацией частотно-временного обеспечения (ЧВО).

Потребители классифицируются по четырём классам в зависимости от требований к точности ЕТВ:

Четвертый класс, точность 10 до 100 мс. Это системы электронного документооборота, информационной безопасности, управление пассажирскими перевозками, синхронизации времени персональных компьютеров.

Третий класс, точность от 1 до 10 мс. Это процесс отправки и получения электронных документов (в части электронной подписи), работа аппаратуры биллинговых систем коммерческих организаций, банковских систем денежных переводов, а также нужд систем информационной безопасности и т.д.

Второй класс, точность от 50 до 100 мкс. Ко второму классу относятся системы безопасности движения железнодорожного транспорта и другие аналогичные системы.

Первый класс требует точность от 100 до 299 нс. Это перспективные виды мобильной связи.

Нулевой класс требует предельные точности порядка 10 нс. Такие точности требуются в метрологических и астрономических расчётах, а также в военной технике.

Тотальная "пакетизация" телекоммуникационных сетей в настоящее время является одной из главных мировых тенденций развития связи. Пакетные технологии в большинстве национальных сетей вытесняют каналные технологии (технологии TDM). В этой связи проблема синхронизации в пакетных сетях приобретает особую важность. Пакетные сети по своей природе буферизованы и для их собственной работы не требуется осуществлять точное хронирование. Относительно конвергентных сетей, где используются и каналные, и пакетные технологии, существует мнение, что проблема синхронизации для них не актуальна. Но транспортные механизмы предъявляют относительно строгие требования к хронированию. Например, для поддержки служб эмуляции каналов поверх пакетной инфраструктуры требуется наличие стабильного частотного эталона. Кроме того, при использовании технологий беспроводного доступа (GSM, LTE, CDMA и т. д.) требования радиоинтерфейсов включают в себя жёсткие требования синхронизации.

Синхронный Ethernet (SyncE) представляет собой технологию, с помощью которой осуществляется трансляция сигналов синхронизации через физический слой сети Ethernet. Сети SyncE, в части тактовой синхронизации, могут взаимодействовать с сетями TDM на основе SDH. В сетях SDH сообщение о статусе синхронизации (Synchronization Status Message – SSM) обеспечивает так называ-

емую «прослеживаемость» сигналов синхронизации, распространяемых по сети. В этой связи требуется обеспечение передачи SSM и для сетей синхронного Ethernet. Данное требование реализуется расширением функциональности SSM применительно к SyncE, что обеспечивает полную совместимость с сетями SDH. В сетях SDH трансляция сообщения SSM осуществляется в фиксированном местоположении в кадре сигнала SDH. Однако в Ethernet нет соответствующего эквивалента фиксированного кадра. Технология синхронного Ethernet унаследовала основные принципы сетевой синхронизации, успешно зарекомендовавшие себя в сетях SDH:

- наличие в оборудовании SyncE входов и выходов внешней синхронизации, что дает возможность взаимодействия с существующими сетями синхронизации через стандартные интерфейсы синхронизации 2 Мбит/с или 2 МГц;

- встроенное генераторное оборудование (ЕЕС) с параметрами точности и стабильности, соответствующими показателям генераторного оборудования SDH;

- отслеживание стабильного синхросигнала по цепочке сетевых элементов (коммутаторов или маршрутизаторов Ethernet);

- обмен стандартными сообщениями о статусе синхронизации (SSM).

На текущий момент в ГО «Белорусская железная дорога» функционирует система единого времени в соответствии со схемой передачи сигналов системы единого времени, структура систем ТСС в этих сетях единообразна. Сигналы точного времени синхронизированы с государственным эталонным временем и передаются по синхронным сетям до серверов точного времени, а далее к потребителям по сетям.

Простое объединение систем ТСС и ЕТВ сталкивается с определёнными трудностями. В системе ТСС имеются следующие особенности, которые не пригодны для системы ЕТВ. Так, система ТСС допускает значительные изменения задержки используемых сигналов, что для системы ЕТВ недопустимо. По этой причине нельзя использовать псевдосинхронный режим работы, а также применять оборудование преобразования синхросигналов (ПСС, или ретаймер), задержка сигналов в котором никак не контролируется. Кроме того, в системе ЕТВ нельзя использовать цифровые коммутационные станции в цепях формирования и распределения синхросигналов. В системе ЕТВ, в свою очередь, имеются особенности, которые не пригодны для системы ТСС. Самая существенная из этих особенностей заключается в том, что сигналы, используемые в системе ЕТВ, не рассчитаны на обеспечение основных норм системы ТСС в части допустимых значений МОВИ (максимальная ошибка временного интервала) и ДВИ (девиация временного интервала) на различных интервалах наблюдения. Перечисленные трудности необходимо учитывать и использовать специальные решения для их преодоления, объединённая система ТСС/ЕТВ имеет ряд серьёзных преимуществ, которые в большинстве случаев перевешивают указанные недостатки.

Наличие в объединённой системе данных ЕТВ даёт возможность обеспечить на всей сети синхронный режим работы, при котором не могут возникнуть проскальзывания из-за отличия частоты синхросигналов от номинального значения, т. к. на всей сети синхросигналы будут иметь одну и ту же тактовую частоту. Критерием полного объединения (слияния) систем ТСС и ЕТВ в сети с частотно-временной синхронизацией можно считать наличие в любом телекоммуникационном сигнале информации о тактовой частоте и едином точном времени.

Многообразие систем передачи сигналов ЕТВ существенно влияют на целесообразность и принцип построения объединённой системы. Это в ещё большей степени относится к пакетным сетям, где имеет место многообразие не только применительно к системам ЕТВ, но и к реализации ТСС.

В связи с вышеизложенным, при переходе к новым технологиям построения сетей передачи данных (включая транспортную сеть) ГО «Белорусская железная дорога», осуществляя переход от технологии TDM на основе SDH, к пакетным технологиям, основанным на принципах многопротокольной коммутации по меткам (MPLS TP, MPLS IP), должен быть предусмотрен переход к объединённой системе ТСС и ЕТВ.

#### Список литературы

1 **Коновалов, Г. В.** Частотно-временное обеспечение сетей электросвязи в аспекте синхронизации по времени / Г. В. Коновалов, А. М. Меккель // Электросвязь. – 2011. – № 11. – С. 41–44.

2 **Бирюков, Н. Л.** Задачи совершенствования частотно-временного обеспечения сетей электросвязи стран СНГ и их отражение в нормативных и рекомендательных документах / Н. Л. Бирюков, Г. В. Коновалов, Н. Р. Триска // Электросвязь. – 2010. – № 12. – С. 47–49.

3 Коновалов, Г. В. Моделирование способов передачи сигналов времени при частотно-временном обеспечении телекоммуникаций / Г. В. Коновалов, Е. О. Новожилов // Молодые ученые – 2008 : материалы V Междунар. науч.-техн. школы-конф. Ч. 4. – М. : Энергоатомиздат, 2008. – С. 205–208.

4 Васильев, Д. Н. Опыт построения системы точного времени на сети оператора электросвязи / Д. Н. Васильев // Со-временные проблемы частотно-временного обеспечения сетей электросвязи : сб. тр. междунар. науч.-техн. конф. – М. : ФГУП ЦНИИС, 2010. – С. 206–219.

5 Передача времени по сети связи общего пользования / А. В. Рыжков [и др.] // Электросвязь. – 2010. – № 12. – С. 42–47.

6 Рыжков, А. В. Частота и время в телекоммуникациях XXI века / А. В. Рыжков. – М. : МАС, 2006.

УДК 656.25

## **ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ СЖАТ**

*К. А. БОЧКОВ, С. Н. ХАРЛАП*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В настоящее время наблюдается активное использование информационных технологий в автоматизированных системах управления технологическими процессами (АСУ ТП). При этом возникла проблема взаимного влияния функциональной и информационной составляющих на безопасность таких систем, что отражено, в частности, в ГОСТ Р 59505-2021 / ИЕС TR 63069:2019 «Измерение, управление и автоматизация промышленного процесса. Основные принципы обеспечения функциональной безопасности и защиты информации». Особенно ярко эта проблема проявляется в автоматизированных системах управления ответственными технологическими процессами (АСУ ОПТ), типовым представителем которых являются микроэлектронные системы железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ), которые должны соответствовать самому высокому уровню полноты безопасности УПБ4 по ГОСТ Р МЭК 61508. Особенностью систем ЖАТ является то, что в первую очередь данные системы должны выполнять требования функциональной безопасности и только во вторую очередь все остальные требования, включая требования информационной безопасности. При этом методы и средства построения безопасных микроэлектронных систем ЖАТ могут успешно применяться и для решения новых задач, связанных с нарушением информационной безопасности.

Для того, чтобы оценить возможность применения методов функциональной безопасности для решения задач информационной безопасности необходимо рассмотреть следующие элементы: поставленные цели, последствия (величина ущерба), объект защиты, угрозы безопасности.

В соответствии с Приказом № 31 ФСТЭК России от 14.03.2014 целью мер по обеспечению информационной безопасности в первую очередь является обеспечение доступности и целостности обрабатываемой в АСУ ТП информации. Таким образом, основной упор делается на защиту информации с целью недопущения ее искажения, т. е. объектом защиты является сама информация. Цели функциональной безопасности заключаются в отсутствии неприемлемого риска здоровью людей, их собственности или окружающей среде со стороны АСУ ТП при нарушении ее правильного функционирования, т. е. объектом защиты являются функции безопасности, а именно возможность их выполнения в любой момент времени. При этом для таких систем вводятся понятия опасного и защитного состояний, а для опасных отказов формулируются критерии опасного отказа со статистическими показателями. Очевидно, что цели функциональной безопасности шире, так как в качестве причин нарушения функционирования АСУ ТП учитываются не только возможные искажения информации, но и отказы аппаратных средств, ошибки в программном обеспечении и др.

Сравнение критериев значимости объектов в нормативных документах по информационной и функциональной безопасности позволяет сделать вывод, что требования функциональной безопасности гораздо жёстче, чем требования информационной безопасности. Так, например, ГОСТ 33433-2015 «Безопасность функциональная. Управление рисками на железнодорожном транспорте», относит к наивысшему, катастрофическому уровню последствий, аварийную ситу-

ацию, повлекшую гибель одного или более людей. В то время как согласно Перечню показателей критериев значимости объектов критической информационной инфраструктуры, утвержденному Постановлением Правительства РФ от 8 февраля 2018 № 127, если инцидент на объекте критической инфраструктуры приведет к гибели от одного до пятидесяти человек, то такой объект относят к низшей, третьей категории.

Объектами защиты в микроэлектронных системах ЖАТ как с точки зрения функциональной безопасности, так и с точки зрения информационной безопасности являются:

- технические средства;
- программное обеспечение;
- информация о параметрах или состоянии управляемого объекта или процесса.

Однако при рассмотрении вопросов информационной безопасности внимание концентрируют на конфиденциальности, доступности и целостности информации, а технические средства и программное обеспечение рассматривают только как источники возможного искажения информации, временной недоступности или несанкционированного доступа к информации. При реализации мер по обеспечению функциональной безопасности в равной мере уделяют внимание как последствиям отказов технических средств, так и возможным ошибкам в программном обеспечении, в том числе приводящих к искажению критической информации. Исходя из этого можно сделать вывод о том, что методы обеспечения функциональной безопасности позволяют достичь тех же целей, защищают те же объекты и требования к их реализации более жесткие по сравнению с аналогичными методами информационной безопасности.

Сравнение типичных угроз информационной и функциональной безопасности позволяет сделать вывод о том, что методы функциональной безопасности направлены в первую очередь на защиту от случайных событий (неумышленных действий), в то время как информационная безопасность сконцентрирована на защите от умышленных (преднамеренных) действий злоумышленников. В этом и заключается основное отличие в подходах. На первый взгляд это требует применения принципиально разных подходов, но более глубокий анализ показывает, что это далеко не так.

Рассмотрим более подробно угрозы информационной безопасности применительно к основной цели – обеспечение конфиденциальности, доступности и целостности информации.

Конфиденциальность – гарантия того, что информация не будет раскрыта несанкционированным лицам, процессам или устройствам.

Доступность – способность компонента выполнять требуемую функцию при заданных условиях в заданный интервал времени, если предоставлены внешние ресурсы.

Целостность – свойство системы, отражающее логическую корректность и безотказность операционной системы, логическую полноту аппаратных средств и программного обеспечения, которые реализуют защитные механизмы, а также согласованность структуры и содержания хранимых данных.

Все рассмотренные угрозы информационной безопасности при некоторых условиях могут нарушить доступность информации. При этом АСУ ТП перестанет получать актуальную информацию о состоянии объектов управления и контроля, что может стать потенциально опасным. Однако к таким последствиям могут привести также и случайные события, которые в обязательном порядке учитываются при разработке АСУ ТП в рамках обеспечения функциональной безопасности.

Парирование последствий нарушения доступности информации можно выполнять по двум направлениям:

1) сохранение доступности информации. В этом случае решение сводится к задаче повышения надежности системы, которая решается резервированием;

2) сохранение безопасного состояния системы при отсутствии доступа к критической информации. В этом случае могут быть использованы методы функциональной безопасности, которые, например, применяются в системах обеспечения безопасности при обрыве линии связи с источником ответственной информации.

В этом случае выполняется ряд мероприятий, позволяющих исключить возникновение опасной ситуации: ограничение времени жизни (актуальности) критической информации, ограничение времени жизни команд, контроль последовательности выполнения процедур в программном обеспечении, программный и аппаратный контроль тайм-аутов, исключающий сохранение активного состояния выходов в случае зависания вычислительных каналов.

Такая многоуровневая защита позволяет гарантировать переход в защитное состояние микроэлектронных систем ЖАТ при любых нарушениях доступности критической информации. Таким образом, можно сделать вывод, что методы обеспечения функциональной безопасности позволяют в полной мере решить задачи информационной безопасности по обеспечению доступности информации в АСУ ТП в том объеме, который позволит исключить опасное влияние таких угроз на работу АСУ ТП.

Нарушение целостности данных тоже нужно рассматривать по нескольким направлениям:

- случайное (непреднамеренное) искажение информации (в том числе конфигурационной);
- преднамеренное искажение информации посредством внешних систем передачи информации. Сюда можно отнести такие угрозы как несанкционированный доступ, вредоносное ПО, целевые атаки, уязвимости в протоколах передачи данных;
- преднамеренное искажение информации посредством использования уязвимостей в ПО, в том числе недеklarированных возможностей.

Случайное нарушение целостности информации (искажения, добавления или удаления) являются предметом функциональной безопасности. Концепция обеспечения безопасности, принятая разработчиками, должна исключать опасное влияние таких нарушений на безопасность системы в целом. Для этих целей разработан и успешно применяется ряд методов, таких как избыточное кодирование, дублирование с последующим сравнением, диверсификация способов кодирования и форматов хранения информации, защита с помощью контрольных сумм и т. д.

Защита микроэлектронных систем ЖАТ от преднамеренного нарушения целостности информации через внешние системы передачи информации осуществляется в соответствии с ГОСТ Р МЭК 62280 «Железные дороги. Системы связи, сигнализации и обработки данных. Требования к обеспечению безопасной передачи информации». В данном стандарте рассмотрены возможные угрозы нарушения целостности данных, такие как случайные отказы аппаратных средств, систематические отказы (ошибки) программного обеспечения, внешние физические воздействия и преднамеренные действия злоумышленника. Выделены основные типы нарушения целостности: повтор, удаление, вставка, переупорядочивание, повреждение (искажение), задержка и подмена сообщений.

В стандарте также определены необходимые меры для защиты от опасных последствий этих нарушений: использование меток времени в сообщениях, избыточных кодов и криптографических методов. Рассмотренные в стандарте угрозы и меры защиты охватывают все возможные угрозы информационной безопасности и являются достаточными для их нейтрализации.

Защита систем ЖАТ от систематических отказов (ошибок) программного обеспечения осуществляется в соответствии с ГОСТ Р МЭК 62279 «Железные дороги. Системы связи, сигнализации и обработки данных. Программное обеспечение систем управления и защиты на железных дорогах». В стандарте приведены методы, позволяющие получить программное обеспечение, соответствующее требованиям функциональной безопасности с УПБ4.

Статический анализ кода, который является обязательным элементом верификации ПО, позволяет контролировать не только корректную реализацию спецификации, но и убедиться в отсутствии недеklarированных возможностей.

Выполнение всех мероприятий по защите от систематических отказов по ГОСТ Р МЭК 62279 позволяет получить программное обеспечение, соответствующее не только требованиям функциональной безопасности, но и требованиям информационной безопасности.

Таким образом, использование методов функциональной безопасности позволяет в полном объеме решить задачи информационной безопасности для систем ЖАТ. Для всех угроз информационной безопасности существуют эффективные методы защиты, базирующиеся на стандартах по функциональной безопасности.

## ПРЕДИКТИВНАЯ АНАЛИТИКА В ОБЕСПЕЧЕНИИ БЕЗОПАСНОСТИ НА ТРАНСПОРТЕ

Т. Н. БУШТРУК

*Самарский государственный университет путей сообщения, Российская Федерация*

А. А. БУШТРУК

*Российский федеральный ядерный центр – Всероссийский научно-исследовательский институт  
экспериментальной физики, г. Саров, Российская Федерация*

Анализ ретроспективных данных о нештатных и режимных ситуациях на транспорте при перевозках пассажиров или грузов, регламента работы оборудования обеспечит принятие своевременных и обоснованных управленческих решений по ревизии, проверке и ремонте технических узлов и устройств, распределении технических и людских ресурсов. Принятие обоснованных, адекватных управленческих решений должно базироваться на достоверной модели временного процесса, характеризующего тот или иной технологический цикл. Модель временной последовательности с квазистационарными свойствами может быть получена в результате проведения процедуры идентификации исследуемой временной последовательности по методике и алгоритмам в [1, 2].

Как известно из [3], временной процесс формируется квазистационарной линейной системой (формирующий фильтр (ФФ)) при воздействии на ее вход стационарного гауссовского белого шума. Принимается, что на участках временного ряда с квазистационарными свойствами параметры (постоянные времени, масштабные коэффициенты) меняются незначительно. Процедура подготовки данных заключается в следующем, по мере получения реализации временной последовательности отбираются равные участки, на которых идентифицируемый процесс является квазистационарным. Математически такое разбиение на участки будет записано следующим образом:

$$y(t; \Delta t_1) = \int_0^{\infty} h(\mu_1; \Delta t_1) x(t - \mu_1) d\mu_1, \dots, y(t; \Delta t_l) = \int_0^{\infty} h(\mu_l; \Delta t_l) x(t - \mu_l) d\mu_l,$$

где  $x(t) = \sigma \delta(t)$  – белый шум с неизвестным среднеквадратическим отклонением  $\sigma$ ;  $h(\mu_i; \Delta t_i)$  – импульсная переходная характеристика квазистационарного линейного ФФ;  $\delta(t)$  – дельта-функция;  $\Delta t_i = t_{i+1} - t_i$ ,  $i \dots \overline{0, l}$ . Согласно постановке задачи  $\Delta t_1 = \Delta t_2 = \dots = \Delta t_l$ .

Дробно-рациональная передаточная функция в соответствии с обратным преобразованием Лапласа от импульсно-переходной функции (ИПХ) формирующего фильтра имеет вид

$$W_{\text{ФФ}}^{(i)}(S) = k^{(i)} \prod_{q=1}^m (Q_q^{(i)} S + 1) / \prod_{q=1}^n (T_q^{(i)} S + 1),$$

где  $k^{(i)}$ ,  $Q_q^{(i)}$  и  $T_q^{(i)}$  – соответственно масштабные коэффициенты и постоянные времени ФФ, которые являются кусочно-непрерывными функциями.

Необходимо определить оценки  $\hat{\sigma}, \hat{k}^{(i)}, \hat{m}, \hat{n}, \hat{Q}_q^{(i)}$  и  $\hat{T}_q^{(i)}$  в процессе идентификации квазистационарного формирующего фильтра на квазистационарных участках  $\Delta t_i$ , где  $i \dots \overline{0, l}$ .

Для процедур идентификации (определения структуры и параметров линейного фильтра) разработана измерительно-вычислительная схема получения взаимных корреляционных функций для выбранных отрезков временного ряда [1, 2, 4, 5].

$$R_{z_2 z_1}(\tau_2 - \tau_1) = \int_0^{\infty} \dots \int_0^{\infty} h_{\text{ФФ}}(\theta_1; \Delta t_\alpha) h_{\text{ФФ}}(\theta_2; \Delta t_\beta) h_{\text{ФФ}}(\mu_\alpha) h_{\text{ФФ}}(\mu_\beta) \times \times R_{xx}(\tau_2 - \tau_1 + \theta_2 - \theta_1 + \mu_\alpha - \mu_\beta) d\mu_\alpha d\mu_\beta d\theta_1 d\theta_2. \quad (1)$$

В выражение (1) входят ИПХ формирующего фильтра (опорная модель) временного ряда и ИПХ полосовых фильтров в структуре корреляционно-спектрального анализатора [1, 2, 4, 5]. Интегралы, входящие в (1), вычисляются на основе фильтрующего свойства дельта-функций и свойства эрмитовой симметрии для ФФ. Дальнейшее преобразование выражения дает:

$$R_{Z_2 Z_1}(\tau_2 - \tau_1) = \sigma^2 K_{\text{фф}}^{(\beta)}(\omega_0^{(2)}) K_{\text{фф}}^{(\alpha)}(\omega_0^{(2)}) \int_{-\infty}^{\infty} \cos(\omega_0^{(1)} \mu_\beta) d\mu_\beta \times \\ \times \int_{-\infty}^{\infty} e^{j\omega(\tau_2 - \tau_1 - \mu_\beta - \Psi_{\text{фф}}^{(\beta)}(\omega_0^{(2)})/\omega_0^{(2)} - \theta_1)} e^{-j\Psi_{\text{фф}}^{(\alpha)}(\omega)} \left\{ \frac{1}{2} \delta(\omega - \omega_0^{(2)}) + \frac{1}{2} \delta(\omega + \omega_0^{(2)}) \right\} d\omega.$$

Затем к интегралам по  $\mu_\kappa$  и  $\mu_d$  также применяется теорема Бореля о свёртке. После преобразований имеем:

$$R_{Z_2 Z_1}(\tau_2 - \tau_1) = \sigma^2 K_{\text{фф}}^{(\beta)}(\omega_0) K_{\text{фф}}^{(\alpha)}(\omega_0) \cos \left\{ \omega_0 (\tau_2 - \tau_1) - \Psi_{\text{фф}}^{(\beta)}(\omega_0) + \Psi_{\text{фф}}^{(\alpha)}(\omega_0) \right\}, \\ R_{Z_2 Z_1} \left\{ -(\tau_1 - \tau_2) \right\} = \sigma^2 K_{\text{фф}}^{(c)}(\omega_0) K_{\text{фф}}^{(d)}(\omega_0) \cos \left\{ -\omega_0 (\tau_2 - \tau_1) + \Psi_{\text{фф}}^{(c)}(\omega_0) - \Psi_{\text{фф}}^{(d)}(\omega_0) \right\}. \quad (2)$$

В выражение (2) входят модули и фазы комплексного коэффициента передачи ФФ. Алгоритм параметрической идентификации моделей квазистационарных временных процессов. При представлении  $W_{\text{фф}}(s)$  дробно-рациональной передаточной функцией фазовая характеристика любого участка временного процесса определяется соотношением

$$\Psi^{(i)}(\omega_0) = -\sum_{q=1}^n \arctg \omega_0 T_q^{(i)} + \sum_{q=1}^m \arctg \omega Q_q^{(i)}, \quad (3)$$

где  $i \dots \overline{0, l}$ . От характеристик (3) находим частные производные

$$\frac{\partial \Psi^{(i)}(\omega_0)}{\partial \omega_0 T_q^{(i)}} = -\frac{1}{1 + \omega_0^2 \{T_q^{(i)}\}^2}, \quad \frac{\partial \Psi^{(i)}(\omega_0)}{\partial \omega_0 Q_q^{(i)}} = \frac{1}{1 + \omega_0^2 \{Q_q^{(i)}\}^2}.$$

От производных фазовых характеристик идентифицируемого участка временного ряда записываем приращения для постоянных времени

$$\Delta T_{q\kappa_1}^{(i+i,i)} = -\lambda k_1 \Delta \Psi_{nq(\kappa_1-1)}(\omega_0) \left\{ 1 + \omega_0^2 [T_{q(\kappa_1-1)}^{(i)}]^2 \right\} / \omega_0.$$

Таким образом, предложенные алгоритмы обеспечивают восстановление структуры и параметров формирующего фильтра, т. е. модели исследуемого технологического процесса. Адаптация измерительно-вычислительной системы обеспечивает достоверность полученной модели. Полученные модели можно использовать в системах управления, построения прогнозов. От оценочной передаточной функция ФФ можно получить дискретную характеристику эквивалентной импульсной системы и перейти к разностному уравнению и, используя алгоритмы [3, 6], получать прогнозные значения.

#### Список литературы

- 1 Буштрук, Т. Н. Методы идентификации объектов и процессов / Т. Н. Буштрук, А. Д. Буштрук. – Самара : СамГАПС, 2005. – 150 с.
- 2 Буштрук, А. Д. Корреляционно-спектральный метод идентификации квазистационарных временных процессов с решением противоречия между точностью и быстродействием / А. Д. Буштрук, Т. Н. Буштрук, И. И. Фазлыев // А и Т. – 2011. – № 7. – С. 147–158.
- 3 Бокс, Дж. Анализ временных рядов. Прогноз и управление. Вып. 1 / Дж. Бокс, Г. Дженкинс ; пер. с англ. А. Л. Левшина; под ред. В. Ф. Писаренко. – М. : Мир, 1974. – 406 с.
- 4 Буштрук, Т. Н. Двухэтапная идентификация нелинейных объектов и процессов в адаптивных системах управления / Вестник транспорта Поволжья: – 2019. – Вып. № 1 (73). – С. 72–79.
- 5 Буштрук, Т.Н., Засов В.А. Перспективные направления моделирования и идентификации динамических систем : [монография] / Т. Н. Буштрук, В. А. Засов. – Самара : СамГУПС, 2019. – 158 с.
- 6 Кун, Макс. Предиктивное моделирование на практике / Макс Кун, Кьелл Джонсон. – СПб. : Питер, 2019. – 640 с.



## ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ВИРТУАЛЬНОЙ СРЕДЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ PROTEUS VSM ПРИ РАЗРАБОТКЕ УСТРОЙСТВА АВТОМАТИЧЕСКОГО ТЕСТИРОВАНИЯ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ

*А. В. ВЕСЕЛОВ*

*Белорусская железная дорога, г. Полоцк*

*В. Г. ШЕВЧУК, С. В. КИСЕЛЕВА*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Устройства технологической электросвязи (УТС) Белорусской железной дороги относятся к потребителям особой группы электроприемников первой категории электроснабжения. Для электроснабжения особой группы электроприемников первой категории должно предусматриваться дополнительное питание от третьего независимого взаимно резервирующего источника питания. В качестве независимого источника питания в хозяйстве сигнализации и связи применяются источники вторичного электроснабжения (ИВЭ) 24, 48, 60 В с аккумуляторными батареями (АКБ) различных типов. В настоящее время основным типом АКБ в ИВЭ УТС являются необслуживаемые свинцовые АКБ с номинальным напряжением 12 В. Основным методом контроля текущего состояния АКБ при периодическом техническом обслуживании персоналом дистанций сигнализации и связи (ШЧ) является контроль остаточной (фактической) емкости при проведении контрольного разряда/заряда. По величине остаточной емкости производится оценка технического состояния батареи и степень деградации ее элементов, на основании чего составляются перспективные планы замены АКБ.

Измерение фактической емкости АКБ согласно требованиям нормативной документации производится путем контрольного разряда АКБ в течение 10 часов постоянным током при постоянном контроле напряжения на АКБ. При ручном режиме тестирования измерения напряжения и тока производятся ежечасно, в последний час разряда – каждые 15 минут, а при достижении определенного значения напряжения (11,3 В для АКБ с номинальным напряжением 12 В) непрерывно с фиксацией результатов тестирования. После окончания тестирования результаты работы оформляются протоколом на каждую батарею. Очевидно, что для исправных, полностью заряженных АКБ, цикл тестирования составляет не менее 10 часов, без учета времени на подготовку схемы тестирования, восстановления рабочей схемы питания после окончания тестирования и оформления результатов контрольного разряда, что значительно превышает установленную продолжительность рабочего времени 8 часов для линейного персонала ШЧ. Кроме того, необходимость периодического измерения параметров на первом и втором этапах тестирования не позволяет отвлекать персонал на длительное время для проведения других работ по обслуживанию устройств связи. Таким образом, становится очевидным необходимость использования автоматических разрядных устройств, позволяющих минимизировать промежуточные операции при проведении тестирования АКБ обслуживающим персоналом. Использование подобных устройств для контроля остаточной емкости разрешено действующей нормативной документацией по обслуживанию устройств электропитания на Белорусской железной дороге.

Промышленные устройства, позволяющие автоматизировать процесс разряда, которые обеспечивают постоянное значение разрядного тока в течение всего цикла разряда, имеют высокую стоимость, представлены исключительно зарубежными изделиями. Наряду с высокой стоимостью подобные устройства, как правило, предназначены для проверки батарей номинальным напряжением только 12 В, имеют дискретную регулировку разрядного тока и не производят фиксацию промежуточных результатов измерений для возможности последующего формирования протоколов установленной формы.

Для реализации возможностей автоматизации процесса тестирования АКБ была выполнена разработка автоматизированного разрядного устройства, позволяющего производить одновременное тестирование пяти АКБ напряжением от 2 до 12 В каждая с обеспечением индивидуальной стабилизации разрядного тока каждого аккумулятора, непрерывным контролем напряжения на каждом элементе, подсчетом остаточной емкости. Результаты непрерывного контроля каждой АКБ фиксируются на съемной карте памяти.

Современные технологии проектирования радиоэлектронной аппаратуры базируются на сквозном применении систем автоматизированного проектирования (САПР) на всех стадиях разработки, начиная от этапа схемотехнического проектирования и заканчивая этапом технологической подготовки производства. Подобные системы включают в себя средства моделирования электрических схем, ориентированные на использование SPICE-моделей, которые позволяют исследовать работу электронного устройства еще до того, как оно будет воплощено в «железе». SPICE-модель электронного компонента (от англ. Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis) представляет собой систему уравнений с определенным набором параметров, зависящих от типа компонента, геометрических и электрических параметров.

Отладка в виртуальной среде позволяет избежать целого ряда проблем, которые при работе на реальном оборудовании могли бы иметь фатальные последствия для оборудования.

На этапе проектирования автоматизированного разрядного устройства для тестирования АКБ было принято решение о создании модульного устройства. Функции одновременного тестирования каждого из пяти аккумуляторов возлагаются на отдельный, независимый модуль со своим управляющим микроконтроллером в котором выполнялась обработка результатов измерений и анализ аварийных ситуаций. Управление работой всего устройства, задание параметров тестирования, формирование конечных результатов измерений осуществляются при помощи модуля управления и индикации. Взаимодействие между блоками производится по шине I2C.

В качестве среды разработки была выбрана система проектирования Proteus VSM. Программный пакет Proteus VSM позволяет собрать схему электронного устройства и симулировать его работу, выявляя ошибки, допущенные на стадии аппаратного и программного проектирования, выполнять разработку печатных плат, с автоматическим размещением компонентов на плате. Proteus VSM включает в себя более 6000 моделей электронных компонентов с возможностью экспорта моделей из других систем проектирования.

Существенным недостатком среды Proteus VSM является отсутствие поддержки многоядерной архитектуры процессоров современных компьютеров, что накладывает существенные ограничения на сложность моделируемых схем. Особенно данный недостаток проявляется при необходимости симуляции электронных схем с наличием моделей реальных элементов с нелинейными характеристиками. Симуляция модели разрядного устройства, состоящей из всех шести модулей, на компьютере с процессором Intel Core i7-6700HQ и оперативной памятью 8 Гбайт имеет в среднем соотношение время модели к реальному времени примерно 1:50, т. е. 1 секунда модельного времени рассчитывалась в течение 50 секунд машинного времени. Отладка аппаратной части и программного обеспечения в таком режиме занимала непозволительно длительное время.

С целью ускорения разработки и отладки программно-аппаратной части устройства было применено несколько методов.

1 На этапе разработки и отладки общих алгоритмов работы модулей, не связанных с измерением и обработкой результатов измерений, из схем были исключены все аналоговые нелинейные элементы (транзисторы, диоды и т. д.). Релейные элементы были заменены идеальными коммутирующими элементами с ручным управлением, не имеющими переходных характеристик. Элементы индикации и цепи управления реле были заменены идеальными светодиодами.

2 На этапе отладки алгоритмов измерения и обработки аналоговых параметров АКБ измеряемые параметры задавались непосредственно перед началом симуляции в ручном режиме, а изменялись во время работы после постановки симуляции на паузу, что позволяло избежать производительных потерь времени на расчет параметров переходных процессов в цепях. Сами АКБ представлялись набором идеальных сопротивлений и источников напряжения.

3 Отладка протокола межблочного обмена представляла собой модель из 6 микроконтроллеров, объединённых между собой по шине I2C. Формирование блоков данных производилось путем ввода в программный код временных функций, возвращающих формализованные данные без их фактического измерения и обработки.

Всего на этапе разработки устройства было использовано порядка 15 моделей различной степени детализации. Вышеперечисленные методы позволили производить отладку аппаратной части и программного обеспечения фактически в режиме реального времени.

На основании данных, полученных на всех этапах электронного моделирования, был изготовлено действующее устройство автоматизированного тестирования аккумуляторных батарей, которое используется в производственной деятельности Полоцкой дистанции сигнализации и связи с 2019 года. Внедрение данного устройства позволило обеспечить снижение трудозатрат при обслуживании источников вторичного электроснабжения устройств связи на 113,8 часов в год.

УДК 621.395: 621.372.81

## РЕАЛИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ IP-ТЕЛЕФОНИИ В ЗДАНИИ УПРАВЛЕНИЯ БЕЛОРУССКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

*М. О. ВОЛЫНЦЕВИЧ*

*Министерство обороны Республики Беларусь, г. Минск*

*В. Г. ШЕВЧУК*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В настоящее время средства связи являются одной из основных составляющих современной преуспевающей экономики и динамического общества. Для организации надежной связи во всем мире прилагаются значительные усилия по разработке новых цифровых коммутационных систем связи. Необходимо, чтобы цифровая система была современной [1].

Основным вектором развития цифровых АТС в настоящее время является внедрение технологий IP-телефонии [2]. IP-телефония – технология, позволяющая использовать Интернет или другую IP-сеть в качестве средства организации и ведения международных телефонных разговоров и передачи факсов в режиме реального времени. При разговоре наши голосовые сигналы (слова, которые мы произносим) преобразуются в сжатые пакеты данных. После эти пакеты данных посылаются через Интернет другой стороне. Когда пакеты данных достигают адресата, они декодируются в голосовые сигналы оригинала [3]. В обычном телефонном звонке подключение между обоими собеседниками устанавливается через телефонную станцию исключительно с целью разговора. Голосовые сигналы передаются по определённым телефонным линиям через выделенное подключение. На рисунке 1 представлена простейшая схема построения IP-телефонии [4].

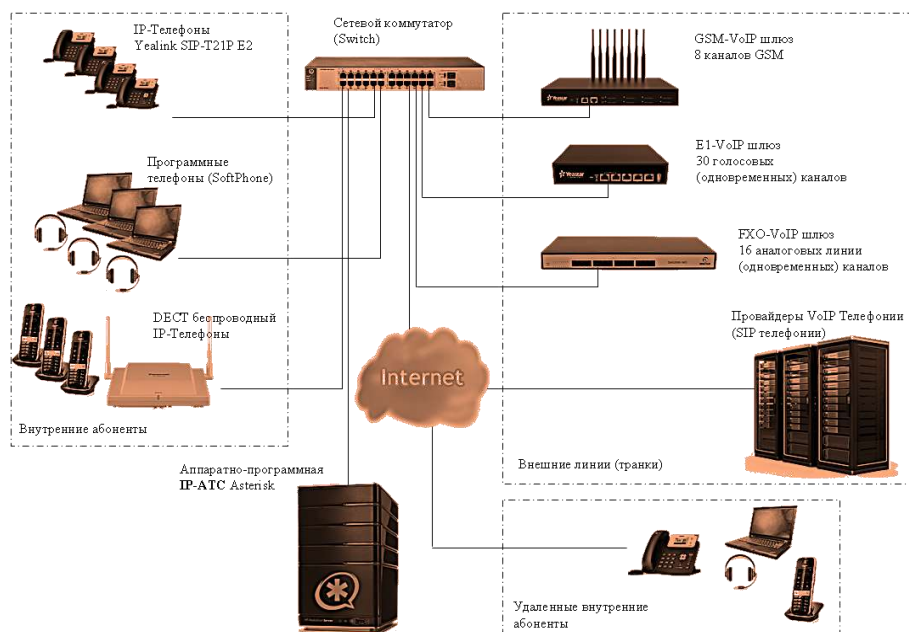


Рисунок 1 – Схема построения IP-телефонии

В настоящее время в здании управления Белорусской железной дороги реализована система связи, которая физически и морально устарела. В ходе длительной эксплуатации электромеханики связи столкнулись с проблемой ремонта и обслуживания АТС: запчасти, телефонные аппараты и

комплектующие части стали тяжело доступны на мировом рынке из-за окончания срока поддержки производителем данного вида АТС.

На основе анализа и исследований существующей системы связи было предложено внедрить новую своевременную технологию IP-телефонии на базе программно-аппаратного комплекса SI3000. SI3000 – мощный программно-аппаратный комплекс, реализующий функциональность NGN и IMS, поддерживающий следующие протоколы: ISDN, OKC7, R2 (R1.5), 2BCK, V5.2, SIP-T, SIP-I, MEGACO, MGCP, H.323. Встроенные функции: голосовая почта, автоинформаторы, конференция, сценарии VXML. Поддерживает аналоговых, цифровых, SIP, видео-SIP абонентов. Количество потоков E1 на одну систему может достигать 2500 портов. Количество абонентов на одну систему до 100 000 пользователей. В SI3000 используется инновационная системная архитектура, которая интегрирует отдельные сетевые элементы и протоколы на общей платформе. Системная архитектура SI3000 является важным инструментом для решения задач существующих сетей. При этом оператору предоставляются возможности для дальнейшего развития. Стандартные протоколы взаимосвязи структурных блоков предполагают развитие системы в перспективе [5].

Помимо базовых функций построения IP-телефонии в SI3000 используются дополнительные услуги, которые позволяют комфортно и эффективно использовать выбранный комплекс. К таким услугам относятся:

- автоинформатор;
- сервис «Click-to-Dial»;
- сервис «Многоканальная запись речи»;
- сервис «Голосовая почта»;
- динамическая маршрутизация.

Существующая система телефонной связи реализована на базе АТС «Panasonic». В данной системе ограниченный функционал и отсутствует резервирование системы, что сильно снижает надёжность системы связи. С помощью программно-аппаратного комплекса SI3000 существует возможность помимо вышеописанных услуг реализовать многократное резервирование за счет использования уже действующих серверов других систем, расположенных в здании управления Белорусской железной дороги. Эти серверы могут работать в режиме «горячего» резервирования. Кроме серверов, которые расположены непосредственно в здании управления, можно задействовать серверы, которые находятся в помещении ЛАЗ ШЧ-1 и соединяются по проводным линиям связи с IP-АТС. Таким образом, устойчивость работы и надёжность системы связи повысится.

В настоящее время подобный метод организации IP-телефонии частично реализован на одном из структурных подразделений Белорусской железной дороги. Эксплуатация данной системы показала хорошие результаты в повышении надёжности системы связи.

#### Список литературы

- 1 **Бакланов, И. Г.** ISDN и IP-телефония / И. Г. Бакланов // Вестник связи. – 2015. – 203 с.
- 2 **Брау, Д.** Грядет год стандарта H.323? / Д. Брау. – СПб. : Сети и системы связи. – 2009. – 254 с.
- 3 **Будников, В. Ю.** Технологии обеспечения качества обслуживания в мультисервисных сетях / В. Ю. Будников, Б. А. Пономарев // Вестник связи. – 2020. – 225 с
- 4 **Олифер, В. Г.** Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы / В. Г. Олифер, Н. А. Олифер. – 6 изд. – СПб. : Питер, 2015. – 944 с.
- 5 **Матусевич, В. О.** Проектирование мультисервисной телекоммуникационной сети : учеб.-метод. пособие / В. О. Матусевич. – Гомель : БелГУТ, 2018. – 170 с.

УДК 656.08

## СОВРЕМЕННЫЕ УСЛОВИЯ ДИКТУЮТ НОВЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМ БЕЗОПАСНОСТИ В ТРАНСПОРТНОЙ ОТРАСЛИ

*О. И. ГАВРИЛОВА*

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

Современные условия меняющейся экономической и политической обстановки представляют новый вектор направления движения в транспортной безопасности, киберзащитности и импортозамещения.

Стратегия развития систем управления и обеспечения безопасности предусматривает создание комплексной системы, которая базируется на следующих элементах:

1 Микропроцессорная система управления станцией и участком, а также релейно-процессорная система с учетом самодиагностики и резервирования.

2 Взаимоувязанные АРМы диспетчерского, инженерного и руководящего персонала в едином пространстве.

3 Варианты модификации систем интервального регулирования, в том числе российские аналоги системы ERTMS 2-го и 3-го уровней.

4 Единая геоинформационная база данных путевых объектов для бортовых устройств безопасности, управления, диагностики и расшифровки результатов поездки.

5 Технология автоматической передачи предупреждений на борт локомотива с использованием электронной цифровой подписи.

6 Интеллектуальная интеграция бортовых систем безопасности и управления (автоведения).

7 Система автоблокировки с централизованным размещением аппаратуры, предназначенной для интервального регулирования движения поездов на перегонах с обращением грузовых, пассажирских и высокоскоростных поездов.

8 Контроль технического состояния подвижного состава в процессе движения.

Внедренные компоненты комплексной системы должны обеспечить безопасность движения поездов с учетом режимов автоведения и работы по энергооптимальным графикам на основе спутниковых технологий с использованием высокоточной координатной системы.

Для решения возникающих проблем необходимо создать цифровые модели объектов инфраструктуры, предусмотреть сети цифровой радиосвязи, а также совершенствовать системы интервального регулирования, мониторинга состояния технических средств и автоматизации отдельных технологических процессов.

Система управления и обеспечения безопасности движения поездов, применяемая в настоящее время, охватывает весь комплекс сопутствующих технологических процессов функционирования инфраструктуры, проведения ремонтных и восстановительных работ. Она включает резервирование функций управления и каналов передачи информации, обеспечивает работу автодиспетчера на всем участке, а также бортовых систем и систему спутниковой навигации. Комплексная система отлично зарекомендовала себя на участке высокоскоростной магистрали Санкт-Петербург – Москва (рисунок 1) и на Сочинском полигоне. Планируется дальнейшее внедрение ее и на других транспортных направлениях.

Московское центральное кольцо (МЦК) является одним из передовых полигонов внедрения новейших, инновационных решений. На МЦК функционирует комплекс автоматизированного управления движением поездов в условиях высокой интенсивности движения с использованием систем «Автодиспетчер» и «Автомашинист». Данные системы эффективно отработаны на участке Сочи – Адлер – Роза-Хутор.

Комплекс позволяет автоматически осуществлять управление движением по нормативному графику и применять вариативные ГД, контролировать движение поезда в реальном времени с помощью спутниковой навигации, используемой в бортовой системе безопасности, выявлять конфликтные ситуации.

Хочется также отметить режим автоведения поездов, использование цифровых систем связи и модели пути, внедрение безбумажной технологии передачи информации на локомотив, которые в свою очередь позволяют, обеспечивая безопасные условия, организовать движение в режиме «Автомашинист».

Необходимо указать, что при разработке алгоритмов приборов безопасности были учтены дополнительные требования к интерфейсу «человек – машина». Для комплексной системы разработан интеллектуальный дисплей, с помощью которого машинист получает большой объем оперативной информации.



Рисунок 1 – Центр управления скоростной магистрали Москва – Санкт-Петербург

Данная комплексная система была опробована и успешно работает на МЦК. Система показала свою высокую эффективность в вопросах организации движения поездов и обеспечения безопасности.

Многие проекты железнодорожного транспорта являются совместными. Современные экономические условия заставляют серьезно рассмотреть вопрос импортозамещения без участия зарубежных партнеров.

Несомненно для железнодорожного транспорта данный вопрос имеет ключевое значение. Так как в основе работы Российских железных дорог лежит обеспечение безопасного перевозочного процесса, использование отечественных технологий, что является стратегически важным.

Необходимо соблюдать важнейший принцип – все системы управления и обеспечения безопасности движения должны быть российскими. Это твердая позиция, вызванная необходимостью обеспечить российские железные дороги такими системами, которые позволят организовать безаварийное движение поездов строго по графику.

Глобальное разделение труда, быстрое перемещение технологий и ресурсов не должны отразиться на обеспечении национальных интересов и безопасности, в том числе и в транспортной сфере. Поэтому планируется отработать стратегию импортозамещения, рассчитанную на несколько лет.

Киберзащищенность играет важную роль в обеспечении экономических интересов при управлении железнодорожным транспортом, в решении проблем безопасности движения поездов. Современные технологии киберзащищенности будут решающими при организации высокоскоростного движения и построении интеллектуальных центров управления, особенно с учетом исходящих угроз компьютерных атак.

Нельзя не согласиться с тем, что необходимо переходить на полный цикл производства особо важных систем в России 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 случаях осуществления кибератак.

В настоящее время ОАО «РЖД» создает комплексную систему защиты информационной базы транспорта от компьютерных атак и её основного компонента – системы обнаружения и предупреждения таких ситуаций.

Необходимо согласиться с тем, что все программно-управляемые, микропроцессорные системы железнодорожного транспорта нужно обязательно проверять на функциональную безопасность, отсутствие не предусмотренных возможностей и несанкционированного доступа. Схемотехнические решения и программное обеспечение таких систем уже на стадии проектирования должны учитывать возможность проведения различного рода кибератак.

В настоящее время по данной проблеме уже сформулированы первоочередные задачи и разработаны рекомендации.

По мнению автора рассмотренные направления актуальны и важны, поскольку понятие защищенности систем находится в одном ряду с понятиями эффективности и безопасности работы железнодорожного транспорта.

#### Список литературы

1 **Медовщиков, И. А.** Импортозамещение программного обеспечения на железнодорожном транспорте России / И. А. Медовщиков [Электронный ресурс] // Вестник Уральского гос. ун-та путей сообщения. – 2020. – № 1 (45). – С. 119–124. – Режим доступа : [https://elibrary.ru/query\\_results.asp](https://elibrary.ru/query_results.asp). – Дата доступа : 18.10.2022.

2 **Алешина, А.** Узлы и механизмы, используемые на РЖД, импортозаместят к 2024 году / А. Алешина [Электронный ресурс] // РЖД ПАРТНЕР.РУ : Информационное агенство. – Режим доступа : <https://www.rzd-partner.ru/zhd-transport/comments/uzly-i-mekhanizmy-ispolzuemye-na-rzhd-importozamestyat-k-2024-godu/>. – Дата доступа : 18.10.2022.

3 **Дюкарев, А. А.** Киберзащита на железной дороге / А. А. Дюкарев [Электронный ресурс] // Современное состояние, проблемы и перспективы развития отраслевой науки : материалы Всероссийской конференции с международным участием / под общ. ред. Т. В. Шепитько. – 2020. – С. 397–399. – Режим доступа : [https://elibrary.ru/query\\_results.asp](https://elibrary.ru/query_results.asp). – Дата доступа : 18.10.2022.

4 Скоростную магистраль Москва – Санкт-Петербург освоит «Автодиспетчер» [Электронный ресурс] // Евразия Вести. – № VII. – 2009. – Режим доступа : <http://eav.ru/publ1.php?publid=2009-07a09>. – Дата доступа : 18.10.2022.

## ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ УСТРОЙСТВ СЦБ КАК ФАКТОР ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Ю. А. ГЕНВАРЕВА

*Оренбургский институт путей сообщения – филиал Самарского государственного университета путей сообщения, Российская Федерация*

Для осуществления транспортной безопасности и устойчивости транспортной системы необходимо рассматривать системный подход к обеспечению транспортной безопасности, а также целостную составляющую безопасности на транспорте. Задачами обеспечения транспортной безопасности являются устойчивое и безопасное функционирование транспортного комплекса, защита интересов личности, общества и государства в сфере транспортного комплекса от актов незаконного вмешательства. В данной работе мы рассматриваем вопрос диагностирования устройств СЦБ как фактор обеспечения безопасности движения железнодорожного транспорта. Особое место отведено вопросам модернизации средств построения и инженерной эксплуатации устройств железнодорожной автоматики и телемеханики, главной целью которой является устранения отказа или снижение последствий при его появлении.

Системы передачи данных, используемые сегодня в контуре безопасного управления движением поездов (в системах железнодорожной автоматики, телемеханики и связи – ЖАТС), разделяют на два больших класса – «закрытые» и «открытые» системы. Закрытой системой передачи данных (closed transmission system) является система, объединяющая установленное количество (или установленное максимальное количество) участников и обладающая фиксированными и хорошо известными возможностями, в которой риск несанкционированного доступа считается пренебрежимо малым. Открытая система передачи данных (open transmission system) представляет собой систему, объединяющую неизвестное количество участников и имеющую неизвестные, непостоянные и неподтвержденные возможности по предоставлению услуг связи, при использовании которой следует оценить риск несанкционированного доступа [1, 2].

Системы железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ) представляют собой сложный комплекс устройств и систем, отвечающих за управление, регулирование и безопасность перевозочного процесса. Для поддержания всего этого комплекса в работоспособном и исправном состоянии необходимо выполнение определенных работ – технического обслуживания устройств.

Порядок проведения и работы, выполняемые при ТО устройств и систем сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ), определяется следующими основными документами:

- Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации (ПТЭ) [5];
- Инструкция по техническому обслуживанию устройств сигнализации, централизации и блокировки (ЦШ-720-09) [3];
- Устройства СЦБ. Технология обслуживания (Сборник технологических карт).

На железных дорогах Российской Федерации при эксплуатации применяется три вида ТО:

- регламентированное ТО;
- ТО с периодическим контролем;
- ТО с непрерывным контролем.

Самым распространенным видом ТО является регламентированное ТО: на его долю приходится порядка 60–70 % обслуживающего персонала дистанций СЦБ (ШЧ). При данном виде ТО работы производятся по годовому и четырехнедельному графику, т. е. обслуживающий персонал ШЧ выполняет работы по поддержанию закрепленных за ним устройств с определенной периодичностью. Данный метод ТО является трудозатратным и неэффективным, так как вероятность возникновения нарушения в перерывах между ТО устройств очень большая, а на качество выполнение работ влияет человеческий фактор.

ТО с периодическим контролем устройств СЦБ выполняется при обнаружении в работе устройства нарушений в соответствии с установленными нормативными документами. Примером такого

ТО могут служить окраска устройств СЦБ, контроль параметров автоматической локомотивной сигнализации (АЛС) специализированным вагоном лабораторией. Объем таких работ составляет около 5 % от общего объема.

С внедрением систем технического диагностирования и мониторинга (ТДМ) на железных дорогах РФ появилась возможность внедрения нового метода – ТО с непрерывным контролем. Данный вид технического обслуживания является наиболее перспективным и на современном этапе развития он способен облегчить работу обслуживающему персоналу путем автоматизации отдельных видов работ по ТО.

Напольное оборудование является первоочередной составной частью перегонных и станционных систем железнодорожной автоматики, которое в рамках географического расположения железных дорог в большинстве случаев эксплуатируется в жестких климатических условиях, подвергается влиянию значительных механических и прочих внешних факторов воздействия. При этом все устройства железнодорожной автоматики и телемеханики должны обеспечивать высокий уровень надежности и безопасности перевозочного процесса.

Для реализации устойчивой бесперебойной работы устройств СЦБ, с целью повышения безопасности движения необходимо осуществить ряд организационных и технических мероприятий, которые должны предусматривать:

- применение новых конструктивных решений, использование современных высокопрочных материалов, «безлюдных» или малообслуживаемых технологий (с целью исключения влияния человеческого фактора) при разработке и эксплуатации напольного оборудования в данных сферах деятельности железнодорожного транспорта;

- совершенствование оперативной эксплуатационной работы диспетчерского руководства с руководством дистанций;

- развитие системы взаимодействия между исполнителями и руководителями на всех этапах работы на основе сбора оперативной информации, результатов состояния инфраструктуры, выявленных в ходе проведения осмотров, а также недостатков, установленных при ревизионных проверках всех уровней, с целью немедленного устранения замечаний;

- разработка механизма проведения ежедневных инструктажей (на базе нормативных документов железных дорог) по вопросам обеспечения безопасности движения непосредственно перед началом работы;

- регулярное осуществление контроля выполнения долгосрочной программы повышения квалификации специалистов.

Для дальнейшего расширения возможностей автоматизации технического процесса необходимо расширять диагностические возможности систем и контролировать техническое состояние напольных устройств СЦБ. Данные мероприятия позволят существенно расширить список автоматизированных технологических комплексов и перейти с планово-предупредительного метода обслуживания на обслуживание устройств по состоянию.

#### Список литературы

1 **Ефанов, Д. В.** Непрерывное диагностирование устройств СЦБ / Д. В. Ефанов, П. А. Плеханов // Автоматика, связь, информатика. – 2012. – № 6. – С. 18–20.

2 **Ефанов, Д. В.** Обеспечение безопасности движения за счет технического диагностирования и мониторинга устройств железнодорожной автоматики и телемеханики / Д. В. Ефанов, П. А. Плеханов // Транспорт Урала. – 2011. – № 3 (30). – С. 44–48.

3 Инструкция по технической эксплуатации устройств и систем сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ) (ЦШ-720-09) : утв. Распоряжением ОАО «РЖД» от 22 октября 2009 г. № 2150р. – 2009. – 99 с.

4 **Плеханов, П.А.** Вопросы обеспечения безопасности железнодорожных телекоммуникационных систем международных транспортных коридоров / П. А. Плеханов // Бюллетень результатов научных исследований. – 2012. – № 3 (2). – С. 85–97.

5 Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации : утв. Приказом Минтранса России от 21 декабря 2010 г. № 286. – Москва : Омега-Л, 2013. – 448 с.



## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛИТИК СЕТЕВОГО ДОСТУПА

*А. Б. ДЕМУСЬКОВ*

*Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины, Республика Беларусь*

Одной из политик информационной безопасности предприятия является и политика сетевого доступа [1, 3].

Как показывает опыт, имеется два вида политики сетевого доступа, которые влияют на проектирование, установку и использование систем защиты, таких как брандмауэр. Политика верхнего уровня является концептуальной и она определяет:

- доступ к каким сервисам будет разрешен или явно запрещен из защищаемой сети;
- как эти сервисы будут использоваться;
- при каких условиях будет делаться исключение и политика не будет соблюдаться.

Политика нижнего уровня описывает, как система защиты должна на самом деле ограничивать доступ и фильтровать сервисы, которые указаны в политике верхнего уровня.

Существует ряд вариантов этой политики, которые можно реализовать:

- запрет доступа извне;
- неограниченный доступ в Internet;
- ограниченный входящий доступ;
- ограниченный исходящий доступ [3].

Политика проектирования брандмауэра [2, 3] как средства защиты в основном определяет политику сетевого доступа: чем строже политика проектирования брандмауэра, тем более строгой будет и политика сетевого доступа. Поэтому, прежде всего, нужно определиться с политикой проектирования брандмауэра.

Она специфична для конкретного брандмауэра. Нельзя разрабатывать эту политику, не понимая такие вопросы, как возможности и ограничения брандмауэра, угрозы и уязвимые места, связанные с TCP/IP. Как правило, реализуется одна из двух базовых политик:

- разрешить доступ для сервиса, если он явно не запрещен;
- запретить доступ для сервиса, если он явно не разрешен.

Брандмауэр, который реализует первую политику, пропускает все сервисы в сеть по умолчанию, если только этот сервис не был явно указан в политике управления доступом как запрещенный. Брандмауэр, который реализует вторую политику, по умолчанию запрещает все сервисы, но пропускает те, которые указаны в списке разрешенных сервисов. Вторая политика следует классической модели доступа, используемой во всех областях информационной безопасности.

Первая политика менее желательна, так как она предоставляет больше способов обойти брандмауэр, например, пользователи могут получить доступ к новым сервисам, не запрещаемым политикой (или даже не указанных в политике), или запустить запрещенные сервисы на нестандартных портах TCP/UDP, которые не запрещены политикой. Определенные сервисы, такие как X Windows, FTP, ARCHIE и RPC, сложно фильтровать, и для них лучше подходит брандмауэр, реализующий первую политику. Вторая политика строже и безопаснее, но ее тяжелее реализовать и она может повлиять на работу пользователей в том отношении, что ряд сервисов, такие, как описанные выше, могут оказаться заблокированными или использование их будет ограничено.

Политика доступа к сервисам – самый важный компонент из четырех, описанных выше. Остальные три компонента используются для реализации политики. И, как отмечалось выше, политика доступа к сервисам должна отражать общую политику безопасности организации [2]. Эффективность системы брандмауэра при защите сети зависит от типа используемой реализации, от правильности процедур работы с ним, и от политики доступа к сервисам.

Теперь рассмотрим политику аутентификации удаленных пользователей.

Удаленные пользователи – это те пользователи, которые устанавливают соединения с внутренними системами откуда-либо из Internet. В любом случае для всех таких соединений должны использоваться меры усиленной аутентификации брандмауэра перед предоставлением доступа к внутренним системам. В политике должно быть указано, что удаленные пользователи не могут по-

лучать доступ к системам с помощью неавторизованных модемов. Не должно быть исключений для этого правила, так как даже один перехваченный пароль или один неконтролируемый модем может открыть «проход» в обход брандмауэра.

Такая политика имеет и недостатки:

- необходимо обучать пользователей пользоваться средствами усиленной аутентификации;
- расход средств на устройства аутентификации пользователей и администрирование удаленного доступа.

Но будет ещё большей глупостью установить брандмауэр и не контролировать удаленный доступ.

Помимо соединений через модемы политика должна регламентировать использование соединений с помощью протоколов SLIP и PPP. Пользователи могут использовать их для создания новых сетевых соединений внутри защищенной сети. Такое соединение потенциально является способом обхода брандмауэра, и может оказаться даже более опасным, чем коммутируемое соединение.

И наконец, для достижения положительных результатов от применения рассмотренных политик сетевого доступа необходимо, чтобы эти политики были не только декларированы, а доведены пользователю и наглядны. Политика организации – это средство довести позицию руководства в отношении компьютерной безопасности и явно указать, что оно ожидает от сотрудников, действий в тех или иных ситуациях и регистрации своих действий.

Для того чтобы быть эффективной, политика должна быть согласована с другими существующими законами, приказами и общими задачами организации. Она также должна быть интегрирована и согласована с другими политиками предприятия (например, политикой по приему на работу).

#### Список литературы

- 1 Герасименко, В. А. Основы защиты информации / В. А. Герасименко, А. А. Малюк. – М. : МИФИ, 1997. – 537 с.
- 2 Проблемы информационной безопасности в системе высшей школы : сб. науч. тр. X всероссийская науч. конф. – М. : МИФИ, 2003. – 256 с.
- 3 Демуськов, А. Б. Политики информационной безопасности предприятий / А. Б. Демуськов, В. А. Короткевич, Л. И. Короткевич // Известия Гомельского государственного университета им. Ф. Скорины. – 2003. – № 4 (19).

УДК 004.052.32+681.518.5

## МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ САМОДВОЙСТВЕННЫХ КОМБИНАЦИОННЫХ УСТРОЙСТВ В УСЛОВИЯХ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ОДИНОЧНЫХ КОНСТАНТНЫХ НЕИСПРАВНОСТЕЙ

*Д. В. ЕФАНОВ, Т. С. ПОГОДИНА*

*Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва*

При разработке и конструировании управляющих вычислительных комплексов применяются разнообразные методы обеспечения надежности и безопасности функционирования, так или иначе подразумевающие внесение в них избыточности (временной, информационной, структурной) по определенным принципам [1]. Важным является не только обеспечение выполнения объектом заданного управляющего алгоритма, но и возможности сохранения им таких свойств, как контролепригодность, самопроверяемость, отказоустойчивость, живучесть. В особенности это важно при использовании вычислительных комплексов в критических системах, к которым относятся и разнообразные системы управления, применяемые на транспорте [2].

Исследования [3–5] показывают, что достаточно большой класс контролепригодных устройств и систем образуют самодвойственные объекты автоматики и вычислительной техники. Свойство самодвойственности представления сигналов в них позволяет непрерывно контролировать их исправность при наличии временного ресурса для проведения процедур по тестированию. Вполне понятно, что не любое устройство является самодвойственным, однако существуют способы преобразования структур любых устройств к самодвойственному виду [3]. Таким образом, класс самодвойственных контролепригодных устройств является перспективным в решении задачи синтеза высоконадежной системы управления любым ответственным технологическим процессом.

Анализ показывает, что теория синтеза самодвойственных цифровых устройств и систем проработана недостаточно глубоко. В ряде статей, ссылки на которые мы здесь не приводим, и в трех монографиях [3–5], обобщающих исследования, обсуждаются вопросы синтеза и тестирования самодвойственных комбинационных и последовательностных устройств. Интерес, по нашему мнению, представляет развитие теории самодвойственных цифровых устройств в части совершенствования методов синтеза схем встроенного контроля, определения их обнаруживающих характеристик, использования нескольких диагностических параметров для организации контроля вычислений, моделирования поведения схем, реализуемых на различной элементной базе в условиях возникновения неисправностей из различных моделей [6] и др. В представленной работе приводятся некоторые особенности моделирования самодвойственных комбинационных устройств и обсуждаются вопросы обнаружения в них одиночных константных неисправностей (*stuck-at faults*), возникающих на выходах элементов внутренних структур с применением специальных схем сжатия сигналов.

Для установления особенностей моделирования самодвойственных комбинационных устройств была выбрана простейшая схема, имеющая три входа и четыре выхода, включающая в себя 7 двухвходовых логических элементов. Схема была взята произвольная. На первом шаге для моделирования ее работы в условиях действия неисправностей из заданного класса схема была преобразована в самодвойственную одним из известных [3] методов. Для преобразования элементы схемы были заменены на самодвойственные аналоги. Далее схема была реализована в Multisim. Для ее контроля установлена схема сжатия, включающая в себя полный сумматор (*full-adder*), который является самодвойственным устройством, и каскад сумматоров по модулю  $M = 2$  (*XOR*), тоже являющийся самодвойственным. На рисунке 1 приведена структурная схема проведенного эксперимента.

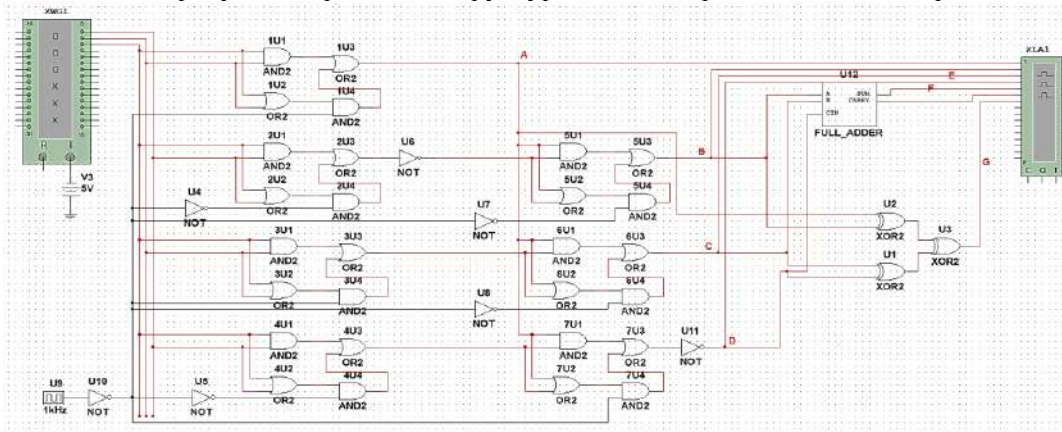


Рисунок 1 – Самодвойственное устройство и схема сжатия сигналов для эксперимент

Работа самодвойственных устройств осуществляется в импульсном режиме. При этом сигналы представляются в виде последовательностей импульсов:  $0 - 0101\dots01$  и  $1 - 1010\dots10$  [3]. Поэтому при моделировании предварительно потребовалась настройка генератора кодовых слов (XWG1 на рисунке 1): в каждом такте должны подаваться ортогональные по всем входным переменным комбинации (противоположные входные наборы). Это следует из определения самодвойственной функции:  $f(x_1, x_2, \dots, x_t) = \overline{f(\overline{x_1}, \overline{x_2}, \dots, \overline{x_t})}$ , где  $t$  – число входных переменных. На противоположных входных наборах функции должны принимать противоположные значения (должны быть парафазными). Нарушение парафазности свидетельствует о наличии ошибок в вычислениях, что является, в свою очередь, следствием возникновения какой-либо неисправности. Для рассматриваемой схемы существует ровно четыре пары противоположных входных наборов. В схему последовательно вносились одиночные константные неисправности на выходы элементов-аналогов первого каскада (кроме инверторов) и наблюдались сигналы на линиях схем, в том числе, на выходах схемы сжатия. Всего 16 элементов  $1U1\dots4U4$  и 32 неисправности. На анализаторе (XLA1 на рисунке 1) наблюдаются сигналы в каждой точке при возникновении неисправности *stuck-at-0* на выходе элемента  $1U3$ , а именно: точки A, B, C и D соответствуют выходам контролируемой схемы, точки E, F и G – выходам схемы сжатия. Неисправность обнаруживается на каждой тестовой паре хотя бы на одном

из трех выходов схемы сжатия. Вывод сигналов на точках А, В, С и D здесь приведен для наглядности и сравнения. Контроль же вычислений проводится именно по выходам схемы сжатия. Всего пар входных наборов – 128, количество пар, на которых неисправность фиксируется на выходах схемы сжатия, – 78. Итого, неисправности фиксируются на  $\delta = \frac{78}{32 \cdot 4} \cdot 100 \% = 60,9375 \%$  входных наборах.

Необходимо отметить, что в рассматриваемом примере осуществлено сжатие четырех сигналов в три. Однако может быть установлена схема сжатия сигналов в один сигнал с контролем его с помощью самодвойственного тестера. Это следующий этап моделирования самодвойственных устройств.

Для более сложных комбинационных устройств моделирование дает схожий результат: неисправности тестируются более чем на 50 % пар входных комбинаций. Это говорит о весьма эффективном использовании свойства контроля вычислений по принадлежности формируемых функций классу самодвойственных. Дальнейшие исследования направлены на изучение особенностей реализации схем встроенного контроля с применением различных вариантов сжатия сигналов с установкой на выходах таких схем конвертора  $k$  выходов в один самодвойственный выход, значения на котором контролируются с помощью одного самодвойственного тестера.

#### Список литературы

- 1 Рабочее диагностирование безопасных информационно-управляющих систем / А. В. Дрозд [и др.] ; под ред. А. В. Дрозда и В. С. Харченко. – Харьков : Нац. аэрокосмический ун-т им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», 2012. – 614 с.
- 2 Сапожников, Вл. В. Синтез систем управления движением поездов на железнодорожных станциях с исключением опасных отказов Вл. В. Сапожников. – М. : Наука, 2021. – 229 с.
- 3 Сапожников, В. В. Самодвойственные дискретные устройства / В. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, М. Гессель. – СПб. : Энергоатомиздат (Санкт-Петербургское отделение), 2001. – 331 с.
- 4 Сапожников, В. В. Синтез самодвойственных дискретных систем / В. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, Р. Ш. Валиев. – СПб. : Элмор, 2006. – 220 с.
- 5 New Methods of Concurrent Checking: Edition 1 / M. Göessel [el al]. – Dordrecht : Springer Science+Business Media B. V 2008. – P. 184.
- 6 Багдади, А. А. А. Методы анализа и диагностирования цифровых устройств (аналитический обзор) / А. А. А. Багдади, В. И. Хаханов, Е. И. Литвинова // Автоматизированные системы управления и приборы автоматики. – 2014. – № 166. – С. 59–74.

УДК 550.385:656.25

## О ВЛИЯНИИ ГЕОМАГНИТНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ НА РАБОТУ СИСТЕМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ

*С. М. КОКИН*

*Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва*

*Я. А. САХАРОВ, Н. В. КУДРЯШОВА*

*Полярный геофизический институт КНЦ РАН, г. Апатиты, Российская Федерация*

*С. Н. САРАНСКИЙ*

*Октябрьская железная дорога, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация*

Глобальные магнитные бури являются одним из проявлений эффектов космической погоды. Возникающие во время бурь у границ атмосферы Земли переменные (частотой от  $10^{-4}$  до 1 Гц) ионосферные токи (величиной порядка  $10^5$  А) являются причиной генерации квазипостоянных индуцированных токов в расположенных на земле протяженных проводящих объектах, которые имеют заземление в двух и более точках. К таким объектам относятся трубопроводы, линии электропередачи, проводные линии связи, питающие цепи оптоволоконных кабелей телеметрические системы автоматики железных дорог. Сила индуцируемых токов зависит от электрического сопротивления, ориентации и размеров протяженных цепей, от проводимости окружающей среды. Так, в линиях электропередач она достигает 100 А, а в трубопроводах может оказаться даже в несколько раз больше.

Как правило, ионосферные токи возникают в полярных областях, однако при сильных магнитных бурях они могут развиваться и на средних широтах. Индуцируемые ими токи в трубопроводах нарушают работу систем катодной защиты и, тем самым, способствуют ускоренной коррозии труб, в линиях электропередач они приводят к перегрузке трансформаторов и к сбоям устройств контроля электроснабжения (вплоть до аварийных отключений). Системы автоматики и телемеханики железных дорог, так же, как системы электропитания, подвержены воздействиям индуцированных токов: нарушения в работе систем сигнализации могут приводить к вынужденным простоям подвижного состава, к возникновению аварийных ситуаций.

Сопоставление данных о сбоях в работе элементов сигнальных систем Северной и Горьковской железных дорог, Мурманского участка Октябрьской железной дороги, Восточно-Сибирской железной дороги (расположенной в средних магнитных широтах), а также энергосистем Кольского полуострова с результатами проводившихся в те же промежутки времени измерений параметров магнитного поля Земли (использованы данные магнитных станций сети IMAGE Ловозеро, Кольский полуостров) [1–4] говорит следующее:

1 В период наблюдений с 2002 по 2006 гг. в двух третях случаев при развитии достаточно сильных магнитных возмущений в ночное время были зафиксированы сбои в работе сигнальных систем железнодорожной автоматики.

2 Момент начала периода «аномального поведения» систем сигнализации, как правило, совпадал с резким изменением горизонтальной компоненты магнитного поля, вызванным магнитной бурей.

3 Более подверженными воздействию индукционного электрического поля оказались системы, ориентированные в направлении Восток – Запад.

4 Связываемые с геомагнитными процессами сбои в работе систем автоматики наблюдались, в первую очередь, на участках, имеющих определённые особенности конфигурации контура заземления.

Типичный пример, демонстрирующий корреляцию между возникновением геомагнитных возмущений и зарегистрированными сбоями в работе сигнальной автоматики (Октябрьская железная дорога, ст. Беломорск), представлен на рисунке 1.

В целом, полученные результаты, так же, как и публикации зарубежных исследователей по данной тематике, говорят о необходимости организации непрерывного контроля работы сигнальных систем автоматика на севере страны (для начала хотя бы на одной из дорог или её участков). Прямые наблюдения и статистический анализ сбоев позволят установить степень подверженности этих систем геомагнитным возмущениям и, при необходимости, предпринять меры по повышению надёжности соответствующей аппаратуры.

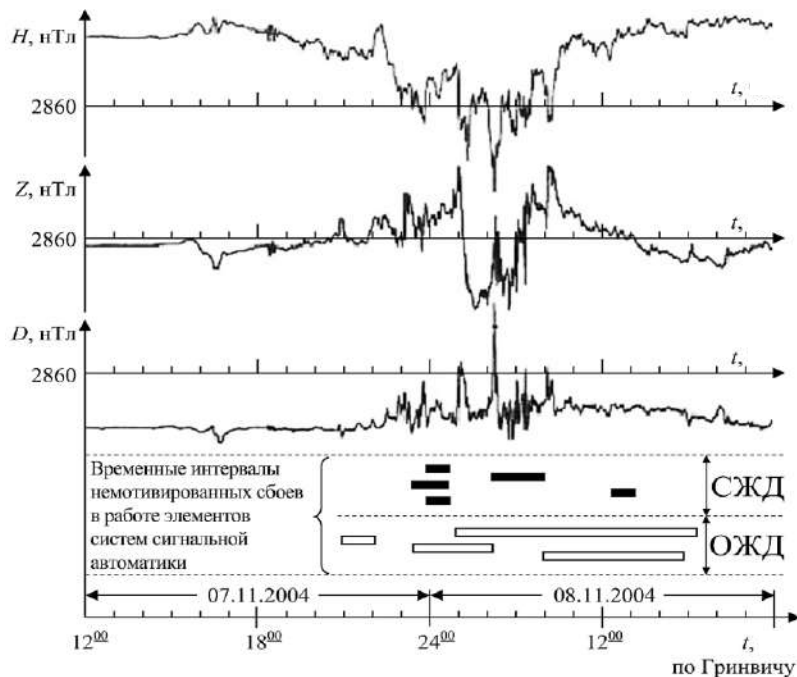


Рисунок 1 – Сопоставление вариаций вертикальной ( $Z$ ) и горизонтальных ( $H$  и  $D$ ) компонент магнитного поля с временными интервалами немотивированных сбоев систем сигнальной автоматики на участках Октябрьской [3] и Северной (по данным [4]) железных дорог

Задача является актуальной ещё и в связи с постепенным дрейфом магнитных полюсов Земли. Прогноз говорит о том, что уже через три-четыре десятка лет магнитный полюс, который в настоящее время со средней скоростью 40 км/год проходит район северного географического полюса, достигнет побережья Сибири, и все геомагнитные эффекты, ныне характерные для высоких широт, станут проявляться практически на всей территории страны.

#### Список литературы

- 1 Сахаров, Я. А. Сбои в системах автоматики Октябрьской железной дороги во время геомагнитных возмущений / Я. А. Сахаров, Н. В. Кудряшова, В. А. Билин // Физика плазмы в Солнечной системе: 15-я ежегодная конф. 10–14 февраля 2020. – М.: ИКИ, 2020. – С. 317.
- 2 Белаховский, В. Б. Рост геомагнитно-индуцированных токов в линиях электропередач во время магнитной бури 25–26 августа 2018 года / В. Б. Белаховский, В. А. Пилипенко, Я. А. Сахаров // Physics of Auroral Phenomena – 2021. – Т. 43. – № 1. – С. 15–19.
- 3 Сахаров, Я. А. Геомагнитные возмущения как причина сбоев в работе систем железнодорожной автоматики / Я. А. Сахаров, Н. В. Кудряшова, А. Н. Данилин // Логистическая интеграция российских регионов: Институциональные инновации: сб. материалов науч.-практ. конф. – Казань: Бриг, 2012. – С. 122–127.
- 4 Effects of strong geomagnetic storms on Northern railways in Russia / E. A. Eroshenko [et al.] // Adv. Space Res. – 2010. – Vol. 46, is. 9. – P. 1102–1110.

УДК 656.259.12.004

## АНАЛИЗ ИСКАЖЕНИЙ АМПЛИТУДНО-МАНИПУЛИРОВАННОГО СИГНАЛА ТОНАЛЬНЫХ РЕЛЬСОВЫХ ЦЕПЕЙ

*Д. В. КОМНАТНЫЙ*

*Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого, г. Гомель*

Современные тональные рельсовые цепи (ТРЦ) могут рассматриваться как разновидность радиотехнических систем. Поэтому при проектировании и эксплуатации ТРЦ требуется обращать внимание на искажения сигнала при передаче по рельсовой цепи. Это объясняется тем, что прием амплитудно-модулированных и амплитудно-манипулированных сигналов основан на сравнении огибающей сигнала с пороговым значением. Чем более искажается огибающая, тем затруднительнее работа детектора. Так как ТРЦ являются одним из главных средств обеспечения безопасности движения поездов, то необходимо создавать наилучшие условия передачи сигнала в них с тем, чтобы его прием был как можно более верным.

Несмотря на активную дискуссию о перспективах рельсовых цепей на страницах журнала «Автоматика, связь, информатика», задачи их расчета и эксплуатации остаются актуальными, в частности на Белорусской железной дороге.

В ТРЦ передаются амплитудно-манипулированные сигналы типа «передача точек». Спектр этого сигнала дискретный, бесконечный. На практике возможна передача несущей частоты и нескольких боковых. Как правило, передаются до семи боковых частот, поэтому сигнал воспроизводится не точно уже при подаче в рельсовую цепь.

На электрифицированных железных дорогах рельсовая цепь используется как обратный провод тягового тока. По данным ВНИИЖТа частоты ТРЦ3 попадают в диапазон частотного спектра тягового тока. Кроме того, спектры сигналов соседних ТРЦ существенно перекрываются. Поэтому в аппаратуре ТРЦ3 передаются и принимаются только несущая частота и две боковых. Следовательно, сигналы оказываются значительно искаженными, как показано в работах ДНУЖТа.

Несущие частоты ТРЦ4 значительно выше, чем 39-я гармоника тягового тока. Полосы частот сигналов соседних ТРЦ4 пересекаются незначительно. Поэтому допустимо внести изменения в конструкцию аппаратуры ТРЦ4, а именно передавать в рельсовую линию до семи боковых частот. Таким способом искажения сигнала могут быть снижены.

При расчете регулировочных таблиц тональных рельсовых цепей следует принимать во внимание не только искажения отдельных гармонических составляющих и сигнала в целом. Необходимо также учитывать, что в общем случае, при некротных частотах несущей и модулирующего сигнала,

амплитудно-манипулированный сигнал является непериодическим. Поэтому для него не определены как действующее и средневыпрямленное значения, так и понятие полной мощности. Об этом говорится и в статье Бушуева С. В. и Попова А. Н., опубликованной в журнале «Транспорт Урала», применительно к измерениям параметров сигнала ТРЦ в процессе эксплуатации.

Таким образом, необходимо определять огибающую сигнала на промежутке времени, равном периоду модулирующего колебания, и контролировать ее значения в нормальном режиме (больше порогового) и в шунтовом и контрольном режимах (меньше порогового).

Для определения огибающей амплитудно-манипулированного сигнала предложены метод рядов Фурье и метод интеграла Дюамеля.

Применение метода интеграла Дюамеля описано в работе Д. С. Маркова, В. Б. Соколова и М. Б. Соколова. К сожалению, применение метода интеграла Дюамеля наталкивается на следующие трудности. Во-первых, сигнал ТРЦ достаточно сложен сам по себе, а при распространении по рельсовой линии заметно искажается. Во-вторых, имеется зависимость условий передачи составляющих сигнала от их частоты. В-третьих, рельсовая цепь состоит из большого количества аппаратуры, которая моделируется цепями с сосредоточенными и распределенными параметрами. Поэтому получить простое выражение передаточной функции, применяемой в расчетах по этому методу, представляется затруднительным.

Тогда для определения огибающей сигнала ТРЦ целесообразно применять метод рядов Фурье. Метод заключается в анализе прохождения частотных составляющих сигнала ТРЦ по эквивалентному четырехполюснику ТРЦ с последующим переходом во временную область. Гармонический синтез сигнала ТРЦ на входе ее приемника визуализируется с помощью методов компьютерной математики и компьютерной графики. Определение А-параметров эквивалентного четырехполюсника ТРЦ и А-параметров ее аппаратуры достаточно хорошо описано, в частности в цикле работ, выполненных в ДНУЖТе под руководством д-ра физ.-мат. наук В. И. Гаврилюка.

По результатам выполненного анализа свойств амплитудно-манипулированного сигнала можно сделать вывод. Снижение погрешности работы приемника ТРЦ может быть достигнуто использованием несущих частот ТРЦ4 и максимально возможного числа гармонических составляющих сигнала. Параметры сигнала на приемном конце ТРЦ должны задаваться с учетом радиотехнических свойств сигнала, то есть быть корректно определены. Оптимальной трудоемкостью и точностью анализа работы ТРЦ обладает метод рядов Фурье в сочетании с компьютерной визуализацией результирующего сигнала. Следовательно, допустимо рекомендовать эти решения для внедрения в практику работы конструкторских организаций железнодорожного транспорта.

Но практика показывает, что длина ТРЦ4 сокращается по сравнению с ТРЦ3 при одинаковом напряжении на входе цепи. Тогда потребуется повышение напряжения на выходе передатчика ТРЦ4. Представляется, что это ограничение не является критическим. В пользу этого свидетельствует повсеместное применение на железных дорогах Франции высоковольтных импульсных рельсовых цепей.

Также полезным будет указать, что методика анализа рельсовых цепей методом рядов Фурье может быть распространена и на рельсовые цепи, в которых применяется относительная фазовая модуляция и передача на приемный конец рельсовой цепи контрольных кодов. Такие рельсовые цепи применяются в микропроцессорной автоблокировке Ebitrack 400. Спектр сигнала в таких рельсовых цепях имеет более сложную форму, нежели в ТРЦ с амплитудно-манипулированными сигналами. Поэтому расчет и анализ рельсовых цепей потребует существенных изменений методик расчета с учетом спектральных свойств сигнала. Это объясняется необходимостью корректной передачи контрольного кода, поскольку сигнал с искаженным кодом отбраковывается приемником и считается ложным, поступившим из соседней либо смежной ТРЦ. Что, в свою очередь, повлечет за собой ошибочное определение состояния ТРЦ. В частности, потребуется получить передаточную функцию рельсовой цепи в спектральной области. Решение этой задачи возможно методами теории четырехполюсников.

Описанная методика является универсальной и не зависит от вида модуляции, принятой в рассматриваемой ТРЦ. Следовательно, ее применение является оправданным и не ограничивается современным состоянием технических средств автоматики на перегонах. В этом заключается ее существенное достоинство.

## ДИПОЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ГАРМОНИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ДЛЯ АНАЛИЗА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ОБСТАНОВКИ НА ОБЪЕКТАХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Д. В. КОМНАТНЫЙ

*Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого, г. Гомель*

Современная железная дорога с электрическим подвижным составом нового поколения является источником мощного электромагнитного излучения в широком диапазоне частот. Таким образом, на железных дорогах формируется сложная электромагнитная обстановка (ЭМО), затрудняющая эксплуатацию микроэлектронных и микропроцессорных систем железнодорожной автоматики, телемеханики и связи. Проблема электромагнитной совместимости усугубляется на перспективных дорогах с применением магнитного подвеса экипажей (Маглев). Поэтому возникает потребность в разработке методов анализа электромагнитной обстановки, создаваемой большим количеством разнообразных источников. Электромагнитные поля этих источников предполагаются гармоническими. Эти поля либо монохроматические, либо могут быть представлены рядом Фурье, как сумма гармоник.

При расчете электромагнитных полей такого типа во многих случаях целесообразно представлять реальных источники в виде дипольных моделей. Для описания ЭМО удобно использовать напряженности электрической и магнитной составляющих поля. В расчетах электромагнитных полей технических объектов рационально использовать декартову систему координат. Также для технических задач оправданным является исключение аппарата сферических гармонических функций и теорем сложения (формул переразложения), который значительно усложняет проведение анализа ЭМО.

Поэтому при построении дипольной модели источника помех предполагается, что электрические диполи лежат по какой-либо оси локальной системы координат. Оси локальных систем координат параллельны осям глобальной системы координат, а центры локальных систем сдвинуты произвольным образом относительно центра глобальной системы координат. Моменты диполей считаются известными.

Векторные потенциалы таких диполей описываются известными формулами. Например, для диполя, лежащего по оси  $Oz$ , векторный потенциал дается выражением

$$\vec{A} = \frac{-j\omega\mu}{4\pi} p \frac{e^{-jkr}}{r} \vec{e}_z, \quad (1)$$

где  $A$  – векторный потенциал, В·с / м;  $\omega$  – круговая частота, рад/с;  $\mu$  – магнитная проницаемость среды, Гн/м;  $p$  – момент диполя, А·м·с;  $k$  – волновое число, м<sup>-1</sup>;  $r$  – расстояние, м;  $\vec{e}_z$  – орт оси  $Oz$ .

Составляющие электромагнитного поля получаются из векторного потенциала по известным соотношениям теории поля. Так из (1) могут быть получены формулы, справедливые в локальной системе координат диполя, (ограничиваясь членами порядка  $1/r$ ,  $1/r^2$ ,  $1/r^3$ ):

$$E_x = \frac{p}{4\pi\epsilon} e^{-jkr} \left[ \frac{jk^2xz}{r^2} - \frac{jkxz}{r^3} \right], \quad (2)$$

$$E_y = \frac{p}{4\pi\epsilon} e^{-jkr} \left[ \frac{jk^2zy}{r^2} - \frac{jkyz}{r^3} \right], \quad (3)$$

$$E_z = \frac{p}{4\pi\epsilon} e^{-jkr} \left[ \frac{jk - k^2z^2}{r^2} - \frac{jkz^2 + 1}{r^3} \right] + \frac{k^2 p e^{-jkr}}{4\pi r}, \quad (4)$$

$$H_x = \frac{-j\omega}{4\pi} p e^{-jkr} \left[ \frac{jky}{r^2} - \frac{y}{r^3} \right], \quad (5)$$

$$H_y = \frac{j\omega}{4\pi} p e^{-jkr} \left[ \frac{jkx}{r^2} - \frac{x}{r^3} \right], \quad (6)$$



где  $\varepsilon$  – диэлектрическая проницаемость, Ф/м;  $x, y, z$  – декартовы локальные координаты точки наблюдения, м;  $E_x, E_y, E_z$  – декартовы составляющие вектора напряженности электрического поля, В/м;  $H_x, H_y$  – декартовы составляющие вектора напряженности магнитного поля, А/м.

Координаты точки наблюдения задаются, как правило, в глобальной системе координат. Для упрощения расчета следует перевычислить координаты точки наблюдения в локальной системе координат по формулам

$$\begin{aligned}x &= x_1 - r_0 \cos \varphi_0 \sin \theta_0, \\y &= y_1 - r_0 \sin \varphi_0 \sin \theta_0, \\z &= z_1 - r_0 \cos \theta_0,\end{aligned}\tag{7}$$

где  $x_1, y_1, z_1$  – глобальные координаты точки наблюдения, м;  $r_0$  – расстояние между центрами систем координат, м;  $\theta_0, \varphi_0$  – угловые сферические координаты центра локальной системы координат в глобальной системе координат, рад.

Выражения (2)–(7) являются примером дипольной модели источника электромагнитных помех.

В монографии Б. Б. Акбашева, Н. В. Балюка и Л. Н. Кечиева приведены общие выражения для напряжения помех, наведенного в рецепторах, модели которых представлены в виде электрического или магнитного диполей. Для расчета гармонических полей в частотной области эти выражения могут быть преобразованы по теореме о спектре производной. В результате получаются расчетные формулы:

$$\begin{aligned}\text{– для магнитного диполя } U(j\omega) &= -j\mu S \frac{R}{L} H(j\omega) \quad R \ll \omega L, \\U(j\omega) &= -j\mu S H(j\omega) \quad R \gg \omega L, \\ \text{– для электрического диполя } U(j\omega) &= -j\omega h R C E(j\omega) \quad R \ll \frac{1}{\omega C}, \\U(j\omega) &= -j\omega h E(j\omega) \quad R \gg \frac{1}{\omega C},\end{aligned}$$

где  $U$  – напряжение, В;  $S$  – площадь дипольной антенны, м<sup>2</sup>;  $R$  – сопротивление нагрузки антенны, Ом;  $L$  – индуктивность антенны, Гн;  $H$  – составляющая напряженности магнитного поля, перпендикулярная контуру дипольной антенны, А/м;  $h$  – длина антенны, м;  $C$  – емкость антенны, Ф;  $E$  – составляющая напряженности электрического поля, перпендикулярная длине антенны, В/м.

Приведенные расчетные соотношения являются дипольной моделью рецептора электромагнитных помех.

Отличительной особенностью рассмотренных в докладе дипольных моделей является простой математический аппарат. Расчетные соотношения не используют специальных функций математической физики. Вместе с тем, как показывает анализ литературных источников, дипольные модели позволяют получить достаточные для практики оценки электромагнитных помех от промышленного оборудования и транспортных систем. Поэтому можно сделать вывод по докладу, что рассмотренный способ получения дипольных моделей ЭМО является оптимальным для решения актуальных задач, возникающих как составная часть проблемы электромагнитной безопасности современных и перспективных электрифицированных железных дорог.

УДК 621.372.5

## **ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ПЕРВИЧНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПУТЕВЫХ ФИЛЬТРОВ**

*Д. Д. МЕДВЕДЕВ, С. И. ХОМЕНКО, И. О. ЖИГАЛИН*  
*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Классические рельсовые цепи (РЦ) имеют ряд недостатков, одним из которых является наличие изолирующих стыков, дающих 30 % отказов по работе рельсовых цепей. В настоящее время приме-

няют рельсовые цепи без изолирующих стыков, обладающие рядом достоинств по отношению к рельсовым цепям с изолирующими стыками:

- укладка цельносварных рельсов;
- сокращение числа дроссель-трансформаторов;
- централизованное размещение аппаратуры;
- использование для любого вида тяги;
- высокая защищенность от воздействия помех;
- уменьшение энергопотребления.

Рельсовая цепь тональной частоты (ТРЦ) является сложным элементом железнодорожной автоматики и телемеханики, состоящим из множества электронных устройств. Одним из сложнейших элементов (с точки зрения определения первичных параметров) РЦ является путевой фильтр (ФПМ).

ФПМ предназначен для эксплуатации в составе аппаратуры контроля рельсовых цепей для передачи сигналов рабочих резонансных частот и согласования приборов питающего конца с рельсовой цепью. ФПМ выполнен в виде последовательного контура с трансформаторной связью (рисунок 1) для подключения к путевому генератору. ФПМ выпускают двух вариантов исполнения: ФПМ 8, 9, и ФПМ 11, 14, 15.

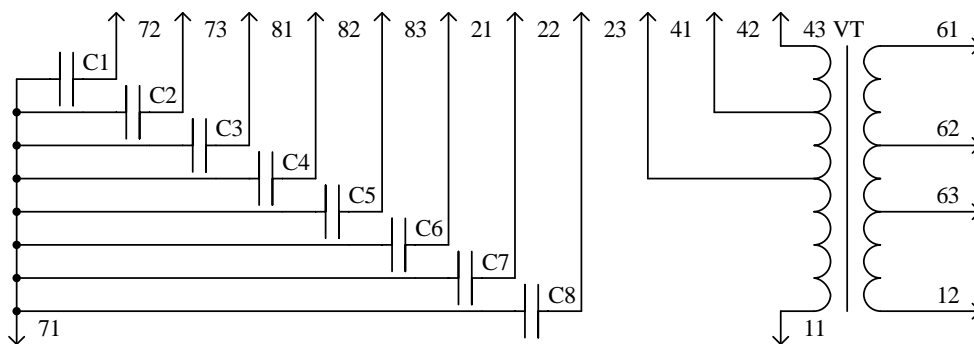


Рисунок 1 – Принципиальная схема фильтра ФПМ

Целью расчета РЦ является определение номинальных параметров источника питания, при которых обеспечивается устойчивая работа РЦ во всех режимах. При расчете должны быть известны схема РЦ, а также диапазоны изменения условий ее функционирования, например, состояния изоляции рельсовой линии (РЛ), пределы колебаний напряжения питания, возможный разброс параметров элементов.

При анализе и расчете РЦ предполагается, что РЛ и элементы аппаратуры являются линейными, то есть их параметры не зависят от протекающих токов. Для упрощения расчетов РЦ представляют соответствующей математической моделью (схемой замещения) для каждого режима. В зависимости от вида применяемой схемы замещения различают четырех- и многополюсные модели. Классический метод расчета основан на использовании четырехполюсных моделей [1].

Использование классического метода для расчета ТРЦ затрудняется отсутствием в справочной литературе первичных параметров элементов аппаратуры, входящей в её состав.

Определение параметров четырехполюсника модели ФПМ сталкивается с проблемой низкого сопротивления со стороны входа в режиме холостого хода на выходе. Это объясняется тем, что входная цепь представляет последовательный колебательный контур из набранной емкости и первичной обмотки трансформатора VT (см. рисунок 1), настроенный на частоту резонанса. Измерительный генератор при реализации метода трех вольтметров [2] должен иметь большую мощность выходного сигнала. В противном случае параметры выходного сигнала (частота и напряжение) нестабильные. Также, входное сопротивление фильтра имеет фазу близкую к нулю, поэтому метод дает высокую погрешность при измерениях.

Существуют методики [3], позволяющие для подобных устройств аналитически рассчитать параметры эквивалентного четырехполюсника. Но для фильтра ФПМ данных, приведенных в справочной литературе, недостаточно для расчета. Также в приведенной методике используется четырехполюсник идеального трансформатора с коэффициентом трансформации  $n$ . Это упрощает расчет, но приводит к неверному определению выходного сопротивления фильтра.

Один из путей устранения недостатков рассмотренных методов заключается в определении параметров ФПМ в несколько этапов. Используя стандартные методы [2], необходимо определить входные сопротивления в режимах холостого хода и короткого замыкания трансформатора VT для заданного режима подключения. При этом  $Z_{вх.хх}$  (сопротивление со стороны входа в режиме холостого хода) представляет собой эквивалентное сопротивление в цепи последовательного колебательного контура. Это позволяет осуществить промежуточную проверку индуктивной составляющей  $Z_{вх.хх}$  по формуле

$$L_{\phi} = \frac{1}{4\pi^2 f^2 C_{\phi}},$$

где  $f$  – частота настройки путевого фильтра;  $C_{\phi}$  – суммарная набранная емкость для настройки на частоту.

Активная составляющая  $Z_{вх.хх}$  близка к величине сопротивления фильтра на частоте настройки.

Представим путьевой фильтр в виде двух четырехполюсников: конденсатора с резонансной ёмкостью и реального трансформатора, включенных каскадно (рисунок 2). Тогда матрицу коэффициентов четырехполюсника фильтра можно определить следующим образом:

$$\begin{bmatrix} A_{\phi} & B_{\phi} \\ C_{\phi} & D_{\phi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{j\omega C_{\phi}} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} A_{тр} & B_{тр} \\ C_{тр} & D_{тр} \end{bmatrix},$$

где  $C_{\phi}$  – емкость конденсатора для заданных параметров включения;  $A_{тр}, B_{тр}, C_{тр}, D_{тр}$  – первичные параметры трансформатора для заданных режимов включения.

Корректность определённых параметров для фильтра ФПМ подтверждается результатами математического моделирования и измерений параметров в различных режимах работы.

Предложенная методика позволяет наиболее точно опередить параметры четырехполюсника путевого фильтра ТРЦ. Это способствует проведению более точного расчета РЦ, в частности в шунтовом режиме и режиме короткого замыкания работы ТРЦ. Предоставляет возможность исследовать влияние нагрузки на амплитудно-частотную характеристику ФПМ. Сформированная более адекватная модель учитывает особенности схемы замещения для задач схемотехнического и математического моделирования.

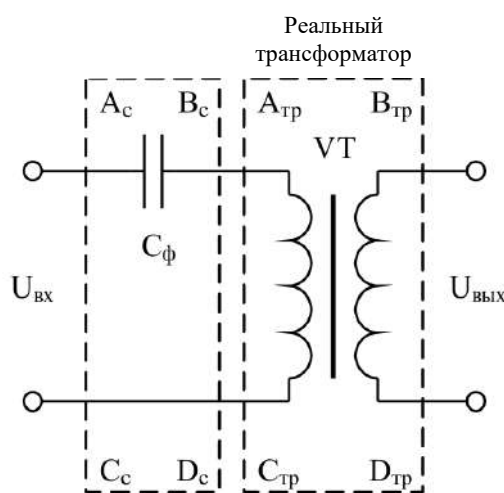


Рисунок 2 – Схема замещения путевого фильтра ФПМ

#### Список литературы

- 1 Рельсовые цепи магистральных железных дорог : справочник / В. С. Аркатов [и др.]. – 3-е изд. – М. : ООО Миссия-М, 2006. – 496 с.
- 2 Дмитриенко, И. Е. Измерения в устройствах автоматики, телемеханики и связи на железнодорожном транспорте / И. Е. Дмитриенко, А. А. Устинский, В. И. Цыганков. – М. : Транспорт, 1982. – 312 с.
- 3 Гончаров, К. В. Исследование переходных процессов в тональных рельсовых цепях / К. В. Гончаров // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2013. – Вип. 4. – С. 8–17.

УДК 629.4.053

### СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОДСИСТЕМ КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ БУКС КОМПЛЕКСА КТСМ-03

Д. Д. МЕДВЕДЕВ, В. Ю. ШЕВЧУК

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Контроль перегретых букс в подвижном составе на Белорусской железной дороге осуществляется с помощью аппаратуры ПОНАБ, ДИСК, КТСМ-1Д, КТСМ-02. Данные системы физически и морально устарели и уже не выпускаются. Аппаратура нового поколения КТСМ-03 построена с



ка светофильтра оказывает непосредственное влияние на результаты контроля подвижного состава, поэтому требует дополнительной настройки подсистемы.

Для оценки исправности и качества настройки теплового тракта и других узлов КНМ-05 автоматически производит процедуры самодиагностики и калибровки, камера информирует БУ об исправности и готовности производить измерения, а КНМ-90 производит процедуру автоконтроля, в процессе которой заслонка НК перемещается из положения «закрыто» в положение «контроль» и обратно. Значения сигналов, полученных в результате автоконтроля, передаются в БУ, и через БК в АРМ ЛПК для оценки исправности и качества настройки теплового тракта НК. Если значения сигналов автоконтроля не удовлетворяют заданным параметрам, выполняется процедура автоматической коррекции чувствительности теплового тракта.

Технические характеристики подсистем приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Технические характеристики подсистем

Параметр	КТСМ-03Б-90	КТСМ-03Б
Диапазон скоростей контролируемых подвижных единиц, км/ч	От 0 до 350	От 5 до 250
Количество каналов считывания теплового излучения	2	2
Абсолютная погрешностью измерения температуры букс	Не более $\pm 2$ °С	Не более $\pm 4$ °С
Обогрев НК в зимний период	Нет	Да
Безынерционный контроль на высокоскоростных участках	Да	Нет
Ориентация НК к оси пути, град	90	55
Напряжение питания блоков, В	24	24
Мощность, потребляемая одной подсистемой в зимний период, В·А	Не более 140	Не более 650

Как видно из таблицы 1, подсистема КТСМ-03Б значительно проигрывает в экономии по электропитанию подсистеме КТСМ-03Б-90, за счет применения в НК КНМ-90 безынерционного с пассивным охлаждением приемника ИК-излучения фотонного типа на базе сплава PbSe.

Анализируя принцип работы подсистем, можно сделать вывод, что он практически одинаковый, но новые напольные камеры обладают улучшенными характеристиками по сравнению со старыми.

Поэтому при модернизации КТСМ-02 на КТСМ-03 целесообразнее ставить подкомплект КТСМ-03Б за счет сохранения старой напольной камеры, что экономически выгоднее, а при проектировании новой системы необходимо устанавливать подкомплект КТСМ-03Б-90.

#### Список литературы

- 1 Комплекс технических средств многофункциональный КТСМ-03. Руководство по эксплуатации ИН7.460.200.000 РЭ, 2018. –108 с.
- 2 Комплекс технических средств многофункциональный КТСМ-03. Подсистема контроля состояния букс КТСМ-03Б ИН7.460.300, 2018. – 32 с.
- 3 Комплекс технических средств многофункциональный КТСМ-03. Подсистема контроля состояния букс КТСМ-03Б-90 ИН7.460.400.000 РЭ, 2018. – 27 с.

УДК 656.26

### ОСОБЕННОСТИ МЕТОДОВ АНАЛИЗА ВИДОВ И ПОСЛЕДСТВИЙ ОТКАЗОВ УСТРОЙСТВ ЖАТ

*С. Н. ХАРЛАП, Д. Д. МЕДВЕДЕВ, С. И. ХОМЕНКО, И. О. ЖИГАЛИН,  
В. Л. КАТКОВ, И. В. ЛОГВИНЕНКО*  
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Для анализа систем обеспечения безопасности, в частности систем ЖАТ, используются различные методы. Наиболее систематизированным и широко используемым является метод FMEA (FMEA – Failure Mode and Effects Analysis, анализ видов и последствий отказов).

Анализ видов и последствий отказов (FMEA) направлен на выявление способов отказа объектов или процессов и способов предотвращения таких отказов в дальнейшем. FMEA представляет собой систематизированный метод идентификации видов отказов и их последствий для объекта или процесса на локальном и глобальном уровне. Этот метод может включать в себя определение причин отказов. На данный момент FMEA выполняется в соответствии с новым стандартом ГОСТ Р 27.303-2021 [1], более детально описывающий методы FMESA и FMEDA.

Виды отказов могут быть ранжированы для использования при принятии решений об их устранении. Если ранжирование отказов включает в себя определение и учет значимости и других важных показателей последствий отказов, то анализ называют анализом видов, последствий и критичности отказов (FMESA). При добавлении дополнительного уровня детализации выделяют и так называемый анализ видов, последствий и диагностики отказов (FMEDA).

FMEA, FMESA и FMEDA используют общие базовые понятия компонентов, устройств и их компоновки (взаимодействия) при формировании системы. Система, реализующая функции обеспечения безопасности (Safety Instrumented Function, SIF) состоит из нескольких устройств, которые должны обеспечить выполнение необходимой операции по её защите от последствий отказа, сбоя. Примерами устройств с SIF могут служить блок включения безопасного реле ЖАТ, блок включения огней светофора, блок управления переводом стрелки и др.

Каждое устройство может состоять из компонентов. Например, блок включения реле ЖАТ может состоять из таких компонентов, как микропроцессорный модуль, логический узел безопасной коммутации, схема проверки выходного сигнала и т.д. Каждый компонент при анализе может быть рассмотрен как функциональный блок или как набор элементов. При рассмотрении компонента как функционального блока упрощается анализ, но могут возникнуть сложности при определении количественных показателей. Также результат анализа по блокам дает завышенную интенсивность отказов.

Например, микроконтроллерный блок (МК) – это комплекс устройств, который совокупно можно рассматривать в качестве конечного элемента безопасности. Такая система, как правило, реализуется на основе нескольких МК, построенных на основе требований к программному и аппаратному диверситету [4–6] (СТБ ИЕС 61508-2-2014 [2], ГОСТ Р МЭК 62279-2016 [3]).

Методика анализа, лежащая в основе FMEA, FMESA и FMEDA, может применяться на всех этапах жизненного цикла системы. Базовая методология рассматривает и анализирует виды отказов каждого компонента, являющегося частью каждого устройства, для оценки интенсивности опасного отказа системы. В случаях выполнения FMEA для устройства в дополнение к идентификации видов и последствий отказов может быть разработана его блок-схема (диаграмма) надёжности для оценки взаимодействия компонентов между собой (ГОСТ Р МЭК 61078-2021).

Входные данные, результаты и оценки результатов выполнения FMEA, FMESA, FMEDA схематично показаны на рисунке 1.

Результаты выполнения анализа FMESA включают результаты FMEA, а также ранжирование всех видов и последствий отказов. Это ранжирование используется для определения компонентов (или устройств) с более высокой степенью влияния на надёжность целевой системы, характеризуемую такими показателями безопасности, как средняя вероятность отказа по требованию (PFDavg), средняя частота опасного отказа (PFHavg), среднее время наработки на отказ (MTTFs) или среднее время до опасного отказа (MTTFd) [7]. Результаты используются для качественной или количественной оценки, и в обоих случаях они должны быть представлены матрицей критичности системы, показывающей в графическом виде, какие компоненты (или устройства) оказывают влияние на надёжность системы.

Результаты FMEDA включают результаты FMEA и данные о надёжности системы. Они могут использоваться для проверки соответствия системы целевому уровню SIL (Safety Integrity Level – уровень полноты безопасности), сертификации SIL или в качестве основания при расчете целевого SIL устройства SIF.

Необходимость моделировать автоматическую диагностику интеллектуальных устройств возникла, когда появилась новая архитектура на рынке контроллеров безопасности под названием «один из двух» с диагностическим выключателем (1oo2D). Поскольку безопасность и готовность новой архитектуры сильно зависели от реализации диагностики, ее количественная оценка стала важным процессом. В FMEDA это реализуется благодаря добавлению дополнительных колонок, показывающих частоту возникновения различных типов отказов и колонку с вероятностью обнаружения для каждой строки анализа.

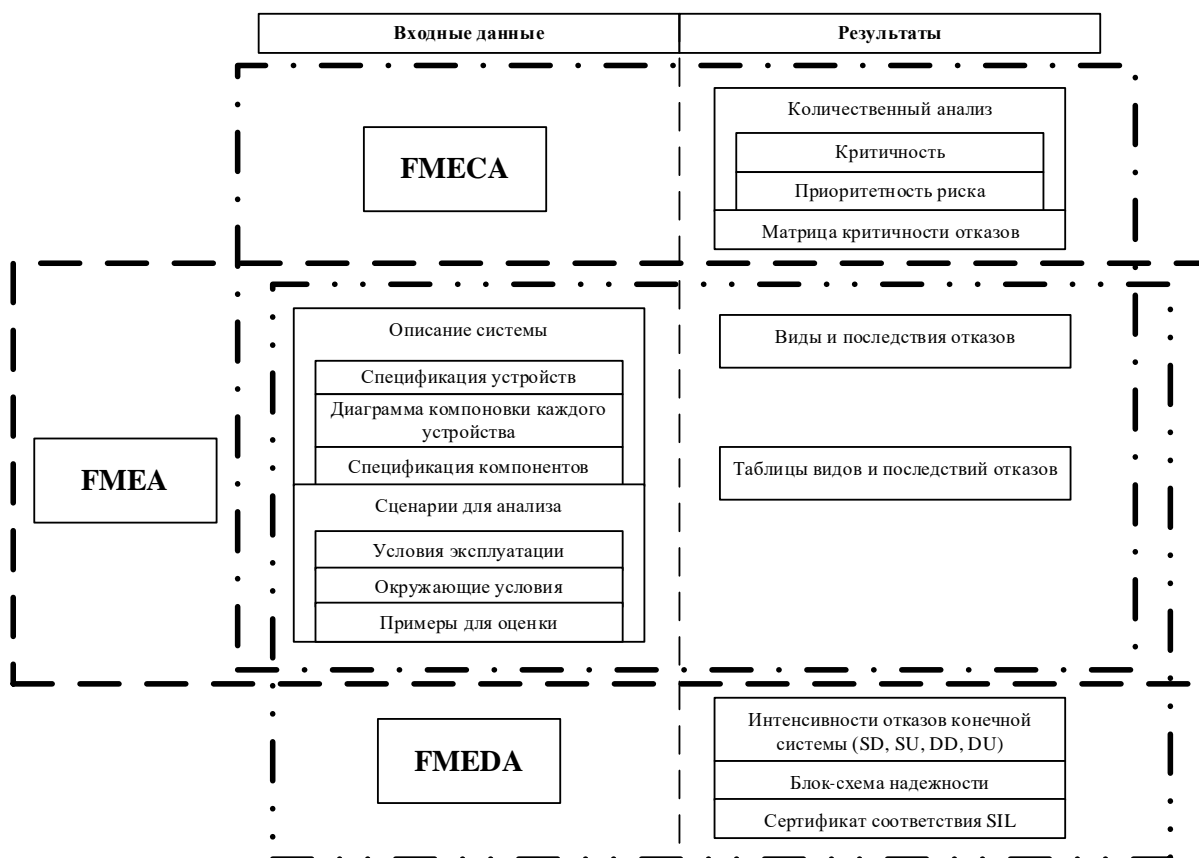


Рисунок 1 – Входные данные и результаты FME-анализов

Общий подход определяет следующие основные шаги FME-анализа:

- определение структуры системы;
- определение критериев опасных, защитных и маскируемых отказов;
- оценка последствий одиночных отказов;
- оценка последствий возможных комбинаций отказов;
- оценка результатов FMEA (в т. ч. FMECA, FMEDA).

Применение к результатам анализа видов и последствий отказов (FMEA) методики FMECA даёт возможность оценки связанных с отказами рисков, а методика FMEDA – возможность оценки надёжности.

Для каждого простого устройства разрабатывается таблица FME, которая затем применяется для каждого определённого сценария выполнения анализа. Структура таблицы FME может варьироваться для FMEA, FMECA или FMEDA, а также в зависимости от типа анализируемой системы.

Результатом выполнения анализа видов и последствий отказов является отчет, содержащий все выверенные (при необходимости, скорректированные рабочей группой экспертов) FME-таблицы и выводы / суждения / решения, касающиеся системы. Если после выполнения FMEA система модифицируется, процедуру FMEA необходимо выполнить повторно.

В таблицу FMEDA добавляются колонки, в которых перечисляются все варианты отказов системы, вероятность того, что диагностика позволит обнаружить конкретный отказ, а также, количественную оценку вероятности возникновения этого отказа. Когда анализ FMEDA завершается, вычисляется фактор «диагностического покрытия» на основе показателя частоты отказов, средневзвешенном относительно диагностического покрытия всех компонентов.

Показатели частоты отказов и распределения отказов необходимо иметь для каждого компонента, если есть необходимость провести анализ FMEDA. Поэтому требуется база данных компонентов. В базе данных компонентов должны быть учтены ключевые переменные, влияющие на уровень отказов компонентов.

Основные шаги при выполнении FME-анализа, в целом, одинаковы для FMEA, FMECA и FMEDA, но оценка и результаты различаются. Сравнение описанных методов позволяет сделать вывод:

- FMEA, представляет собой структурированный качественный анализ системы для выявления потенциальных отказов, их причин и влияния на работу системы;
- FMESA, используя результаты FMEA, позволяет выполнить классифицировать последствия отказов по качественным признакам (критериям);
- FMEDA позволяет получить количественные данные об отказах (частота отказов и распределение видов отказов) для всех анализируемых компонентов и возможность выявления отказов с помощью диагностики.

От применяемого метода зависит сложность исследования и требуемый объем исходных данных, поэтому при выборе метода необходимо руководствоваться текущими целями анализа на данном этапе жизненного цикла системы.

Стандарт ГОСТ Р 27.303–2021 [1] предполагает возможность модифицировать FMEA под конкретные задачи, не ограничиваясь FMEA, FMESA и FMEDA путем добавления новых критериев (например, можно скомбинировать FMESA и FMEDA).

#### Список литературы

- 1 ГОСТ Р 27.303–2021 (МЭК 60812:2018). Надежность в технике. Анализ видов и последствий отказов. – Введ. 2021–09–21. – М. : РСТ, 2021. – 65 с.
- 2 СТБ ІЕС 61508-2-2014. Функціональна безпека електричних, електронних, програмуємих електронних систем, що стосуються до безпеки. Ч. 2. Вимоги до електричних, електронних, програмуємих електронних систем, що стосуються до безпеки. Ч. 2. Патрабаванні до електричних, електронних, програмуємих електронних систем, що стосуються до безпеки. – Введ. вперше ; введ. РБ 2014–11–11. – Минск : Белорус. гос. ин-т стандартизації и сертификації, 2014. – 93 с.
- 3 ГОСТ ІЕС 62279–2019. Железные дороги. Системы связи, сигнализации обработки данных. Программное обеспечение систем управления и защиты на железной дороге = Чыгункі. сістэмы сувязі, сігналацыіі апрацоўкі даных. Праграмнае забеспячэнне сістэм кіравання і аховы на чыгунцы. – Введ. вперше ; введ. РБ 2021–03–15. – Минск : Белорус. гос. ин-т стандартизації и сертификації, 2014. – 108 с.
- 4 Бочков, К. А. Разработка отказоустойчивых систем на основе диверситетных аксиоматических базисов / К. А. Бочков, С. Н. Харлап, Б. В. Сивко // Автоматика на транспорте. – 2016. – Т. 2, № 1. – С. 47–64.
- 5 Харлап, С. Н. Оценка независимости отказов в диверситетном программном обеспечении с помощью EI-модели / С. Н. Харлап, А. Ю. Кулаженко // Проблемы безопасности на транспорте : материалы XI Междунар. науч.-практ. конф. В 2 ч., Гомель, 25–26 ноября 2021 года. – Гомель : БелГУТ, 2021. – С. 203–204.
- 6 Харлап, С. Н. Применение диверситета в автоматизированных системах управления опасными технологическими процессами для повышения устойчивости к систематическим отказам / С. Н. Харлап // Известия Транссиба. – 2020. – № 3 (43). – С. 148–157.
- 7 Харлап, С. Н. Автоматизация проведения анализа FMESA микроэлектронных систем железнодорожной автоматики / С. Н. Харлап, В. Л. Катков // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2020. – № 2 (41). – С. 17–19.

УДК 656.25

## РАСЧЁТНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СХЕМЫ РЕЛЬСОВЫХ ЛИНИЙ

*В. И. ШАМАНОВ, Д. В. ДЕНЕЖКИН*

*Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва*

В системах интервального регулирования движения поездов рельсовые линии используются как линии электрической связи, по которым передаются сигнальные токи для приёмников рельсовых цепей (РЦ) и автоматической локомотивной сигнализации (АЛС). Однако на электрифицированных железных дорогах по рельсовым линиям пропускаются и тяговые токи, величина которых может превышать сигнальные токи на два порядка и более. Поэтому возникает проблема существенного уменьшения влияния тяговых токов на устойчивость работы аппаратуры РЦ и АЛС.

Для определения условий, обеспечивающих устойчивую работу приёмников РЦ и АЛС, достаточно знать величины сигнальных токов в этих приёмниках и сигнальных напряжений на питающих концах отрезков рельсовых линий, обеспечивающих эти токи. Поэтому на расчётной схеме указываются пути протекания сигнальных токов с длинами всех участков отрезка рельсовой линии, оборудованного РЦ, величины продольного и поперечного сопротивления этих участков. Сигнальный ток по отрезкам рельсовой линии между источником и приёмником тока течёт в противоположных направлениях, поэтому влияние взаимной индуктивности учитывают только при расчётах работы РЦ в контрольном режиме [1]. Учитывается, что рельсовая линия обладает распределёнными параметрами и при расчетах РЦ она представляется пассивным четырёхполюсником типа А [2].



Особенности построения схем РЦ обеспечивают исключение мешающего влияния на работу РЦ и АЛС тяговых токов при их равенстве в рельсовых нитях под приёмными локомотивными катушками АЛС и в местах подключения к рельсам аппаратуры РЦ. Однако это условие реально выполняется не всегда. Разность (асимметрия) тяговых токов появляется, когда становятся неодинаковыми продольные и/или поперечные сопротивления рельсовых нитей. Поэтому при расчётах помех от тяговых токов на аппаратуру РЦ и АЛС должны учитываться особенности протекания тягового тока по каждой рельсовой нити рельсовой линии. А поскольку тяговые токи текут по рельсовым линиям в одном направлении, приходится учитывать влияние на условия их протекания взаимной индуктивности между своими рельсовыми нитями и с другими токонесущими линиями [3].

В методике для определения мешающего влияния переменной составляющей постоянного тягового тока на приёмники сигналов в тональных станционных РЦ и бесстыковых перегонных РЦ использованы дифференциальные уравнения при расчётах напряжений и токов в каждой рельсовой нити, когда рельсовая линия однородна [4]. Найденные для этого частного случая аналитические выражения получились достаточно сложными, хотя они вполне применимы в инженерной практике с использованием ЭЦВМ.

Величины тяговых токов, втекающих в отрезки рельсовых нитей в начале РЦ или под приёмными локомотивными катушками АЛС, обратно пропорциональны входным сопротивлениям этих отрезков. Был получен ряд результатов по оценке уровня помех от переменного тягового тока на приёмники АЛС при представлении отрезков рельсовых нитей схемами Кауэра [3]. Величины входных сопротивлений отрезков рельсовых нитей при этом вычислялись с использованием непрерывной (цепной) дроби. Однако по такой расчётной схеме сложно вычислять токи в концах отрезков рельсовых нитей, поэтому она мало пригодна для оценки помехоустойчивости аппаратуры РЦ. При расчётах относительно сложно учитывать меняющуюся по длине неоднородной рельсовой линии взаимную индуктивность между этими нитями.

Рельсовые линии при звеньевом пути чаще неоднородны. При движении поезда по такой линии входные сопротивления отрезков рельсовых нитей перед ним изменяются, в результате чего изменяется и уровень помех от тягового тока на аппаратуру АЛС. Для анализа динамики сбоев в работе этой аппаратуры удобна расчётная схема, показанная на рисунке 1, когда рельсовая линия, обладающая распределёнными параметрами, представляется как линия с сосредоточенными параметрами [2]. Величина погрешности от такой замены зависит от соотношения величин удельных продольного и поперечного сопротивлений рельсовых нитей на определённой частоте. Требуемая точность такой замены обеспечивается за счёт разделения рельсовой линии на отдельные отрезки. В неоднородной рельсовой линии продольные и поперечные сопротивления рельсовых нитей по длине этих отрезков должны изменяться в допустимых пределах. Схема всей рельсовой линии получается за счёт каскадного соединения этих отрезков [5].

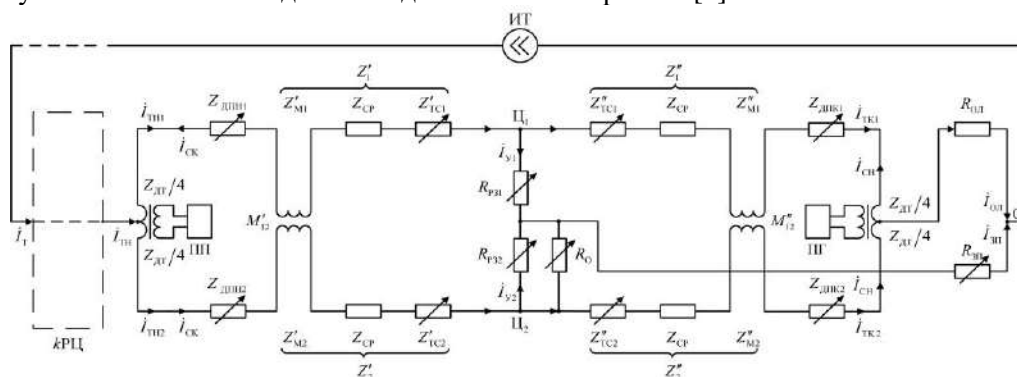


Рисунок 1 – Расчётная схема рельсовой цепи

На рисунке 1 показана такая расчётная схема для случая, когда рельсовую линию в пределах РЦ на отрезки можно не делить. Принятые условные обозначения: ИТ – источник тягового тока  $\dot{I}_T$ ; ПГ, ПП – путевые генератор и приёмник;  $M'_{12}, M''_{12}$  – взаимные индуктивности между половинами отрезков рельсовых нитей;  $Z_{дт}$  – сопротивления секций основных обмоток дроссель-трансформаторов;  $Z_{дпк1}, Z_{дпк2}$  – сопротивления дроссельных перемычек;  $Z'_1, Z''_1$  и

$Z'_2, Z''_2$  – продольные сопротивления первой и второй рельсовых нитей, включающие в себя сопротивления сплошных рельсов  $Z_{CP}$ ;  $Z'_{TC1}, Z''_{TC1}$  и  $Z'_{TC2}, Z''_{TC2}$  – сопротивления рельсовых стыков;  $Z'_{M1}, Z''_{M1}$  и  $Z'_{M2}, Z''_{M2}$  – сопротивления взаимной индуктивности между рельсовыми нитями;  $R_{P31}, R_{P32}$  – сопротивления рельсовых нитей по отношению к земле;  $R_O$  – сопротивления цепей заземления различных конструкций, подключаемых к рельсам;  $R_{ОЛ}, R_{ЗП}$  – сопротивления отсасывающей линии и контура заземления тяговой подстанции;  $I_{ТН}$  – тяговый ток, втекающий в РЦ;  $I_{ТН1}, I_{ТН2}$  и  $I_{ТК1}, I_{ТК2}$  – тяговые токи в началах и концах рельсовых нитей;  $I_{Y1}, I_{Y2}$  – тяговые токи, стекающие из рельсов в землю;  $I_{СК}, I_{СН}$  – сигнальные токи в конце и начале рельсовой линии.

Исследования показали, что эта схема очень удобна для расчётов асимметрии тягового тока в неоднородных рельсовых линиях. Применение метода контурных токов в такой схеме даёт возможность находить распределение тяговых токов в тональных бесстыковых РЦ, оборудованных выравнивающими дросселями. Учёт действия взаимной индуктивности между рельсовыми нитями рельсовой линии на величину асимметрии тягового тока вызывает необходимость проводить расчёты в два этапа. Таким образом, последняя из рассмотренных расчётных схем представляется универсальной для оценки уровней помех от тягового тока на аппаратуру РЦ и АЛС.

#### Список литературы

- 1 **Брылеев, А. М.** Электрические рельсовые цепи / А. М. Брылеев, Н. Ф. Котляренко. – М. : Транспорт, 1970. – 256 с.
- 2 **Зевеке, Е. Г.** Основы теории цепей / Е. Г. Зевеке, П. А. Ионкин. – М. : Энергия, 1975. – 751 с.
- 3 **Shamanov, V.** Formation of Interference from Power Circuits to Apparatus of Automation and Remote Control / V. Shamanov // Proceedings of 16<sup>th</sup> IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTs'2018), Kazan, Russia, September 14–17, 2018. – P. 140–146. – DOI: 10.1109/EWDTs.2018.
- 4 **Кравцов, Ю. А.** Электромагнитное влияние перспективного электроподвижного состава на устройства железнодорожной автоматики / Ю. А. Кравцов, П. Е. Машенко, Е. Г. Щербина. – М. : МИИТ, 2012. – 117 с.
- 5 **Шаманов, В. И.** Расчеты помех от тягового тока в неоднородных рельсовых линиях / В. И. Шаманов // Автоматика на транспорте. – 2020. – Т. 6, № 3. – С. 241–267.

УДК 656.259.12 + 06

## РАСЧЕТ УРОВНЕЙ КОДОВЫХ СИГНАЛОВ В РЕЛЬСОВОЙ ЛИНИИ ПРИ ДВИЖЕНИИ ПОЕЗДА

*Д. В. ШВАЛОВ, А. В. ЛАЩЕНОВ, Т. В. БИТАНОВА*

*Ростовский государственный университет путей сообщения, Российская Федерация*

Автоматизация технического обслуживания napольных устройств автоматической локомотивной сигнализации (АЛС) – аппаратуры тракта кодирования рельсовых цепей – одна из приоритетных задач, которая должна быть реализована в ближайшей перспективе для снижения ресурсозатрат, повышения качества выполнения работ за счет сокращения влияния «человеческого фактора», перехода на обслуживание по состоянию. Традиционный, реализуемый в настоящее время подход к автоматизации технического обслуживания устройств кодирования состоит в выполнении операций по измерению значений параметров кодового тока стационарными или мобильными (бортовыми) измерительно-вычислительными комплексами (ИВК) технического диагностирования и мониторинга.

Мобильные (бортовые) ИВК [1] выполняют автоматическую обработку воспринимаемых из рельсовой линии сигналов и позволяют определить вид, уровень и качество сигналов АЛС, наличие помех на частоте сигнального тока. Привязка параметров сигналов АЛС к электронной карте участка и параметрам движения локомотива дает возможность получить и обработать сигналы АЛС, поступившие непосредственно в момент сбоя, что дает возможность с точностью

до нескольких метров определить место сбоя, его характер и предполагаемую причину. Использование мобильных (бортовых) ИВК обеспечивает получение максимального объема информации о работе системы АЛС на всем пути следования в реальном времени. Однако в случае фиксации отклонения параметров сигналов АЛС в рельсовой линии от нормативных значений информации, формируемой мобильным (бортовым) ИВК недостаточно для определения причины сбоя, если сбой произошел из-за неисправностей аппаратуры тракта формирования и передачи тока АЛС.

Кроме того, несмотря на возможность получения полной и достоверной информации о состоянии устройств тракта кодирования и параметрах кодовых сигналов в рельсовой линии контроль с помощью мобильного ИВК имеет одно существенное ограничение: вагон-лаборатория согласно действующему регламенту обследует участки главного хода один раз в квартал, а остальные участки – два раза в год. Следовательно, непрерывный мониторинг параметров кодового тока в рельсовой линии отсутствует, что существенно затрудняет и затягивает процесс поиска причины сбоя в работе устройств АЛС. Таким образом, представляет интерес возможность реализации непрерывного мониторинга параметров кодового тока в рельсовой линии непосредственно во время движения поезда.

В качестве объекта исследования выбраны кодовые рельсовые цепи [2]. Схема замещения кодовой рельсовой цепи в режиме АЛС показана на рисунке 1, где обозначены следующие элементы:

- кодовый ток  $I_{\text{код}}$  и выходное напряжение источника кодового тока  $U_{\text{код}}$ ;
- четырехполосники  $H$  и  $K$ , замещающие аппаратуру соответственно питающего и релейного конца рельсовой цепи [2], с коэффициентами  $A_{\text{н}}, B_{\text{н}}, C_{\text{н}}, D_{\text{н}}$  и  $A_{\text{к}}, B_{\text{к}}, C_{\text{к}}, D_{\text{к}}$ ;
- четырехполосник, замещающий рельсовую линию с наложенным на нее поездным шунтом, с коэффициентами  $A, B, C, D$ ;
- $Z_{\text{рл1}}$  и  $Z_{\text{рл2}}$  – части рельсовой линии, расположенные соответственно перед и после поездного шунта относительно направления подачи кодовых сигналов;
- сопротивление поездного шунта  $R_{\text{ш}}$ , через который протекает кодовый ток  $I_{\text{алс}}$ ;
- $Z_{\text{пп}}$  – путевой приемник,  $U_{\text{пп}}$  и  $I_{\text{пп}}$  – соответственно напряжение и ток на входе путевого приемника.

Для моделирования работы рельсовой цепи в режиме АЛС в процессе перемещения поездного шунта по рельсовой линии разобьем схему замещения на два четырехполосника, как показано на рисунке 2.

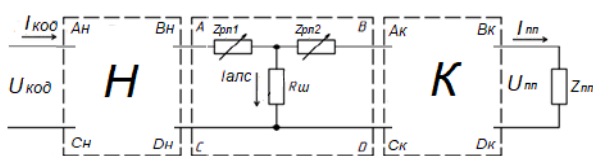


Рисунок 1

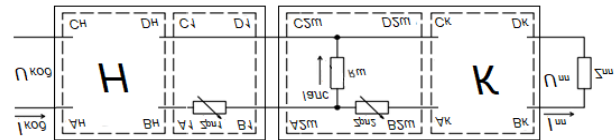


Рисунок 2

Для такой схемы замещения рельсовой цепи можно записать выражения

$$U_{\text{код}} = A_{o1}U_{\text{алс}} + B_{o1}I_{\text{алс}}; \quad I_{\text{код}} = C_{o1}U_{\text{алс}} + D_{o1}I_{\text{алс}},$$

$$U_{\text{алс}} = A_{o2}U_{\text{пп}} + B_{o2}I_{\text{пп}}; \quad I_{\text{алс}} = C_{o2}U_{\text{пп}} + D_{o2}I_{\text{пп}},$$

где коэффициенты четырехполосников определяются следующим образом:

$$\begin{vmatrix} A_{o1} & B_{o1} \\ C_{o1} & D_{o1} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} A_{\text{н}} & B_{\text{н}} \\ C_{\text{н}} & D_{\text{н}} \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} A_1 & B_1 \\ C_1 & D_1 \end{vmatrix},$$

$$\begin{vmatrix} A_{o2} & B_{o2} \\ C_{o2} & D_{o2} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} A_{2\text{ш}} & B_{2\text{ш}} \\ C_{2\text{ш}} & D_{2\text{ш}} \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} A_{\text{к}} & B_{\text{к}} \\ C_{\text{к}} & D_{\text{к}} \end{vmatrix}.$$

Коэффициенты четырехполосников  $H$  и  $K$  могут быть взяты из справочных данных [2] для соответствующей схемы рельсовой цепи. Коэффициенты четырехполосников, замещающих

участки рельсовой линии, определяются следующим образом [2] с использованием значений волнового сопротивления  $Z_B$  и коэффициента распространения  $\gamma$  рельсовой линии:

$$A_{o1} = D_{o1} = \operatorname{ch} \gamma l_1; B_{o1} = Z_B \operatorname{ch} \gamma l_1; C_{o1} = \frac{\operatorname{ch} \gamma l_1}{Z_B};$$

$$\begin{vmatrix} A_{2ш} & B_{2ш} \\ C_{2ш} & D_{2ш} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 & 0 \\ \frac{1}{R_{ш}} & 1 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} \operatorname{ch} \gamma l_2 & Z_B \operatorname{sh} \gamma l_2 \\ \frac{\operatorname{sh} \gamma l_2}{Z_B} & \operatorname{ch} \gamma l_2 \end{vmatrix}$$

По полученным выражениям, пользуясь известными (например, измеренными стационарными средствами системы диагностирования и мониторинга) значениями  $I_{код}$ ,  $U_{код}$ ,  $U_{пп}$  и  $I_{пп}$ , можно рассчитать значение тока  $I_{алс}$  при различных длинах участков рельсовой линии перед и после поездного шунта.

Таким образом, могут быть построены эталонные зависимости для использования в классификаторах состояний рельсовых цепей. Эталонные зависимости можно построить во всех интересующих нас диапазонах возможных изменений значений параметров рельсовых линий – удельного сопротивления рельсов и удельного сопротивления изоляции (балласта). Также в ходе моделирования и расчетов могут быть выявлены критические условия для режима АЛС конкретных рельсовых цепей, находящихся под воздействием конкретных дестабилизирующих факторов, что важно для разработки методов и алгоритмов выявления предотказных состояний рельсовых цепей.

#### Список литературы

- 1 Мурин, С. А. Локомотивный комплекс регистрации параметров АЛС / С. А. Мурин, Е. Е. Шухина, С. В. Рунцов // Автоматика, связь, информатика. – 2016. – № 1. – С. 14–16.
- 2 Рельсовые цепи магистральных железных дорог: справочник / В. С. Аркатов [и др.] ; под ред. В. С. Аркатова. – М. : Транспорт, 1982. – 360 с.

УДК 656.259.12+06

## ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФАЗОЧУВСТВИТЕЛЬНОЙ РЕЛЬСОВОЙ ЦЕПИ В ШУНТОВОМ РЕЖИМЕ

*Д. В. ШВАЛОВ, Е. Р. ПЛЕЧИСТОВА, А. Д. МАМОНТОВА*

*Ростовский государственный университет путей сообщения, Российская Федерация*

В соответствии с действующей технологией обслуживания фазочувствительных рельсовых цепей контроль шунтового режима производится путем контроля изменения состояния путевого реле (переход в состояние «без тока») и контроля уровня остаточного напряжения на путевой обмотке путевого реле. Современные средства технического диагностирования и мониторинга (ТДМ) обеспечивают измерение остаточного напряжения в непрерывном режиме, что позволяет выявлять отклонения от нормативного значения в реальном времени. Также в реальном времени средствами ТДМ фиксируется возникновение предотказного состояния, зона которого устанавливается заранее. Однако, даже находясь в пределах нормативных значений, остаточное напряжение может изменяться под воздействием различных дестабилизирующих факторов, своевременное выявление которых в некоторых случаях является весьма актуальной задачей с точки зрения обеспечения безопасной и бесперебойной работы рельсовой цепи. В этой связи актуальной представляется задача увеличения глубины диагностирования рельсовых цепей на основе мониторинга характера изменения значений их параметров и сравнения фактических значений с нормативными или соответствующими исправному состоянию рельсовой цепи в конкретных условиях эксплуатации.

Критерием выполнения шунтового режима рельсовой цепи является коэффициент шунтовой чувствительности к поездному шунту [1]. При расчетах регулировочных таблиц, согласно из-

вестной методике [2], достаточно определить значения коэффициента шунтовой чувствительности при наложении нормативного шунта на питающих и релейных концах, то есть выполнить проверку шунтовой чувствительности по концам рельсовой цепи. В условиях эксплуатации представляет интерес непрерывный мониторинг шунтовой чувствительности на всей длине рельсовой линии.

Рассмотрим схему замещения фазочувствительной рельсовой цепи (рисунок 1), в состав которой включены следующие элементы, представленные четырехполюсниками:

$R_{сн}$  – сопротивление соединительных проводов в постовых схемах;

$R_{кл}$  – кабельная линия между постом централизации и напольным оборудованием;

ПТ – источник питания рельсовой цепи (путевой трансформатор);

ДТ – дроссель-трансформаторы;

$R_{п}$  – сопротивление подстроечных резисторов и соединительных проводов между путевыми ящиками и дроссель-трансформаторами;

$Z_{рл}$  – рельсовая линия;

$R_{ш}$  – поездной шунт;

$Z_{зб}$  – защитный блок-фильтр;

$Z_{пп}$  – путевое реле.

Также на схеме замещения обозначены:

$U, I$  – выходные напряжение и ток на питающем конце (измеренные на кроссовом стативе);

$U_{ип}, I_{ип}$  – выходные напряжение и ток источника питания рельсовой цепи;

$U_{пп}, I_{пп}$  – напряжение и ток на путевом реле.

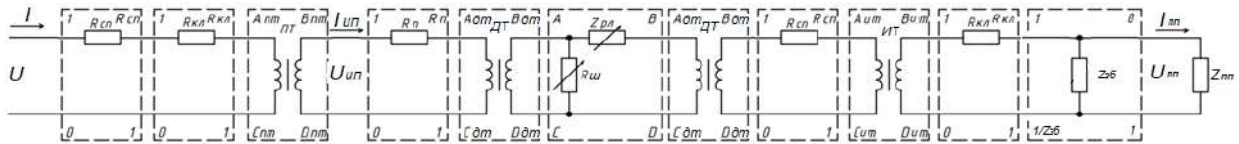


Рисунок 1

Фактический коэффициент шунтовой чувствительности определяется как отношение выходного напряжения источника питания  $U_{ип}$  к напряжению на путевом реле  $U_{пп}$  [2]. Напряжение  $U_{пп}$  может быть измерено средствами ТДМ, а напряжение  $U_{ип}$  для рассматриваемого типа рельсовых цепей средствами ТДМ измерить нельзя, так как источник питания (путевой трансформатор) размещается в путевом ящике. Поэтому выходное напряжение определяется из выражений

$$U = A_3 U_{ип} + B_3 U_{пп}; \quad I = C_3 U_{ип} + D_3 U_{пп},$$

где  $A_3, B_3, C_3, D_3$  – коэффициенты четырехполюсника, полученного путем объединения трех четырехполюсников ( $R_{кл}, R_{сн}$  и ПТ).

Расчетные значения  $U_{пп}$  и  $I_{пп}$  в динамическом режиме (в процессе движения поезда по рельсовой линии) могут быть получены из выражений

$$U = A_0 U_{пп} + B_0 I_{пп}; \quad I = C_0 U_{пп} + D_0 I_{пп},$$

где  $A_0, B_0, C_0, D_0$  – коэффициенты общего четырехполюсника рельсовой цепи, полученного путем объединения всех входящих в схему четырехполюсников.

Расчет коэффициентов четырехполюсника рельсовой линии производится в определенные моменты времени, соответствующие последовательному занятию и освобождению рельсовой линии поездом с учетом фактического значения сопротивления поездного шунта и фактической длине свободной части рельсовой линии. Динамика изменения принимаемых для расчетов значений сопротивления поездного шунта ( $R_{ш}$ ) и фактической длины свободной части рельсовой линии ( $L_{рл}$ ) показана на рисунке 2 (без указания конкретных значений), где крайние левая и правая точки графиков соответствуют нахождению одной колесной пары на концах рельсовой линии. В этих двух случаях длина свободной части рельсовой линии принимается равной расчетной длине рельсовой цепи.

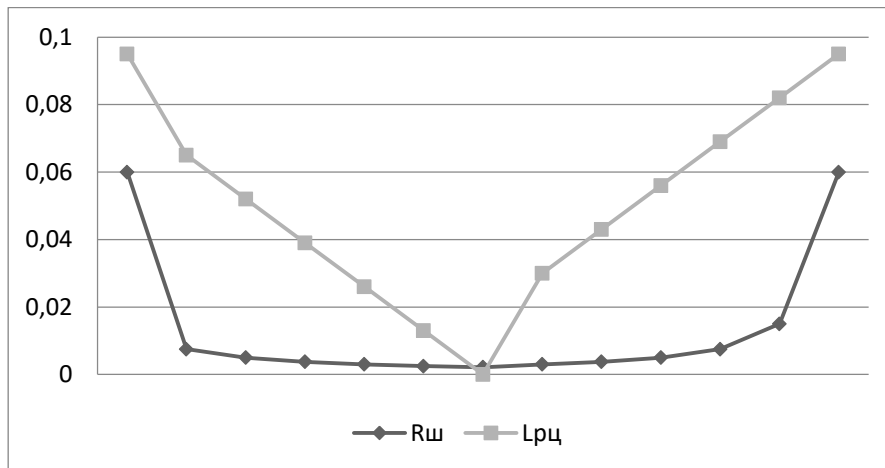


Рисунок 2

В результате могут быть получены зависимости изменения значений  $U_{\text{шп}}$ ,  $I_{\text{шп}}$  в динамике движения поезда по рельсовой линии от момента вступления до момента освобождения. По полученным значениям можно получить характер изменения коэффициента шунтовой чувствительности к поезвному шунту на всем протяжении рельсовой линии при изменяющихся значениях сопротивления шунта. Динамика изменения значений  $U_{\text{шп}}$ ,  $I_{\text{шп}}$  может быть использована при реализации алгоритма логического распознавания характера занятия рельсовой цепи – фактическая или ложная; такой алгоритм может быть дополнением к алгоритмам логического контроля последовательного занятия и освобождения рельсовых цепей, реализуемым в системах централизации стрелок и светофоров.

#### Список литературы

- 1 **Брылеев, А. М.** Устройство и работа рельсовых цепей / А. М. Брылеев, А. В. Шишляков, Ю. А. Кравцов. – М. : Транспорт, 1966. – 264 с.
- 2 **Аркатов, В. С.** Рельсовые цепи. Анализ работы и техническое обслуживание / Ю. А. Кравцов, Б. М. Степенский. – М. : Транспорт, 1990. – 295 с.

## 4 ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ТРАНСПОРТА

УДК:628.31

### СНИЖЕНИЕ СЕБЕСТОИМОСТИ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

*Е. С. БАЕВА*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Себестоимость водоотведения состоит:

– из затрат электроэнергии на водоотведение – это перекачка сточных вод канализационными насосными станциями (КНС) на очистные сооружения (ОС), очистка сточных вод на ОС и сброс в окружающую среду (в водоем или в грунт);

– расходов на оплату труда – это заработная плата персонала организации ВКХ;

– амортизации – амортизационные отчисления на полное восстановление основных средств;

– налогов и обязательных отчислений. В том числе: налог на землю, экологический налог за сброс в окружающую среду, налог на добычу природного ресурса, НДС, налог на недвижимость, подоходный налог на заработную плату;

– прочих затрат: материалы, топливо, отопление, содержание автотранспортного цеха, ремонтно-строительного цеха, ремонтно-механического цеха, электроцеха, управленческие расходы, командировочные расходы, оплата банку, расчетно-кассовому центру (РКЦ), ЕРИП, городской аварийно-диспетчерской службе, оплата Госстандарту за поверку водомеров, расходы воды на технологические нужды и неучтенные расходы и др.

В структуре себестоимости в настоящее время наибольший удельный вес занимает заработная плата – 20–25 % (в разных Водоканалах разные проценты, но распределение по удельному весу статей затрат одинаково), прочие затраты – 15–20 %, электроэнергия – 15–20 %, амортизация – 15–20 %, налоги – 10–15 %.

С течением времени во многих водоканалах прошла оптимизация кадрового состава, поэтому, в первую очередь, следует обратить внимание при снижении себестоимости на оптимизацию затрат на электроэнергию.

Основными направлениями технологического энергосбережения является использование:

– энергоэффективных технологий;

– энергоэффективных инженерных решений;

– приемов и оборудования для регулирования работы сооружений и оборудования.

Наиболее существенный вклад в снижение энергозатрат могут внести аэрационные системы. Общеизвестно преимущество мелкопузырчатых аэраторов: чем мельче пузырьки газа и чем больше путь этого пузырька до поверхности, тем выше растворение в иловой смеси кислорода воздуха.

Проверенным приемом повышения энергоэффективности является совместное использование аэрационных систем и мешалок. Формирование в коридоре аэротенка продольных потоков увеличивает путь пузырьков воздуха к поверхности и пропорционально повышает растворимость кислорода.

Процессы очистки сточных вод позволяют не только потреблять, но и вырабатывать возобновляемую электрическую и тепловую энергию.

Таким образом, сточные воды представляют собой один из лучших источников тепловой энергии для применения тепловых насосов.

Реализация наиболее эффективных с энергетической точки зрения технологий без преувеличения позволяет перевести водопроводно-канализационное хозяйство, являющееся одним из наиболее энергоемких секторов экономики, на энергетическое самообеспечение (при приведении к единому балансу энергии).

#### Список литературы

1 Правила технической эксплуатации систем питьевого водоснабжения и канализации населенных пунктов : утв. постановлением Совета Министров Респ. Беларусь от 4.09. 2019 г. № 594. – Минск, 2019. – 33 с.

3 **Титов, О. В.** Пособие для директоров водоканала / О. В. Титов. – Бобруйск, 2022. – 30 с.

## ПРОМЫШЛЕННЫЕ ПАРОАККУМУЛЯТОРНЫЕ ЛОКОМОТИВЫ

*В. Н. БАЛАБИН*

*Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва*

На многих дискуссионных площадках, включая Международный салон железнодорожной техники и технологий ЭКСПО 1520 в Щербинке, Международную конференцию «Рынок транспортных услуг: взаимодействие и партнерство», Форум «Транспорт России» активно обсуждались проблемы промышленного железнодорожного транспорта.

Рассматривались проблемы локомотивного парка ПЖТ с учётом существующего и перспективного грузооборота. Комплексная модернизация включала возможность применительно к нефтеперерабатывающему комплексу решить ряд задач внедрения необычного типа локомотивов.

Маневровая работа является для промышленного предприятия чистым убытком с экономической точки зрения, так как она лишь увеличивает стоимость транспортировки грузов. При этом снизить затраты на неё не представляется возможным из-за непрерывного роста стоимости горюче-смазочных материалов, электроэнергии, ремонта и эксплуатации локомотивов.

Союзный рынок предлагает маневровые тепловозы большой, средней и малой мощности еще советских времен. Единичные опытные машины погоды не делают и в серию не поступают.

С целью снижения расходов на маневровую работу на подъездных путях необщего пользования (нефтеперерабатывающие заводы, заводы химической промышленности, металлургические, горно-обогатительные и деревообрабатывающие комбинаты, тепловые электростанции и т. д.) разработана версия пароаккумуляторного локомотива (ПАЛ) с силой тяги в 90 кН (9 т). Данная машина не нуждается в топливе, а использует технологический пар, получаемый от стационарных котлов предприятий и аккумулируемый в резервуаре высокого давления с теплоизоляцией.

ПАЛ-9П создан на базе распространенной ранее модели танк-паровоза 9П. Без изменений использованы экипажная часть и паровая машина. Котел с топкой заменены котлом-аккумулятором, представляющим собой закрытый цилиндрический резервуар с высокой степенью термоизоляции [1]. Локомотив ПАЛ-9П соответствует типу 5 ГОСТ 22339-88 габарита 1-ВМ, 02-ВМ по ГОСТ 9238-83.

Краткие технические характеристики: объём котла 21,0 м<sup>3</sup>; объём воды 18,5 м<sup>3</sup>; масса без воды 38 т; давление пара 2 (20) МПа (кгс/см<sup>2</sup>); масса в рабочем состоянии 56,5 т; сила тяги рабочая 90 кН, сила тяги при трогании с места 125 кН; максимальная скорость 30 км/ч; максимальная масса состава на прямой при скорости 15 км/ч и силе тяге 83 кН 3200 т; длина по осям автосцепок 9820 мм; минимальный радиус кривой 40 м.

Известно, что для бестопочных (безогневых) паровозов почти не требуется сервис и ремонт котла, а локомотив обслуживается одним машинистом. Основным недостатком таких локомотивов являлся только ограниченный радиус действия, что не является критичным для промтранспорта.

Держать пар, как рабочее тело, в емкости под высоким давлением не эффективно, так как при тех давлениях, при которых функционирует котёл, пар будет занимать много места. Целесообразно использовать метод раздельного хранения пара и воды при температуре насыщения. В этом случае в воде аккумулируется энергия, которая при необходимости расходуется на частичное превращение воды в пар. Это явление именуется мгновенным вскипанием, или испарением воды.

Перед работой котел-резервуар на 60–80 % заполняют горячей водой, а потом через отдельный экипировочный патрубок подают пар в котел давлением 2 МПа (20 кгс/см<sup>2</sup>) из стационарной котельной установки. Конденсируясь, пар нагревает воду. Процесс завершится, когда вода достигнет температуры насыщенного пара, а давление в пароаккумуляторе достигнет давления заряжающего пара. Если теперь из пароаккумулятора отобрать часть пара (из сухопарника с помощью пароразрядной трубы) в паровую машину, то давление в пароаккумуляторе упадёт, вода окажется перегретой, закипит и отдаст следующую порцию пара (до выравнивания давления в пароаккумуляторе с давлением насыщения при данной температуре воды). То есть, по мере снижения давления с 20 кгс/см<sup>2</sup> до минимального рабочего вода в котле за счет скрытой теплоты парообразования превращается в пар в течение 6–12 часов в зависимости от нагрузки и режимов эксплуатации.

Для работы локомотива необходимы парозарядные колонки, паропроводы, питательные насосы и арматура в количестве, определяемом проектом для конкретных эксплуатационных условий.

На полную зарядку котла затрачивается 20–30 мин, а на подготовку холодного локомотива – 1,2–1,3 ч.



Следует отметить такую особенность пароаккумуляторного локомотива, как отсутствие ограничения по котлу, т.е. отсутствие гиперболической ветви тяговой характеристики (сила тяги не падает с увеличением скорости). К примеру, у традиционного паровоза ограничение по котлу наступает при скоростях от 15 до 25 км/ч, у тепловозов – с 5 до 25 км/ч) и продолжается вплоть до конструктивных скоростей.

Максимальная выгода пароаккумуляторного локомотива там, где присутствуют необходимые в производстве «тепловые отбросы», т. е. тепло, которое можно превратить в пар, или технологически готовый пар. Кроме этого несомненна выгода там, где производится продукт с низкой добавленной стоимостью, и каждый сэкономленный рубль здесь играет значительную роль в себестоимости. Следует также упомянуть предприятия, где сам продукт является источником энергии и который можно применить для движения локомотива, что принесёт дополнительную прибыль предприятию. Это, в первую очередь, коксохимическое и металлургическое производство, нефтеперегонные заводы, где стоимость продажи сэкономленного дизтоплива сразу даст экономический эффект. Также необходимо учитывать полную пожаробезопасность локомотива, что важно для нефтехимических и газодобывающих предприятий.

Пароаккумуляторные локомотивы полностью безопасны в эксплуатации, взрыв котла полностью исключен, так как, если заканчивается достаточное количество пара и воды, он просто перестает двигаться – хотя изначально необходимо соблюдать все меры предосторожности, как и с любым другим сосудом высокого давления и теплоносителем высоких параметров – температуры и давления. Однако эти локомотивы могут обслуживаться менее квалифицированным персоналом, не требующим полностью квалифицированного машиниста паровоза.

С целью проверки принятых конструкторских решений была изготовлена модель локомотива (полностью по прочерченным деталям) в масштабе 1:10. Завершена разработка конструкторской документации.

Проведенные сравнительные оценки локомотивов ПАЛ-9П и ТЭМ2 выявили реальную экономию по дизельному топливу в среднем 0,75–1,0 т/сут на один тепловоз. По тяговым свойствам ПАЛ-9П эквивалентен тепловозам ТГМ23, ТГМ40, ТГМ4. Только за счет экономии дизельного топлива срок окупаемости ПАЛ-9П составляет 12–15 мес. Срок эксплуатации машины составляет 50–60 лет. «Жизненный цикл» ПАЛ-9П в семь раз дешевле «жизненного цикла» тепловоза ТГМ4 и в двенадцать раз тепловоза ЧМЭЗ.

В результате применения пароаккумуляторных локомотивов возможно достижение следующих положительных результатов:

- 1 Экономия дизельного топлива до 0,75–1,0 т/сут на одну машину.
- 2 Снижение затрат на ремонты на 90 % по сравнению с тепловозом.
- 3 Снижение затрат на обслуживающий персонал (машина обслуживается одним машинистом без помощника).
- 4 Возможность использования в запыленных и загрязненных условиях без снижения ресурса.
- 5 Возможность использования на предприятиях, требующих взрыво- и пожаробезопасности.
- 6 Экологичность (выхлоп – только водяной пар).

#### Список литературы

- 1 Балабин, В. Н. Применение пароаккумуляторных локомотивов на промышленных предприятиях / В. Н. Балабин, А. Ю. Сербулов // Наука и техника транспорта. – 2022. – № 1. – С. 26–30.

УДК 620.91/98, 629.424

## ОЦЕНКА СТЕПЕНИ БЕЗОПАСНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТЕПЛОВОЗОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ БОРТОВОЙ ГЕНЕРАЦИИ ВОДОРОДА

*А. Ю. БАЛАКИН, А. А. МИШКИН*

*Самарский государственный университет путей сообщения, Российская Федерация*

В настоящее время одной из актуальных задач мирового масштаба является решение проблемы рационального и экономного использования топливно-энергетических ресурсов. Это обусловлено тем, что бурное развитие топливно- и энергоемких отраслей экономики, в особенности транспорт-

ного сектора, приводит к интенсивному сокращению запасов органического сырья, в первую очередь нефти и газа, как наиболее удобных и освоенных видов топлива.

Затянувшийся глобальный энерго-экологический кризис на рубеже XX–XXI столетий вызвал стремительное развитие разнообразных видов возобновляемых источников энергии и поиска замены углеводородного сырья на новые, доступные и экологически чистые виды топлива.

Особым интересом здесь пользуется водород. Его преимущества применения в качестве энергоносителя для транспорта являются вполне очевидными и потенциально оправданными. Водород может применяться как в чистом виде, так и в качестве добавок к углеводородным топливам [1]. Границы его концентрационных пределов воспламенения обеспечивают широкие пределы коэффициента избытка воздуха, что является важной характеристикой топлива при использовании в ДВС. К тому же при горении водорода не образуются сверххвредные соединения типа диоксидов и канцерогенные соединения, что определяет применение этого вида топлива как основной фактор снижения экологического воздействия на окружающую среду.

При решении вопросов получения водорода для нужд железнодорожного транспорта, в частности его использования на тепловозах, возникают определенные задачи, требующие специфических подходов для их практической реализации, в частности задачи бортовой генерации водорода за счет применения энергоаккумулирующих веществ (ЭАВ).

В основе технологий бортовой генерации водорода заложены принципы его получения путем гидролиза алюминия в водно-щелочных средах. К таким технологиям при решении задач генерации водорода на борту тепловозов, прежде всего, следует отнести высокотехнологичные устройства получения водорода – бортовые алюмоводородные генераторы. При протекании в них процесса гидролиза алюминия, полученный водород, минуя устройства накопления водорода (баллоны, блоки хранения водорода и т.п.), подается непосредственно напрямую в энергоустановку. Тем самым происходит процесс преобразования энергии окисления твердого топлива алюминия в газообразное, по принципу «применения водорода без водорода на борту транспортного средства», что позволяет повысить безопасность эксплуатации тепловозов за счет полного отказа от баллонных систем хранения водорода. Такая идеология, включающая также в себя возможность регенерации исходного алюминия из продуктов реакции по существующим промышленным стандартам, безусловно, ставит предлагаемые технические решения в число приоритетных направлений развития высокоэффективной и экологически чистой энергетической технологии, обладающей высокой степенью безопасности.

К главным требованиям при эксплуатации тепловозов с использованием технологий бортовой генерации водорода должны быть предъявлены повышенная безопасность, высокая эффективность и относительно дешевая стоимость получения водорода.

Проведенный анализ наиболее приемлемых методов и способов бортового получения водорода показал, что гидролиз алюминия является не достаточно дешевым, однако с точки зрения удобства его использования и безопасности – самым эффективным. Например, получение водорода электролизным методом имеет ряд преимуществ: широкий диапазон производительности электролизеров, простота их эксплуатации и удобство в работе, высокая чистота производимого водорода и наличие ценного и экологически чистого побочного продукта – газообразного кислорода. Однако главным недостатком электролиза является высокая стоимость электролитического водорода, получаемая за счет больших затрат на электроэнергию [2]. Это связано с тем, что электроэнергия необходимая для проведения процесса электролиза, используется на преодоление сил гидратных связей ионов с молекулами воды и компенсацию эндотермического эффекта реакции ее разложения. Поэтому для обеспечения восстановления ионов на соответствующих электродах электролизера, который на локомотиве может питаться от дизель-генераторной установки, необходимо приложить большое напряжение. По этой и другим причинам затраты электроэнергии на выработку 1 м<sup>3</sup> водорода могут составлять 18–21,6 МДж, а общий ее расход (с дополнительным учетом затрат дизельного топлива при увеличении нагрузки энергоустановки локомотива) превышать 50 МДж, что делает водород невыгодно дорогим.

Синергетическим эффектом может стать применение одновременно обоих методов бортовой генерации водорода, но при различных режимах эксплуатации тепловозов.

Известно, что при использовании электродинамического торможения энергия тяговых электродвигателей магистральных тепловозов в режиме торможения передается в тормозные резисторы. При этом они поглощают до 90 % энергии, преобразуя ее в тепло и рассеивая в окружающую среду. Идея замены тормозных резисторов на электролизеры [3] с целью получения водорода на режимах торможения локомотива при следовании по перегону может быть использована совместно с применением на борту локомотива алюмоводородного генератора.

Таким образом, генерации водорода на режимах торможения тепловоза, помимо основного бортового источника – алюмоводородного генератора, будет включать в себя электролизер (группу электролизеров). Ввиду того, что дизель работает постоянно, на всех режимах эксплуатации локомотива, параллельно с ним на этих же режимах функционирует алюмоводородный генератор. При электродинамическом торможении локомотива подача алюминия в генератор происходить не будет, что будет способствовать прекращению реакции гидролиза и, как следствие, выработке водорода. Бортовая генерация водорода в данный момент будет компенсироваться за счет работы электролизеров, получающих энергию от тяговых электродвигателей в режиме торможения.

Полученное количество водорода за поездку, методом электролиза на режимах торможения позволит сэкономить количество алюминия получаемого алюмоводородным генератором, пропорционально выработке водорода электролизным методом. Данное техническое решение позволит не только повысить безопасность использования водорода на тепловозе, но и его эффективность с точки зрения экономии затрат на получение водорода обоими методами.

На рисунке 1 приведена структурная схема технологий бортовой генерации водорода на тепловозе.

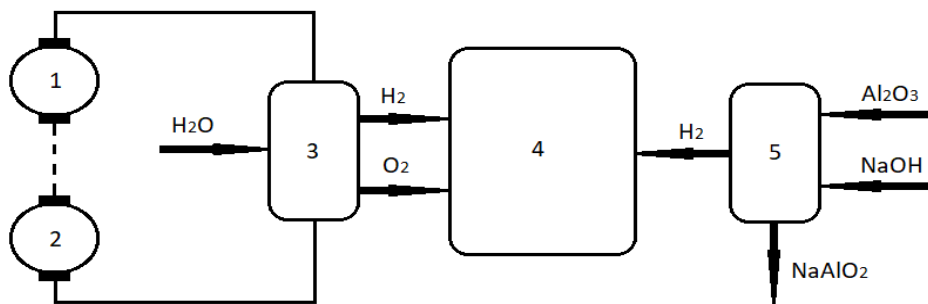


Рисунок 1 – Структурная схема бортовой генерации водорода на тепловозе:  
1, 2 – тяговые двигатели; 3 – электролизер; 4 – энергоустановка; 5 – алюмоводородный генератор

Согласно данной схеме получаемый водород будет максимально изолирован от окислителей и потенциальных источников воспламенения. Для постоянного и оперативного контроля генерации водорода на тепловозах может быть обеспечено наличие предупреждающих визуальных и звуковых сигналов (например, сигнализаторов загазованности утечек водорода), а также системы аварийной остановки источников получения водорода, что позволит повысить безопасность в целом.

Рассмотренные технологии бортовой генерации водорода позволяют дать высокую оценку степени безопасности эксплуатации тепловозов ввиду отсутствия необходимости использовать на их борту устройств хранения водорода (баллонов или других подобных носителей).

#### Список литературы

- 1 Мишкин, А. А. Перспективы применения алюмоводородной энергетики на железнодорожном транспорте / А. А. Мишкин // Современное техническое образование и транспортный комплекс России: состояние, проблемы и перспективы : сб. материалов II Всероссийской молодежной науч. конф. – Уфа : УФИПС, 2014. – С. 134–136.
- 2 McHugh, K. Hydrogen Production Methods : report MPR-WP-0001 / K. McHugh. Revision 0. Feb. 2005. Prepared for MPR Associates, Inc. – 41 p.
- 3 Грушин, К. А. Использование энергии электродинамического торможения тепловозов : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.07 / К. А. Грушин. – СПб., 1992. – 22 с.

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА КРУПНЫХ ГОРОДОВ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

*П. М. БАРАНОВСКАЯ*

*Белорусский государственный университет транспорта, Гомель*

Вторая половина XX века ознаменовалась высоким ростом автомобилей по всему миру. С одной стороны, наблюдается технико-экономический прогресс общества, который в свою очередь способствовал удовлетворению человеческих потребностей. Более 75 % народнохозяйственных грузов перевозится автомобильным транспортном, он сыграл большую роль в расселении людей, в территориальной децентрализации сферы обслуживания и промышленности. С другой стороны, автомобилизация начала приводить к нарушению экологии на уровне биосферных процессов.

К концу века возникла проблема – экологическая опасность для жизни людей, которая связана с огромным уровнем автомобилизации.

Экологическая безопасность автомобиля – это его свойство, которое позволяет наносить меньший вред участникам дорожного движения и окружающей среде в процессе эксплуатации. Она проявляется в процессе ежедневной работы автомобиля.

Данная тема остается актуальной и в настоящее время, так как число транспортных средств с каждым днем только непрерывно увеличивается, а воздействие на здоровье людей и на качество городской среды остается негативным.

Загрязнение автомобильным транспортом оказывает воздействие по нескольким направлениям:

- глобальное потепление;
- загрязнение воздуха, воды и почвы;
- влияние на человеческое здоровье.

Автотранспорт является основным источником химического, шумового и механического загрязнения атмосферы. Влияние автотранспорта неблагоприятно сказывается и на здоровье населения: обостряются сердечно-сосудистые и легочные заболевания, развиваются вирусные эпидемии и др. В связи с увеличением числа автотранспортных средств доля выбросов загрязняющих веществ с 1970-х годов в среднем возросла на 35–40 %, а ежегодно в среднем возрастает на 3 % [1]. Поэтому влияние автотранспорта на окружающую среду и здоровье населения является одной из самых актуальных проблем современного общества.

В результате сжигания топлива автомобилями происходит загрязнение воздуха. Химический состав выбросов вредных веществ зависит: от качества топлива, степени изношенности двигателя, мощности автомобиля, скорости его движения, расхода топлива, интенсивности разгона автомобиля.

За один год автомобиль поглощает около 4 т кислорода, при этом выбрасывая с отработанными газами более 800 кг угарного газа, 220 кг разных углеродов и 50 кг оксидов азота. В России от транспортных средств поступает огромное количество канцерогенных веществ: 26 тыс. т бензола, 17,7 тыс. т формальдегида и 5 тыс. т свинца. Общее количество выбрасываемых вредных веществ автомобилями за год составляет более 20 млн т [2].

Неблагоприятным режимом работы двигателя является работа двигателя на холостом ходу или движение на малых скоростях, что и происходит в крупных городах. Именно в таком режиме работы выбрасывается огромное количество вредных веществ.

В выхлопных газах автомобилей содержится более 200 различных загрязняющих веществ, среди которых можно выделить: оксиды углерода, оксиды серы, оксиды азота, сажу, углеводороды, сернистый ангидрид, бенз(а)пирен, альдегиды и пр. Эти вещества негативно воздействуют не только на все живые организмы, но и вызывают глобальные изменения в биосфере.

Один легковой автомобиль поглощает из воздуха более 4 тонн кислорода в год и выбрасывает при этом около 800 кг оксида углерода, 40 кг оксидов азота и 200 кг различных углеводородов. Кроме того, автотранспорт является источником поступления большого количества пыли в атмосферу, химический состав которой зависит от материала дорожного покрытия.

Автотранспорт является причиной большого количества экологических проблем. Выхлопные газы автотранспортных средств способствуют потеплению климата Земли за счет выбросов оксидов

углерода и азота, которые являются парниковыми газами. Кислотообразующие газы долгое время остаются в атмосфере, в результате чего способны передвигаться на большие расстояния. Кислотные осадки вызывают у человека различные заболевания органов дыхания, поражение кожи и общее ослабление организма, что сказывается на продолжительности жизни. Воздействие кислотных дождей на окружающую среду проявляется в повышении кислотности водных объектов и почв, что ведет к угнетению и гибели живых организмов [4].

Охрана атмосферного воздуха – ключевая проблема оздоровления окружающей природной среды. Атмосферный воздух занимает особое положение среди других компонентов биосферы. Значение его для всего живого на Земле невозможно переоценить. Вещества, содержащиеся в выхлопных газах автомобилей, могут вызвать поражения центральной нервной системы, печени, почек, мозга, половых органов, летаргию, синдром Паркинсона, пневмонию, подагру, рак бронхов, дерматиты, интоксикацию, аллергию, респираторные и другие заболевания.

Выхлопные газы автомобилей особенно опасны в связи с тем, что загрязняют воздух в приземном слое атмосферы на уровне человеческого роста. Высокий уровень вреда от выхлопных газов объясняется и наличием в них канцерогенных веществ – сажа и бенз(а)пирен, которые способствуют развитию злокачественных опухолей. Автотранспорт является источником и физического загрязнения атмосферы за счет шума, вибрации и электромагнитных излучений.

Шумовое загрязнение оказывает вредное воздействие на зрительный и вестибулярный аппараты, а также снижает рефлекторную деятельность человека [5].

Строительство автодорог влияет на места обитания животных: нарушаются пути их миграции, изменяется гидрологический режим местности и, как следствие, происходит смена состава биоценозов вдоль дороги. А также в результате химического загрязнения наблюдаются генетические мутации живых организмов, обитающих в полосе отвода автомобильной дороги [5].

Существующие решения транспортных проблем делятся на меры организационного характера и архитектурно-планировочные мероприятия. Архитектурно-планировочные мероприятия ограничены в реализации из-за больших капиталовложений и иногда вообще невозможны.

Загрязнение воздуха от ТС возникает по следующим причинам:

- 1) неудовлетворительное состояние технического обслуживания ТС;
- 2) низкое качество используемого топлива;
- 3) наличие в бензине свинцовых добавок;
- 4) недостаточное развитие системы управления транспортными потоками;
- 5) низкий процент использования экологически чистых видов топлива.

Экологические проблемы автомобильного транспорта в современном мире неизбежны. Но всё же их можно решить, если действовать комплексно и глобально:

- 1) применение альтернативных видов топлива;
- 2) комплексное развитие общественного вида транспорта (трамваи и троллейбусы);
- 3) использование автобусов и других видов общественного транспорта;
- 4) развитие транспортной инфраструктуры (строительство объездных дорог) и совершенствование организации дорожного движения (создание предпосылок к ограничению въезда личного транспорта, разгрузка основных магистралей города путем строительства дублеров транспортных направлений);
- 5) замена конструкции рабочих процессов технологии производства автомобилей с целью понижения токсичности отработанных газов;
- 6) поэтапный переход к реализации моторных топлив с улучшенными экологическими характеристиками;
- 7) создание и внедрение единой системы контроля качества моторного топлива;
- 8) совершенствование системы эксплуатации и экологического контроля автотранспортных средств;
- 9) формирование сети придорожных зеленых полос [5].

На сегодняшний день трудно представить свою жизнь без автотранспорта, однако в то же время он является одним из самых сильных факторов загрязнения атмосферы. Негативные последствия, рождающиеся в результате использования автотранспорта необходимо решать комплексно, не только при изготовлении автомобиля, но и при его эксплуатации.

Благодаря предложенным мероприятиям значительно улучшится экологическое состояние окружающей среды.

### Список литературы

- 1 Сенина, Ю. П. Снижение негативного влияния автотранспорта на экологическое состояние окружающей среды / Ю. П. Сенина, А. Г. Ветошкин // Надежность и качество : тр. междунар. симпоз. – 2011. – Т. 2. – С. 1–5.
- 2 Днистенко, Н. С. Применение альтернативных видов топлива и энергии на автотранспорте / Н. С. Днистенко, Л.Е. Кущенко // Сб. междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых БГТУ им. В. Г. Шухова. Белгород, 2019.
- 3 Кипрушева, Н. С. Техногенные загрязнители окружающей среды : учеб. пособие / Н. С. Кипрушева. – Ухта : Институт управления, информации и бизнеса, 2004. – 56 с.
- 4 Влияние автотранспорта на состояние окружающей среды / Библиофонд [Электронный ресурс] // Bibliofond: электронная библиотека студента. – Режим доступа : <https://www.bibliofond.ru/view.aspx?id=664127>. – Дата доступа : 01.06.2018.
- 5 Ничкова, Л. А. загрязнения окружающей среды автомобильным транспортом в Республике Крым / Л. А. Ничкова, Г. А. Сигора, Т. Ю. Хоменко // XXI век. Техносферная безопасность. – 2017. – Т. 2. – № 4. – С. 26–37.

УДК 628.349

## СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УДЕЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ НА ПРИМЕРЕ НАНОМАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ СТОЧНЫХ ВОД

*О. Н. ГОРЕЛАЯ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Первые количественные оценки удельной поверхности были сделаны с помощью хемосорбции в 1918 году американским химиком И. Ленгмюром. Способность твердых тел к поглощению газов и паров сильно зависит от развитости их поверхности. Чем больше удельная поверхность твердого тела, тем больше это поглощение. Многие другие свойства твердых тел зависят от величины их поверхности, например процессы горения, схватывание цемента и другие. Производительность катализатора в кинетической области протекания реакции также находится в прямой зависимости от его удельной поверхности, а внутри диффузионной области – еще и от его пористой структуры. Но если для катализа (как и для хемосорбции) первостепенное, определяющее значение имеет химическая природа поверхности, а ее величина является хоть и важным, но вторым по значению фактором, то для физической адсорбции, наоборот, основное значение имеет величина поверхности. Следовательно, удельная поверхность является очень мощным фактором, влияющим на величину сорбции [1–2]. При определении основных свойств наносорбента для очистки нефтесодержащих сточных вод [3–11], синтезированного из отходов станции обезжелезивания, была поставлена и выполнена задача по определению удельной поверхности.

Как известно, наиболее применяемым лабораторным методом при определении удельной поверхности дисперсных материалов на сегодняшний день является метод низкотемпературной адсорбции газа, называемый методом Брунауэра, Эммета и Теллера (БЭТ, англ. BET), позволяющий измерить поверхность в диапазоне от 0,1 до 2000 м<sup>2</sup>/г с относительной погрешностью 2–6 % при длительности анализа каждого образца от 1 до 2,5 часов (длительность анализа обусловлена медленным протеканием процесса адсорбции при отрицательных температурах). Ввиду того, что еще С. Грег и К. Синг в своих трудах [12] отмечали необходимость определения удельной поверхности независимыми методами, авторы предлагают для сравнения использовать результаты определения площади удельной поверхности сорбента [1].

Для характеристики пористой структуры образцов на основании изотерм низкотемпературной адсорбции азота (77К), снятых на приборе ASAP 2020 MR (США), рассчитывали удельную поверхность по БЭТ.

Для оценки относительного количества микро- и мезопор, доступных для адсорбции растворенных в воде веществ, дополнительно по стандартным методикам проводили адсорбцию из водных растворов веществ-маркеров – красителя метиленового голубого.

При сравнении полученных данных, представленных на рисунке 1, прослеживаются устойчивые зависимости с высоким коэффициентом детерминации ( $R^2 = 0,767...0,987$ ). Такие высокие показатели позволяют предполагать, что определения удельных поверхностей достоверны и могут быть определены по полученным формулам на любом участке исследуемого отрезка.

При оценке сопоставимости результатов, определенных по обоим методикам, прослеживается устойчивая полиномиальная зависимость по каждому восстановителю. При этом стоит обратить

внимание, что зависимости по одноименным образцам одного восстановителя отличаются на практически постоянную величину.

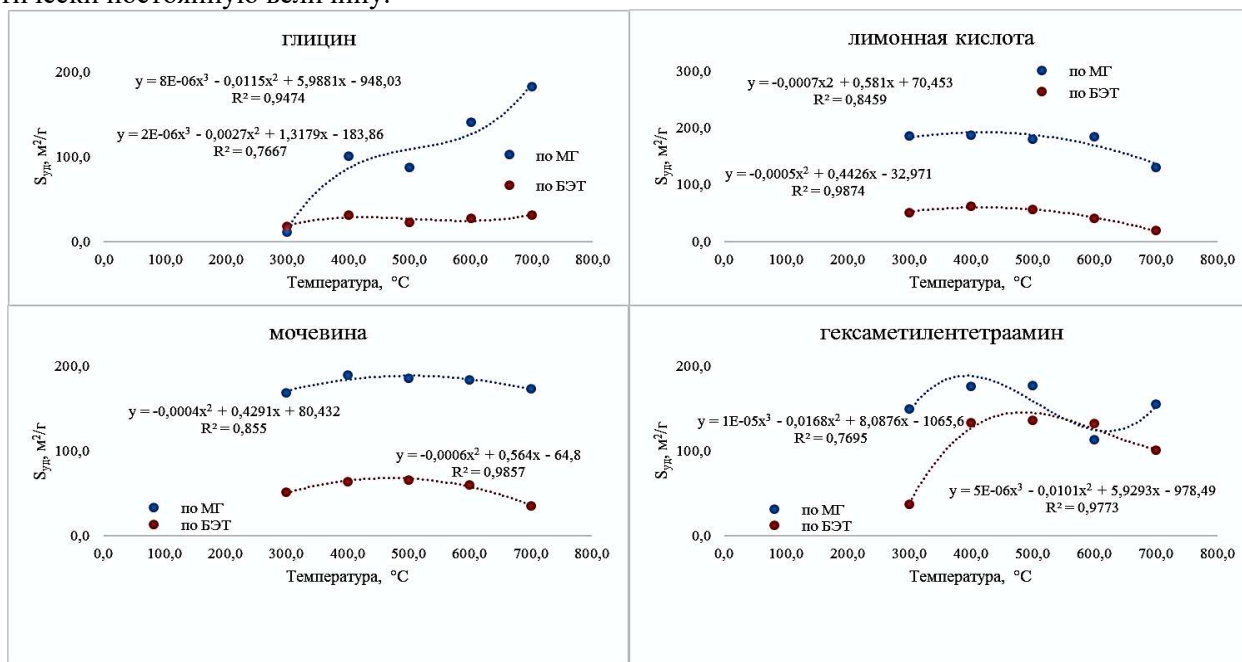


Рисунок 1 – Результаты определения удельной поверхности  $S_{уд}$  образцов наносорбентов, полученных с использованием глицина, лимонной кислоты, мочевины и гексаметилентетрамина в качестве восстановителя различными методами

Можно предполагать, что удельная поверхность  $S_{уд}$ ,  $M^2/g$ , полученная по сорбции из водного раствора красителя – метиленового голубого на поверхности полученных образцов, осуществляется не в один молекулярный слой, как при использовании метода БЭТ, а в несколько. Данная тенденция прослеживается для каждого вида восстановителя по-своему, иногда уникальному принципу:

- для наносорбентов, в качестве восстановителя в которых использовался глицин при температуре синтеза 300  $^{\circ}C$  – в один молекулярный слой, на более высоких температурах в несколько (предположительно в 3–4);

- наносорбентов, в качестве восстановителя, где использовались мочевины и лимонная кислота, зависимость на всех температурных режимах имеет стабильно-постоянную константу (т.е. предположить можно, что сорбция МГ идет в 3–4 слоя);

- гексаметилентетрамина наибольшее число молекулярных слоев наблюдается при температуре 300  $^{\circ}C$ , далее зависимость меняет характер. Возможно влияние на показатели  $S_{уд}$  оказывают влияние функциональные группы, но для этого необходимо более полное исследование и анализ характеристик образцов.

#### Список литературы

- 1 Носенко, А. А. Методы и устройства для измерения удельной поверхности дисперсных материалов / А. А. Носенко, С. И. Половнева // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. – 2017. – № 7 (2). – С. 113–121. <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2017-7-2-113-121>
- 2 Грузинова, В. Л. Сорбционные свойства и эксплуатационные характеристики угольных волокнистых материалов / В. Л. Грузинова, В. И. Романовский // Вестник Полоцкого государственного университета. Сер. Ф. Строительство. Прикладные науки. Инженерные сети, экология и ресурсоэнергосбережение. – 2015. – № 16. – С. 141–145.
- 3 Горелая, О. Н. Влияние дозы восстановителя на свойства магнитных сорбентов из осадков станций обезжелезивания / О. Н. Горелая, В. И. Романовский // Водоснабжение и санитарная техника. – 2022. – № 1. – С. 32–37.
- 4 Горелая, О. Н. Магнитные сорбенты для удаления нефтепродуктов из водных сред / О. Н. Горелая, В. И. Романовский, А. А. Хорт // Актуальные вопросы и перспективы развития транспортного и строительного комплексов: материалы IV Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 65-летию БИИЖТа–БелГУТа. – Гомель: БелГУТ. 2018. – С. 215–216.
- 5 Получение каталитических материалов для водоподготовки и очистки сточных вод из отходов станций обезжелезивания / В. И. Романовский [и др.] // Вода magazine. – 2017. – № 6(118). – С. 12–15.
- 6 Романовский, В. И. Железо-молибден-содержащие фотокатализаторы из осадков очистки промывных вод фильтров обезжелезивания / В. И. Романовский, Д. М. Куличик, М. В. Пилипенко // Водоочистка. – 2019. – № 6 (180). – С. 73–78.

7 Железосодержащие фотокатализаторы из осадков очистки промывных вод фильтров обезжелезивания / В. И. Романовский [и др.] // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. – 2019. – С. 24–28.

8 Горелая, О. Н. Магнитный сорбент из отходов водоподготовки для очистки нефтесодержащих сточных вод / О. Н. Горелая, В. И. Романовский // Вестник Брестского гос. техн. ун-та. Сер.: Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2020. – № 2. – С. 61–64.

9 Горелая, О. Н. Сорбент для очистки нефтесодержащих сточных вод на основе отходов станций обезжелезивания / О. Н. Горелая, В. И. Романовский // Водоснабжение и санитарная техника. – 2020. – № 10. – С. 48–54.

10 Горелая, О. Н. Магнитный сорбент из отходов водоподготовки для удаления нефтепродуктов из водных сред / О. Н. Горелая, Н. Л. Будейко, В. И. Романовский // Вестник Полоцкого гос. ун-та. Сер. F. Строительство. Прикладные науки. – 2020. – № 16. – С. 52–57.

11 Горелая, О. Н. Магнитный сорбент из отходов водоподготовки для очистки нефтесодержащих сточных вод / О. Н. Горелая, В. И. Романовский // Вестник БрГТУ. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2020. – № 2. – С. 61–64.

12 Грег, С. Адсорбция, удельная поверхность, пористость / С. Грег, К. Синг. – М.: Мир, 1984. – 310 с.

УДК 621.314

## ДИАГНОСТИКА КАЧЕСТВА СОСТОЯНИЯ ИЗОЛЯЦИИ ТРАНСФОРМАТОРА С ПОМОЩЬЮ ФИГУР ЛИССАЖУ

И. Л. ГРОМЫКО

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

На сегодняшний день более 50 % трансформаторов системы электроснабжения железнодорожной отрасли страны отработали установленный срок службы – 25 лет, согласно ГОСТ 11677-85. Многие из таких трансформаторов могут эксплуатироваться еще длительное время, однако, в этом случае должны предъявляться повышенные требования к методам диагностики их технического состояния.

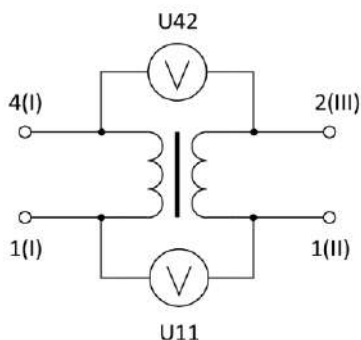


Рисунок 1 – Схема трансформатора ПОБС-5АУЗ с учетом межобмоточных напряжений

Состояние изоляции обмоток трансформатора можно оценить, измеряя всего несколько параметров: сопротивление изоляции постоянному току RISO, коэффициенты абсорбции DAR, поляризации PI и диэлектрического разряда DD. Значения этих величин позволяют обнаружить расслоение и загрязнение, определить ток утечки, степень влажности и старения, т.е. сделать вывод о пригодности изоляции обмоток к дальнейшей эксплуатации.

В данной публикации предлагается новый метод оценки состояния качества изоляции с помощью межобмоточных напряжений, схема измерения которых представлена на рисунке 1. Измерения проводились на трансформаторе ПОБС-5АУЗ

Для учета не только величин данных напряжений, но и их начальных фаз, были построены фигуры Лиссажу, для различных состояний изоляции трансформатора. Данные фигуры представлены на рисунке 2.

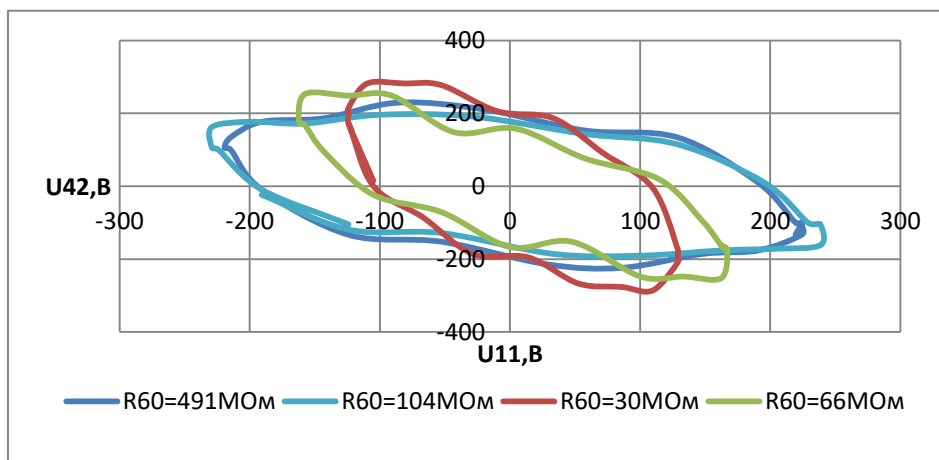


Рисунок 2 – Фигуры Лиссажу межобмоточных напряжений при различных состояниях изоляции трансформатора



Как видно из данного рисунка, фигуры Лиссажу при нормальном состоянии трансформатора ( $R_{60} \geq 100$  МОм) практически не отличаются. Фигура Лиссажу с ростом увлажненности изоляции обмоток изменяет свои размеры и наклон. При этом характер (емкостной, индуктивный или активный) и величина (коэффициент нагрузки изменялся от холостого хода до 1,2 номинальной нагрузки) нагрузки не изменяют данные фигуры (рисунок 3).

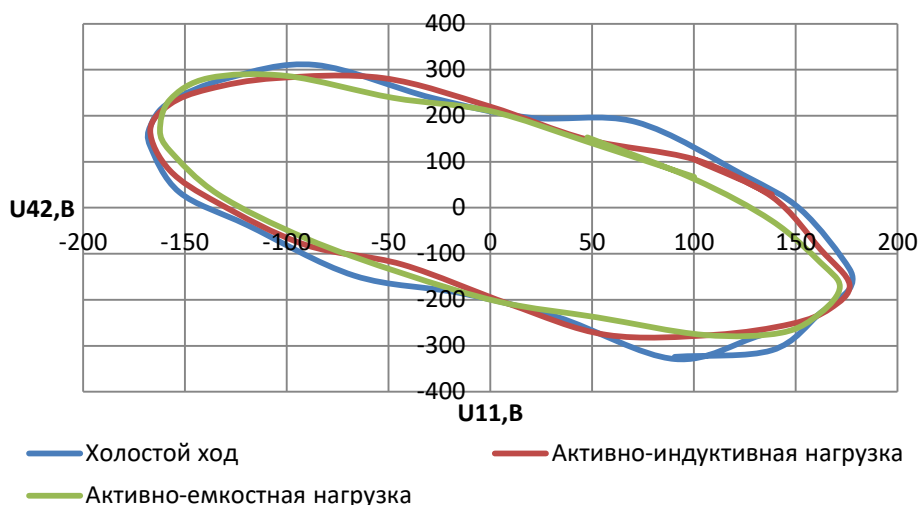


Рисунок 3 – Фигуры Лиссажу при различных нагрузках

Самонастройка системы на основе искусственного интеллекта позволяет унифицировать математические модели, за счет отсутствия необходимости разработки индивидуальных моделей для каждого вида, типа трансформаторов с учетом особенностей их конструкций, но и оптимизировать применение таких моделей в информационной среде предприятия улучшая самих себя за счет созданных библиотек баз данных накопленного опыта.

Таким образом, полученные фигуры Лиссажу можно использовать для оценки качества изоляции. Данные графические материалы авторы используют в качестве дополнительных исходных данных разработанной системы, основанной на применении сверточных нейронных сетей для диагностики, классификации неисправностей трансформаторов и оценки остаточного ресурса [1-4].

#### Список литературы

- 1 **Пехота, А. Н.** Технология использования сверточных нейронных сетей при диагностике состояния трансформаторов / А. Н. Пехота, В. Н. Галушко, И. Л. Громыко // Вестник Полоцкого гос. ун-та. Сер. С. Физико-математические науки (физика). – 2021. – № 7. – С. 63–69.
- 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.
- 3 **Пехота, А. Н.** Технология применения диагностического комплекса трансформаторов / А. Н. Пехота, В. Н. Галушко, И. Л. Громыко // Энергоэффективность. – 2022. – № 3 (март). – С. 26–30.
- 4 **Галушко, В. Н.** Повышение надежности трансформаторов с помощью комплексного анализа данных приборного учета при межвитковых коротких замыканиях / О. Н. Горелая, Н. Л. Будейко, В. И. Романовский // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2021. – № 1 (42). – С. 85–89.

УДК 656

### ПРОЕКТ МУСОРОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕГО ЗАВОДА-ПОЕЗДА НА БАЗЕ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА РЖД ДЛЯ ЛИКВИДАЦИИ МУСОРНЫХ ПОЛИГОНОВ МАЛЫХ ГОРОДОВ

*В. А. ДЕРГУНОВ, А. И. КРАСНОВ, Д. В. НИКОЛАЕВ*

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

Все лето 2021 года в г. Алатыре горел мусорный полигон (рисунок 1).

Горит не первый раз и не первый год. Проблему в России пытаются решить за счет жителей. Увеличили стоимость вывоза. Сменили регионального оператора. Обещали навести порядок с

вывозами, ликвидировать свалку. Было обещано вывозить мусор на мусороперерабатывающие заводы. Единственное, что изменилось – поставили пластмассовые контейнеры, которые частенько горят и улучшили способ погрузки для себя. Но беспорядок механизации и автоматизации не поддается.



Рисунок 1 – Горение бытовых отходов на свалке Алатыря

В Минприроды Чувашии имеется территориальная схема обращения с отходами, сформированная 2018 году. В ней указано, что мусороперегрузочных или сортировочных станций, которые должны были появиться в Шумерле, Вурнарах, Козловском, Цивильском, Батыревском районах нет, а в Цивильском районе только несколько дней тому назад ликвидировали открытое возгорание. В Канаше оборудование мусороперегрузочной станции общей стоимостью на 49 млн руб., закупленное в 2018 году, гниет под открытым небом на территории водоканала [1].

Санкт-Петербург этой зимой, так же, как и нас, завалили мусором, эту ситуацию осветили в средствах массовой информации: заведено уголовное дело на нескольких руководителей регионального оператора, они арестованы. И поэтому мы предлагаем в нашей работе к этой проблеме подключиться мощному конкуренту – Российским железным дорогам.

ОАО «РЖД» уже по итогам 2020 года обеспечило снижение своих суммарных выбросов до 49 % от эмиссии 1990 года. Объем парниковых газов, который попадает в атмосферу из-за железнодорожной деятельности в России, составляет всего около 1 % из общего количества выбросов. Успехи ОАО «РЖД» во внедрении зеленых технологий видны в принимаемых и реализуемых экологических концепциях корпорации. Так, по предыдущей концепции, рассчитанной до 2020 года, реконструирована одна свалка до уровня полигона на ст. Орск, возведено два комплекса тепличного обезвреживания отходов и две установки по утилизации резинотехнических изделий, установлены четыре комплекса по переработке железобетонных шпал.

Нами предложен проект мусороперерабатывающего завода-поезда по ликвидации мусорных полигонов малых городов типа г. Алатырь (рисунок 2).

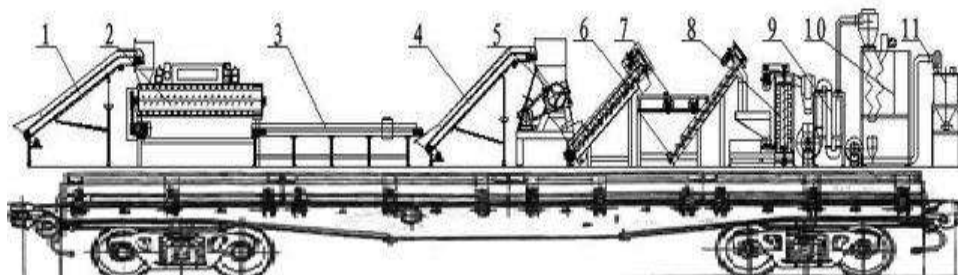


Рисунок 2 – Завод на платформе:

- 1 – ленточный конвейер; 2 – механический отделитель этикеток; 3 – механическая сортировка; 4 – конвейер;  
5 – дробилка; 6 – флотационная ванна; 7 – горячая мойка; 8 – центрифуга; 9 – сушильный шкаф и моталка;  
10 – воздушный сепаратор; 11 – бункер

В зависимости от вида отходов и расположения железной дороги от мусорного полигона в состав завода могут входить шредер, пресс и компактор, агломератор, пиролизное оборудование, средства транспортировки мусора и оборудования. В состав поезда может входить пассажирский вагон для работников, вагон ресторан, платформы для подъёмной и транспортной техники.

Крупный мусороперерабатывающий завод можно построить рядом с железнодорожными ПМС и доставлять туда уже разобранные, прессованные отходы для глубокой переработки, получения строительных материалов, энергии, топлива. В Ярославской области запланирован такой завод, ориентировочная стоимость завода 2 млрд руб., деньги выделены.

Завод по переработке мусора полностью окупается чуть более, чем за три года. При правильном составлении бизнес-плана мусороперерабатывающий завод будет приносить прибыль от 7 млн руб. без учета налогов. Такой оператор будет заинтересован и в своевременном вывозе крупногабаритного мусора (мебель, деревья, рамы) – прекрасное сырьё для энергетики при отдельном вывозе мусора.

Отрицательные стороны:

1 Отсутствие специалистов, ведущих переговоры и занимающихся поиском компаний для сотрудничества.

2 Простой производства из-за недостатка средств и материала.

Мы предлагаем отобрать у нечистоплотной межрегиональной компании возможность валить мусор по старой схеме – на нашу свалку, пусть везут, как должны были на сортировочный завод в Канаш или Чебоксары.

Мы надеемся с этими проблемами ОАО «РЖД» как мощная государственная компания справится. Свалки малых городов будут ликвидированы, и ОАО «РЖД» с помощью глубокой переработки отходов получит прибыль.

#### Список литературы

1 Минприроды Чувашии закупает оборудование для мусороперегрузочной станции в Канаше [Электронный ресурс] // Правды ПФО. – Режим доступа : <https://pravdapfo.ru/polnotekst>. – Дата доступа : 24.10.2022.

УДК 504.03

## ПУТИ ДЕКАРБОНИЗАЦИИ ТРАНСПОРТНОЙ ОТРАСЛИ НА ОСНОВЕ «ЗЕЛЕННОЙ» ЛОГИСТИКИ

*Т. Д. ДЕСЯТКОВА, Ю. А. ХОЛОПОВ*

*Самарский государственный университет путей сообщения, Российская Федерация*

Современное развитие промышленного и аграрного производства, миграционная активность населения в сторону городских агломераций, увеличение туристических потоков ставят задачи перемещения значительных объемов грузов и пассажиров как внутри страны, так и на отдельных международных направлениях. Активное использование железнодорожного транспорта оправдано с точки зрения экономики меньшими затратами, а с экологических позиций характеризуется сниженными объемами выбросов загрязняющих веществ в атмосферу (как в валовом объеме, так и в пересчете на 1 т/км или 1 пас/км). Свои ниши в транспортировке пассажиров и грузов имеют воздушный и водный транспорт, проявляя неоспоримые преимущества в труднодоступных районах и при наличии водных путей сообщения.

Однако в целом транспортная отрасль по-прежнему входит в число основных загрязнителей атмосферного воздуха парниковыми газами, приводящими к климатическим изменениям. Именно поэтому Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года от 27.11.2021 определяет экологичность транспортного комплекса как «характеристику, отражающую его соответствие установленным требованиям в области охраны окружающей среды от воздействия видов транспорта и транспортной инфраструктуры» [1].

Наиболее критикуемым экологами фактом, значительно увеличивающим углеродный след, является перевозка грузов автомобильным транспортом на расстояния свыше 1000 км, при оптимальной дальности 500–700 км. На долю таких перевозок приходится более 30 % несырьевых грузов и это несмотря на наличие разветвленной сети железных дорог в европейской части России. По уровню выделения углекислого газа на 1 тонно-км железные дороги дают 24 грамма, автомобильный транспорт – 133 грамма, авиатранспорт – 1036 граммов. Экологичность железной дороги доказывают измерения выброса диоксида углерода грузовыми поездами на транзитном коридоре Казахстан – Россия – Беларусь на маршруте Китай – Европа – Китай [2]. Неслучайно, сообщество евро-

пейских железнодорожных и инфраструктурных компаний ставит цель увеличить количество пассажиров, перевозимых по железной дороге к 2030 году, и обеспечить, чтобы не менее 30 % всех грузов перемещалось по железной дороге.

«Зеленые» логистические решения позволяют не только ускорить товародвижение, сократить затраты грузовладельцев, но и найти баланс между экологическими, экономическими, социальными показателями, снизить негативную нагрузку на окружающую среду. Сегодня значительные избыточные совокупные издержки составляют около 750 млрд рублей в год (включая транспортный риск и вредные выбросы), а отношение логистических издержек к валовому внутреннему продукту составляет 14,2 %, что выше среднемировых значений (11 %) [1].

На экологические и климатические проблемы в основном влияют три элемента логистики: упаковка (формирует потоки отходов), транспортировка (загрязнение воздуха и воды, шум) и хранение (складские помещения) [3].

Процессы декарбонизации на российских железных дорогах связаны с реализацией таких проектных направлений, как: увеличение полигона использования электротяги; размещение локомотивов на новых видах топлива; исключение пылеобразования при перевозке сыпучих грузов, проливов нефтепродуктов; отказ от отопления пассажирских вагонов углем и др.

Снижению углеродной емкости транспорта призваны способствовать следующие ключевые направления развития опорной логистической инфраструктуры: ускоренная разгрузка контейнерных поездов, роботизация складских помещений, распространение платформенных технологий (логистических интеграторов), развитие сети логистических центров, развитие контейнерных (железнодорожно-автомобильных) перевозок, доставки «от двери до двери» [4].

В целях достижения климатической (углеродной) нейтральности на железнодорожном транспорте проводятся работы по внедрению альтернативных источников энергии. Поставлена задача создания подвижного состава, работающего на сжиженном природном газе, водородном топливе, внедрение гибридных приводов, а также повышение энергоэффективности традиционного тягового подвижного состава [1, 7].

Экологичность перевозок можно повысить за счет сокращения порожнего пробега подвижного состава и контейнеров [5].

Декарбонизации железнодорожного транспорта будет способствовать повышение пропускной способности железных дорог без использования дополнительных тяговых средств (локомотивов) путём интервального регулирования движения и использования виртуальной сцепки через спутниковую навигацию и радиоканалы без светофоров и другого наземного оборудования сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ) [6, 7].

В долгосрочной перспективе ориентиром холдинга «РЖД» является нулевой углеродный баланс.

#### Список литературы

1 Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года: [утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 27 ноября 2021 г. № 3363-р] // Справочно-правовая система «Консультант Плюс» [Электронный ресурс]. – Дата доступа : 20.09.2022.

2 Низкоуглеродный и экологически чистый железнодорожный транспорт становится все более популярным [Электронный ресурс] // ОТЛК. Евразийский железнодорожный альянс. – Режим доступа : <https://www.utlc.com/smi/nizkouglernodny-i-ekologicheskii-chisty-y-zheleznodorozhnyy-transport-stanovitsya-vse-bolee-populyarny/>. – Дата доступа : 20.09.2022.

3 Мусаткина, Б. В. Анализ эффективности применения методов «зеленой» логистики для декарбонизации транспортной отрасли / Б. В. Мусаткина // Science in the modern world: theory and practice (Наука в современном мире: вопросы теории и практики) : материалы междунар. (заочной) науч.-практ. конф. / Sofia: Издательска Къща «СОРОС», Нефтекамск : Научно-изд. центр «Мир науки», 2022. – 99 с. – С. 62–65 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [http://science-rease.ru/files/NSMVTP\\_2022.pdf](http://science-rease.ru/files/NSMVTP_2022.pdf). – Дата доступа : 20.09.2022.

4 Мусаткина, Б. В. «Зеленые» цепочки поставок как инструмент декарбонизации транспортного комплекса / Б. В. Мусаткина, Д. И. Васильев, О. В. Игнатов // Инновационные проекты и новые технологии в образовании, промышленности и на транспорте : материалы науч. конф., посвящ. Дню российской науки / Омский гос. ун-т путей сообщения. – Омск, 2022. – 530 с. – С. 323–329.

5 Десяткова, Т. Д. «Углеродный след» и пути декарбонизации железнодорожного транспорта России / Т. Д. Десяткова, Ю. А. Холопов // Дни студенческой науки : сб. материалов 49-й науч. конф. обучающихся СамГУПС, Самара, 05–16 апреля 2022 года. – Самара : Самарский гос. ун-т путей сообщения, 2022. – С. 153–155. – EDN FYQWCU.

6 Путь к углеродной нейтральности [Электронный ресурс] // Гудок. Выпуск № 148 (27242) 19.08.2021. – Режим доступа : <https://gudok.ru/newspaper/?ID=1575974>. – Дата доступа : 20.09.2022.

7 Зойдов, К. Х. Перспективы декарбонизации мировой экономики в процессе формирования и эволюционного развития инновационно-индустриальных поясов торговых путей XXI века / К. Х. Зойдов, А. А. Медков // Проблемы рыночной экономики. – 2021. – № 2. – С. 91–107. – DOI : 10.33051/2500-2325-2021-2-91-107. – EDN XARGGM.

## **ПРОБЛЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ТРАНСПОРТНЫХ ПРОИСШЕСТВИЯХ С СБРОСОМ ОПАСНЫХ ГРУЗОВ С СУДОВ НА ВНУТРЕННИХ ВОДНЫХ ПУТЯХ**

*О. Л. ДОМНИНА*

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

Для снижения экологических рисков от чрезвычайных ситуаций в России была создана Единая государственная система предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (РСЧС), включающая системы мониторинга, контроля и прогнозирования чрезвычайных ситуаций. Такие чрезвычайные ситуации возникают в результате транспортных происшествий (ТП), в том числе с судами на внутренних водных путях России. В то же время нормативно-правовая база в области предупреждения и ликвидации загрязнений в результате таких транспортных происшествий нуждается в корректировке. Это связано с тем, что в основном в ней внимание уделяется вопросам борьбы с разливами нефти и нефтепродуктов [1, 2]. Вопросы, связанные с другими опасными грузами (например, химическими грузами, удобрениями и др.), изучены недостаточно [3]. Таким образом, целью настоящей работы является обоснование актуальности учета транспортных происшествий с судами, перевозящими опасные грузы, отличные от нефти и нефтепродуктов.

В данной работе был выполнен анализ статистических данных по объемам перевозок грузов по внутренним водным путям и транспортным происшествиям с судами. Из него следует:

- величина риска ТП с судами напрямую связана с объемами их перевозок;
- соотношение перевозимых нефтепродуктов и грузов, отличных от нефтепродуктов сопоставимо;
- анализ транспортных происшествий в Волжском и Камском бассейне за период с 1980 по 2018 гг. показал, что большая часть ТП приходится на сухогрузные суда;
- зафиксировано снижение на 2 % количества менее опасных ТП (посадка на мель) и увеличение на треть высоко опасных ТП (пожары и затопление);
- только за период с 2007 по 2018 год произошло 286 ТП с сухогрузным флотом (более 62 % от общего числа ТП) [3];
- за обозначенный период в 3 % случаев произошел аварийный сброс опасного груза в результате затопления или повреждения корпуса судна;
- распределение ТП по областям не равномерное и зависит от субъекта РФ;
- в среднем экологический вред от сбросов опасных грузов составляет около 2 млн руб. в год [4].

Политическая ситуация, связанная со специальной операцией в Украине, оказала негативное влияние на экономику России. В результате были нарушены логистические цепочки доставки грузов, введены запреты на ввоз комплектующих. Все введенные санкции сказались на работе не только производственных предприятий, но и на всех видах транспорта:

1 Сократился грузопоток особенно на морском и авиационном транспорте, особенно на балтийском направлении.

2 Сменилась география закупок и схемы доставки грузов. Наблюдается переориентация с европейских транспортных компаний на китайские и другие азиатские транспортные компании.

3 Остро стоит проблема ремонта и строительства транспортных средств на различных видах транспорта.

4 Из-за переориентации маршрутов на преимущественное использование железной дороги и смену логистических цепочек доставки грузов возникли серьезные проблемы использования транспортной инфраструктуры.

В результате перестроения логистических потоков «центр внимания» сместился на перевозку грузов в восточном направлении в сторону Китая, а также портов Азово-Черноморского бассейна и международного транспортного коридора «Север-Юг» (The International North-South Transport Corridor, INSTC). Соглашение о создании INSTC было подписано еще в 2000 году между Россией,

Индией и Ираном. Индия по нему уже вложила в инфраструктуру Ирана порядка 2,1 млрд дол. Однако как следует этот коридор до введения санкций, так и не работал.

Сейчас INSTC может позволить российским компаниям несмотря на наложенные на западные санкции наладить логистику перевозок грузов с Индией, Ираном, ОАЭ, Катаром, Пакистаном, Бангладеш. В сентябре этого года Россия, Азербайджан и Иран подписали Бакинскую декларацию по развитию INSTC. По прогнозу правительства ожидается к 2030 году рост объема перевозок в этом направлении на 60 %.

Кроме того, президент Беларуси А. Лукашенко в сентябре этого года подписал соглашение с Россией о сотрудничестве с РФ по перевозке грузов через российские порты. Уже сейчас есть договоренность о перевалке белорусских грузов через порт Мурманск, есть намерения об использовании портов Бронка и Большой порт Санкт-Петербурга (около 20 млн т грузов).

Основной грузопоток по INSTC – это экспорт из России и Беларуси и импорт в Россию. В качестве востребованных грузов будут запчасти для автомобилей и сельхозтехники, шины, различные химические грузы, моторные и смазочные масла и др. Ожидается, что сверху пойдут металл, зерно, пиломатериалы, продукты нефтехимии, удобрения, а снизу контейнеры с пищевыми грузами, электротехникой, запчастями.

Помимо указанного есть еще тенденции по появлению дополнительных новых грузопотоков. Так, в Ленинградской области (в районе КС «Портовая») компания «Газпром» начала производить СПГ. Произведено уже около 30 млн. тонн СПГ. В состав комплекса входят завод, морской терминал, способный обеспечить отгрузку СПГ в танкеры-газовозы различной вместимости и терминал для отгрузки на автотранспорт.

Чтобы этот коридор как следует заработал, нужна налаженная работа таких видов транспорта, как автомобильный, железнодорожный и водный. Спрос на увеличение объемов перевозок в этом направлении водным транспортом есть. Уже за первое полугодие 2022 года объем перевозок по внутренним водным путям вырос на 2 %. Грузооборот морских портов Азово-Черноморского бассейна не изменился, но объем перевалки сухих грузов составил 75,1 млн т (+0,3 % к прошлому году). Планируется строительство терминала в Мурманске для дополнительной перевалки белорусских калийных удобрений. Увеличились поставки метанола в Турцию (выросли в 8,5 раз до 50,5 тыс. т). Их дальнейший рост сдерживается достаточными перевалочными мощностями. Поэтому уже сейчас есть заявки на проекты по переуплотнению терминалов нефтепродуктов под перевалку метанола.

Прогнозируется рост объемов перевозок карбамида. Это связано с тем, что к вариантам продаж этого удобрения в страны Америки, Африки, Турцию и Индию могут прибавиться поставки на европейские рынки по причине закрытий европейских предприятий по производству азота из-за высоких цен на газ вследствие санкционной политики.

Таким образом, мы видим, что объемы перевозок опасных грузов не только не снизятся, но и скорее всего вырастут. В совокупности при существующей проблеме стареющего флота на фоне санкционной политики возможно увеличение ТП с судами, перевозящими такие грузы. Это подтверждает необходимость выполнения комплексных исследований по оценке воздействия ТП с опасными грузами на окружающую среду, разработки мероприятий технического и организационного характера по предупреждению и ликвидации таких аварий.

#### Список литературы

- 1 Особенности прогнозирования в бассейновых планах по предупреждению и ликвидации разливов нефти / В. С. Наумов [и др.] // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. – 2018. – № 57. – С. 41–51.
- 2 **Наумов, В. С.** Методология прогнозирования и анализа экологических последствий разливов нефти на внутренних водных путях / В. С. Наумов, А. Е. Пластинин // Великие реки 2016 : тр. научного конгресса 18-го Междунар. науч.-пром. форума : в 3 т. (отв. ред. А. А. Лапшин) Нижегородский гос. архит.-стр. ун-т. – 2016. – С. 330–332.
- 3 **Домнина, О. Л.** Оценка риска экологических последствий от транспортных происшествий с сухогрузными судами на примере Волжского бассейна / О. Л. Домнина // Морские интеллектуальные технологии. – 2022. – Т. 1. – № 1 (55). – С. 187–193.
- 4 **Батанина, Е. А.** Оценка возможного размера вреда при аварийных сбросах сыпучих грузов с судов / Е. А. Батанина, О. Л. Домнина // Морские интеллектуальные технологии. – 2021. – № 3–1 (53). – С. 192–199.

**К ВОПРОСУ УТИЛИЗАЦИИ НЕФТЯНЫХ ШЛАМОВ***Е. М. ЖУКОВСКИЙ, А. В. КОРОНЧИК**Белорусский национальный технический университет, г. Минск**Я. А. ДОБРЫНОВИЧ**ОАО «Банк развития Республики Беларусь», г. Минск*

Республика Беларусь имеет развитый нефтедобывающий и нефтеперерабатывающий комплекс. Действия по добыче, транспортировке и переработке нефти и нефтепродуктов неизбежно сопряжены с образованием отходов – нефтешламов.

По своему происхождению нефтешламы могут быть как отходами очистки емкостей, так и отходами очистки сточных вод. В любом случае они представляют собой сложную смесь, состоящую из нефти и нефтепродуктов и минеральных материалов.

Нефтяные шламы, которые образуются на предприятиях нефтепереработки и транспорта, в том числе на железной дороге, в настоящее время утилизируются путем складирования их в шламонакопителях. Однако данное решение нельзя рассматривать как постоянное и отвечающее времени, поскольку такое хранение нефтешламов вызывает ряд проблем, связанных с экологией и охраной окружающей среды.

В процессе хранения нефтешламов в шламонакопителях происходит процесс фильтрации нефтяных фракций в грунт, с последующим загрязнением почв, грунтовых и поверхностных вод, исключая их из последующего хозяйственного оборота [1].

На сегодняшний день имеются производственные комплексы, позволяющие перерабатывать нефтяные шламы. Такой комплекс имеется в том числе и на Белорусской железной дороге и размещен на промывочно-пропарочной станции Барбаров [2]. Основной принцип работы таких установок – сжигание шлама с последующим использованием минеральных остатков. Недостатком данного способа является необходимость значительных затрат на приобретение данной установки, а также загрязнение окружающей среды продуктами сгорания.

Таким образом, ключевым направлением в утилизации нефтяного шлама является его использование без дополнительного технологического воздействия, например нагревания или сжигания [1, 4].

Одним из возможных способов использования нефтешлама является его применение при устройстве конструктивных слоев из асфальтогранулята [3, 5]. На сегодняшний день при использовании асфальтогранулята в качестве материала основания для уплотнения добавляется вода. При этом асфальтогранулят выступает в роли инертного материала и его свойства, как материала, содержащего органическое вяжущее, не используются в полном объеме. Устройство слоев с асфальтогранулятом методом смешения, пропитки или полупропитки, где в качестве жидкости используется нефтешлам, позволяет включить каждую частицу асфальтогранулята в совместную работу, тем самым получив монолитный слой. Это происходит из-за того, что легкие фракции нефти, содержащиеся в нефтешламе, временно размягчают битумные пленки в асфальтогрануляте и фильтруются вглубь частиц.

Наиболее актуальным на сегодняшний день стоит вопрос обеспечения безопасности дорожного движения на автомобильных дорогах вследствие образования ямочности. Ежегодно на асфальтобетонных покрытиях образуется большое количество выбоин. Ключевая проблема заключается в том, что на сегодняшний день скорость заделки выбоин не столь высокая, как это необходимо. Это объясняется в первую очередь существующими материалами и технологиями, которые не могут обеспечить заданные показатели. Следовательно необходимо разработать материал для ремонта дорог, который позволит максимально быстро и без лишних затрат решить вопросы ремонта.

Авторами предлагается использование специальных смесей, которые не требуют выполнения большинства стандартных операций и нацелены в первую очередь на повышение скорости устранения проблемных участков и восстановление их конструктивно-технологической безопасности [6, 7]. В условиях ограниченного времени и большого количества запланированного объема работ необходимо при минимальных затратах и большой скорости достичь высоких результатов, и в таком случае возникает необходимость применения принципиально новых материалов.

Технологический процесс устранения выбоины включает в себя заполнение выбоины ремонтным материалом с некоторым запасом на уплотнение, которое может производиться притаптыванием, а окончательное уплотнение происходит под воздействием движущегося транспорта.

В основе материала лежит композит минеральных материалов с нефтешламом. Для получения конечного продукта необходимо применять ряд специальных добавок, увеличивающих адгезию и сплошность, достигая заданных характеристик. Смесь на выходе получается готовой к применению и не требует предварительного перемешивания. Применение данных смесей играет важную роль для экологической безопасности, поскольку решает в том числе вопросы утилизации нефтяного шлама.

Данный материал является временным, и не сможет достаточно долго подвергаться воздействию высокой транспортной нагрузки, а также многочисленным циклам замораживания-оттаивания, продолжительного насыщения материала водой. Поэтому данный материал следует применять в наиболее неблагоприятных условиях, когда необходимо повысить безопасность движения и не допустить дальнейшего разрушения дороги с последующей его заменой на горячие асфальтобетонные смеси. Использованный материал может быть использован повторно, в качестве добавки при приготовлении новых партий для последующего ремонта.

Все это будет способствовать обеспечению экологической безопасности транспортного комплекса.

#### Список литературы

1 **Жуковский, Е. М.** Способы утилизации отходов нефтепереработки в дорожном строительстве / Е. М. Жуковский, А. А. Куприянич // Наука – образованию, производству, экономике : материалы 17-й междунар. науч.-техн. конф. (72-й научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных работников, докторантов и аспирантов БНТУ) [Электронный ресурс] / Белорус. нац. техн. ун-т, Факультет транспортных коммуникаций ; редкол.: С. Е. Кравченко (гл. ред.) [и др.]. – Минск : БНТУ, 2019. – С. 21.

2 Нефтешламы – в дело, цистерны – в помывку [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [https://www.rw.by/corporate\\_press\\_center/reportings\\_interview\\_article/2014/03/nefteshlami\\_v\\_delo\\_cisterni\\_v\\_](https://www.rw.by/corporate_press_center/reportings_interview_article/2014/03/nefteshlami_v_delo_cisterni_v_). – Дата доступа : 23.08.2021.

3 **Жуковский, Е. М.** Использование отходов отчистки ёмкостей нефти и нефтепродуктов (нефтешлама) для устройства конструктивных слоёв дорожных одежд на автомобильных дорогах Республики Беларусь / Е. М. Жуковский, Я. А. Добрынович, А. А. Куприянич // Дорожное строительство и его инженерное обеспечение : материалы Междунар. науч.-технич. конф. / Белорус. нац. техн. ун-т ; редкол. : С. Е. Кравченко (гл. ред.) [и др.]. – Минск : БНТУ, 2020. – С. 39–42

4 **Куприянич, А. А.** Использование нефтяных шламов в дорожном строительстве / А. А. Куприянич, Е. М. Жуковский, Я. А. Добрынович // Проблемы и перспективы развития автомобильных дорог СНГ [Электронный ресурс] : материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 90-летию Леоновича Ивана Иосифовича / ред. : С. Н. Соболевская, Е. В. Богданова. – Минск : БНТУ, 2019. – С. 146–149.

5 **Жуковский, Е. М.** Применение нефтешлама при устройстве конструктивных слоев дорожных одежд / Е. М. Жуковский, Я. А. Добрынович // Новые горизонты – 2021 : сб. материалов VIII Белорусско-Китайского молодежного инновационного форума, 11–12 ноября 2021 года / Белорус. нац. техн. ун-т. – Минск : БНТУ, 2021. – Т. 1. – С. 117–119.

6 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.) / Белорус. нац. техн. ун-т. – Минск : БНТУ, 2022. – С. 122–124.

7 **Жуковский, Е. М.** Зимний аварийный ремонт выбоин на дорожных покрытиях / Е. М. Жуковский, А. В. Корончик // Новые технологии – нефтегазовому региону : материалы Междунар. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. Тюмень, 30 мая 2022 года. В IV томах. – Тюмень : Тюменский индустриальный ун-т, 2022. – С. 234–237.

УДК 502

## ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

*Т. А. ЗОТОВА*

*Оренбургский институт путей сообщения филиал Самарского государственного университета путей сообщения, Российская Федерация*

Железнодорожный транспорт оказывает постоянное воздействие на окружающую среду. Уровень влияния может находиться в пределах приемлемого равновесия и кризисных пределов. Характер воздействия транспорта на окружающую среду определяется составом технологических факторов, интенсивностью их воздействия, экологическим весом воздействия на элементы природы.



Технологическое воздействие может быть локальным от одного фактора или комплексным – от набора различных факторов, характеризующихся экологическими весовыми коэффициентами, которые зависят от типа воздействия, его характера и предмета воздействия. Большой расход воды на производственные нужды железнодорожного транспорта и недостаточно рациональное ее использование в производственных процессах является одним из основных недостатков в эксплуатации железнодорожного водоснабжения. На предприятиях железнодорожного транспорта в основном используются прямоточные системы водоснабжения, в которых вода используется только один раз. Количество тренировочных пунктов увеличивается с каждым годом.

Железнодорожный транспорт потребляет более 1 млрд м<sup>3</sup> воды в год, из которых около 600 млн м<sup>3</sup> в год проходит в канализацию. Из общего объема сточных вод около 160 млн м<sup>3</sup> сбрасывается в поверхностные водные бассейны, в том числе 130,5 млн м<sup>3</sup> загрязненной воды. Ежегодно около 400 тыс. т вредных веществ, основу которых составляют твердые (сажа, зола, пыль) и газообразные (оксиды азота, серы, углерода) примеси, выбрасывается в атмосферный воздух из стационарных источников (котельных, пескосушилок, моечных и паровых установок, щебня и растений и др.). Системы газоочистки и пылеулавливания, работающие на транспортных предприятиях, ежегодно улавливают около 30 % вредных примесей, большую часть которых составляют твердые частицы. К сожалению, это не позволяет нам гарантировать полное соблюдение санитарного качества атмосферного воздуха. Подвижной состав дизельного топлива оказывает определенное влияние на загрязнение атмосферного воздуха.

Деятельность железнодорожного транспорта оказывает наибольшее воздействие на атмосферу в районах, где в качестве локомотивов работают тепловозы с дизельными силовыми установками. Таким образом, основным источником загрязнения атмосферы при эксплуатации подвижного состава являются выхлопные газы тепловозов. 97–98 % токсичных веществ от их общего объема выбросов выделяется с выхлопными газами. Остальные 2–3 % составляют картерные газы и пары топлива. Что касается переоборудованных локомотивов, то выброс токсичных веществ из таких машин несколько выше, чем из поезда (магистрала). Рециркуляция отработавших газов значительно уменьшает объем оксидов азота, то есть их частичное направление со следующей порцией горючей смеси в цилиндры. При превышении 1/3 выхлопных газов выброс оксидов азота увеличивается втрое, но они обеспечиваются за счет снижения мощности на 35 %, ухудшения топливной экономичности на 25 % и увеличения выбросов сажи в 3 раза.

Периодическая чистка изоляторов занимает много времени и часто связана с необходимостью снятия напряжения. С целью уменьшения ущерба, наносимого загрязнением изоляторов, ведется поиск новых материалов для изоляторов, новых форм изоляторов с отверстиями специальной конфигурации, исследуются условия взаимодействия комплекса «проводник – изолятор» с целью снижения затрат и вероятности аварий. На некоторых участках возникла проблема загрязнения пути и прилегающей почвы углем, рудной пылью, а также некоторыми другими веществами (соль, нефтепродукты) из-за утечки этих грузов через неплотность кузовов вагонов и сдувание пылеобразных фракций ветром во время движения.

Для того чтобы сократить эти потери и снизить уровень загрязнения биосферы, помимо ужесточения требований соответствующих служб к надлежащему содержанию вагонов, необходимы технические меры, в частности, расширение парка полувагонов с жестким дном, использование различных вяжущих для образования корки на поверхности сыпучих (наливных) грузов, использование пленок, покрывающих груз, создание новых специальных типов адаптированного подвижного состава для безопасной перевозки отдельных грузов. Однако даже при решении всех вопросов, связанных с реализацией этих направлений, вряд ли удастся полностью устранить загрязнение водоемов и атмосферного воздуха. Развитие человеческого потенциала и создание индустриальных методов управления привели к формированию глобальной технической сферы, одним из элементов которой является железнодорожный транспорт.

Природная среда в работе элементов Техносферы является источником сырья, энергоресурсов и пространством для закладки своей инфраструктуры. Работа любого элемента технической сферы, в том числе железнодорожного транспорта, должна основываться на следующих принципах:

1 Провести количественную и качественную оценку общего и местного потребления природных ресурсов на основе местных, региональных и федеральных возможностей.

2 Провести количественную и качественную оценку влияния различных видов деятельности компании на состояние экосистем, природных комплексов и природных ресурсов.

3 Нормализация уровня антропогенного воздействия различных видов деятельности компании, в том числе объектов железнодорожного транспорта, на природную среду.

4 Обеспечение баланса в круговороте веществ и энергии за счет уменьшения воздействия на природу, основанного на ее возможностях самоочищения и воспроизводства.

5 Снижение воздействия на природную среду с использованием различных методов и средств очистки выбросов в атмосферу, жидких отходов в резервуарах, промышленных отходов, физического излучения.

6 Создание экологически чистых производств, технологий, подвижного состава, оборудования и транспортных систем.

7 Использование методов охраны окружающей среды в функционировании отраслей промышленности и объектов железнодорожного транспорта путем осуществления природоохранных мероприятий и внедрения технологических средств.

8 Непрерывный мониторинг состояния окружающей среды.

9 Использование экономических методов в управлении охраной окружающей среды и рациональным использованием природных ресурсов.

10 Неотвратимость ответственности за нарушение норм, правил и законов, связанных с охраной окружающей среды.

Железнодорожный транспорт занимает первое место среди других видов транспорта по объему грузовых перевозок и второе место после автомобильного транспорта по объему пассажирских перевозок.

Успешное функционирование и развитие железнодорожного транспорта зависит от состояния природных комплексов и наличия природных ресурсов, развития инфраструктуры искусственной среды, социально-экономической среды общества. Состояние окружающей среды при взаимодействии с объектами железнодорожного транспорта зависит от инфраструктуры железнодорожного строительства, производства подвижного состава, производственного оборудования и других устройств, интенсивности использования подвижного состава и других объектов на железной дороге, результатов научных исследований и их внедрения на предприятиях и сооружениях отрасли. Строительство и эксплуатация железных дорог связаны с загрязнением природных комплексов выбросами, сточными водами и отходами, что не должно нарушать баланс в экосистемах.

#### Список литературы

1 Охрана окружающей среды и экологическая безопасность на железнодорожном транспорте : учеб. пособие / Н. И. Зубрев [и др.]. – М. : УМК МПС России, 1999. – 592 с.

2 Ключкова, Е. А. Промышленная, пожарная и экологическая безопасность на железнодорожном транспорте / Е. А. Ключкова. – М. : УМЦ ЖДТ, 2008. – 456 с.

3 Крупенин, Н. Н. Управление природоохранной деятельностью на железнодорожном транспорте : учеб. пособие / Н. Н. Крупенин. – М. : Маршрут, 2004. – 32 с.

УДК 620.168

## ИСПЫТАНИЕ КОМПОЗИТНЫХ ШПАЛ: ДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

*А. Р. КОНОВАЛОВА, Д. И. ПОНАМАРЕНКО*

*Самарский государственный университет путей сообщения, Российская Федерация*

Одной из наиболее опасных экологических угроз для нашей планеты является захламление ее пластмассовыми отходами [1]. Универсальным решением этой проблемы служит организация производств по переработке вторичного сырья. Для железнодорожной сферы в России – это очень актуально, так как наша страна состоит в пятерке мировых рекордсменов, имеющих самую протяженную сеть железных дорог.

Верхнее строение пути включает в себя такой элемент, как шпалы. Основными материалами, из которых их изготавливают, являются дерево и железобетон. Отличной альтернативой деревянным и

железобетонным шпалам предлагаются композитные. Они перекроют большинство недостатков традиционных, а главное – станут востребованным материалом, для изготовления которого будет использоваться переработанная пластмасса. Преимущества:

- срок службы композитных шпал до 50 лет;
- повышенная стойкость к климатическим изменениям, солнечному излучению, микроорганизмам и насекомым;
- высокое удельное электрическое сопротивление;
- экологически безопасны;
- не требуют новых технологий и оборудования по замене и монтажу.

Для изготовления композитных шпал можно применять различные технологии производства, в основе которых будет лежать обработка заранее подготовленной смеси переработанного вторичного сырья, асфальтового компонента и армирующего материала. Пригодный для использования пластмассовый компонент можно выбирать из широкого ассортимента [2].

Чтобы проверить, отвечают ли полимерные композиционные шпалы требованиям достаточной прочности, было проведено испытание в системе автоматизированного проектирования SolidWorks.

**Динамический расчет.** При проведении расчета выставим количество частот, равное 3 Гц. Это объясняется тем, что нам необходимо, чтобы массовое участие нашей сборки было около 95 %. Если не соблюдать данное условие, мы получим некорректные данные.

Для проверки массового участия запускаем Simulation, «Частота 1» и расчет. Проверяем соблюдение условий. При необходимости изменяем частоту в большую или меньшую сторону. В нашем случае массовое участие по всем осям составило 1.

Упростим наши расчеты. Вместо всей сборки рассчитаем только одну шпалу. Заменяем рельсы с накладками на вырез с точным посадочным местом и начнем на него прикладывать нагрузку, которая будет имитировать движение поезда. Шпалу, отобранную для испытания, проверяем в обоих подрельсовых сечениях по схеме, показанной на рисунке 1 [3, 9].

Запускаем Simulation – «Расширенные параметры», «Линейная динамика», «Модальная временная история». Считаем балластное покрытие идеальным. Прикладываем динамическую нагрузку в посадочные места. Величину силы берем из свода правил [4, 3]: «...для пропуска пассажирских поездов со скоростью до 200 км/ч включительно и грузовых поездов со скоростью до 120 км/ч включительно с вагонами, имеющими статические осевые нагрузки до 245 кН/ось (25 тс/ось) и погонные по осям сцепления до 102,9 кН/м (10,5 тс/м), динамическую нагрузку на железнодорожный путь от тележки до 167,6 кН/м (17,1 тс/м)».

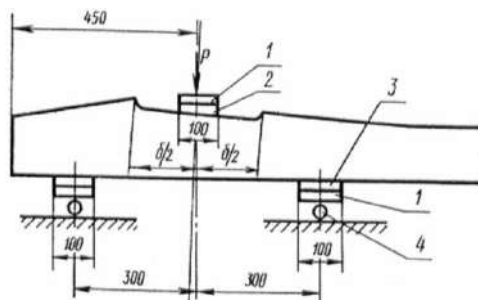


Рисунок 1

Проверяем диапазон времени. Необходимо, чтобы он совпадал со временем графика нагрузки. Была выставлена кривая времени и настроены параметры действия (рисунок 2).

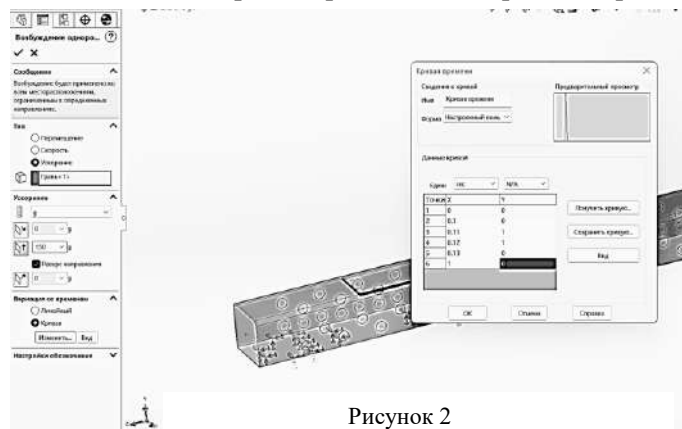


Рисунок 2

После расчета частоты проверим пик отклика. Его определяем из диаграммы в модальном анализе. Видно, где наибольшее перемещение, там и наибольшее ускорение. Необходимая нам точка находится в середине балки – выбираем и рассчитываем ее. Для этого выводим график отклика. Выбираем точку, ставим ускорение, составляющая Y. По графику определяем, достаточен ли шаг по времени или нет. Если график затухания плавный, то оставляем все, как есть. В ином случае потребуется уменьшить шаг в несколько раз, пока не получим

необходимый график. Установим возбуждение основания «Ускорение» – «g» и расчет. Определяем деформацию балки под нагрузками, а также напряжения (рисунок 3).

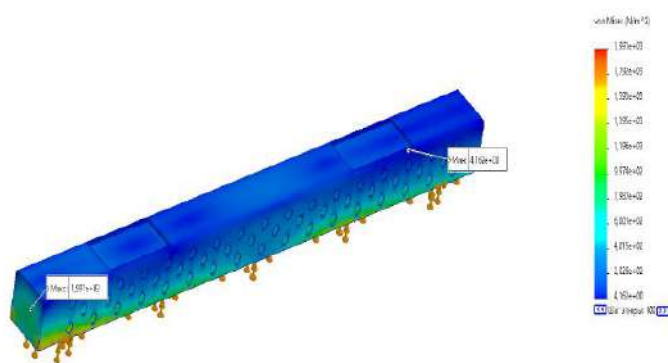


Рисунок 3

Из приведенных выше расчетов и исследований можно понять, что композитные шпалы доказывают свою эффективность и работоспособность. Также следует отметить, что они предполагают снижение шума и вибрации, вследствие чего уменьшаются разрушения железнодорожного полотна, минимизируется текущее обслуживание и сократится количество ремонтов. Таким образом, композитные шпалы являются достойными претендентами на замену укоренившимся деревянным и железобетонным, учитывая все приве-

денные выше достоинства, а также способствует решению системной экологической проблемы Земли.

#### Список литературы

- 1 Коновалова, А. Р. Композитные шпалы / А. Р. Коновалова, Д. И. Пономаренко // 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.
- 2 Патент RU2540641C2 / Композиция и способ для производства железнодорожных шпал // Брайан АБРАМСОН, Джеймс Р. ИНГЛИС – опубл. 10.02.2015. – С. 9. – Режим доступа : <https://patents.google.com/patent/RU2540641C2/ru>.
- 3 ГОСТ 21174-75. Шпалы железобетонные предварительно напряженные для трамвайных путей широкой колеи. – М. : Изд-во стандартов, 1976. – С. 8–11.
- 4 СП 238.1326000.2015. Железнодорожный путь. – М., 2015. – С. 3.

УДК 504.06+658.567.1

## СНИЖЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ НА ВОДНОМ ТРАНСПОРТЕ ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ ФАНДОМАТОВ

*М. Ю. КОЧЕТКОВА*

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

*Д. Е. АРХИПОВ*

*Нижегородское отделение Всероссийского общества охраны природы, Российская Федерация*

*А. Н. БОРОДИН, А. Е. ПЛАСТИНИН*

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

Распоряжением Правительства Российской Федерации от 25.07.2017 г. № 1589-р «Об утверждении перечня отходов, в состав которых входят полезные компоненты, захоронение которых запрещается» начался этап перехода на отдельный сбор мусора. С 1 января 2019 года стартовала «Мусорная реформа». С июля 2019 года был дан старт программе по отдельному сбору твердых коммунальных отходов.

В данной работе рассматриваются вопросы применения фандоматов на объектах внутреннего водного транспорта в целях снижения экологической нагрузки на водном транспорте.

Анализ литературных источников показал, что на современном этапе остро стоит проблема обеспечения экологической безопасности на внутренних водных путях [1–3]. Главным направлением решения рассматриваемой проблемы является снижение антропогенного воздействия отходов на водном транспорте, особенно при перевозках грузов и пассажиров, что возможно обеспечить путем сокращения количества не перерабатываемых видов отходов путем применения фандоматов [4–6].

Цель данного проекта является снижение негативного воздействия за счет увеличения доли направляемых на вторичную переработку отходов путем организации комплекса услуг по утилиза-

ции и переработке вторичного сырья в речных портах с помощью сети автоматизированных приемных комплексов.

В таблице 1 представлен фрагмент базы данных, созданной для оценки объемов накопления отходов на судах.

Таблица 1 – Фрагмент базы данных для оценки объемов накопления отходов на судах

Название или номер судна	№ проекта	Количество людей на борту, чел.	$V_m$	Автономность $T_m$ , сут	Объем за время автономности	Навигация, сут	Длительность навигации / автономности	Объем за навигацию, $m^3$
Валдай-45Р	23180	47	0,053	6,3	0,3339	150	23,80952	7,95
Октябрьская революция	26-37	298	2,040	2,26	4,6104	150	66,37168	306
Космонавт Гагарин	588-III	247	1,500	4,5	6,75	150	33,33333	225
Александр Пушкин	PV25	300	2,400	5,4	12,96	150	27,77778	360
Алдан	305	200	1,700	2,7	4,59	150	55,55556	255

В составе базы отражены: название судна, объем судовых емкостей для сбора мусора, класс регистра, тип судна, проект, валовая вместимость, дедвейт, количество людей на борту, год постройки, автономность судна по мусору [7–9].

В работе произведен расчет объемов накопления отходов за время, равное автономности плавания по мусору и в целом за навигацию. Результаты представлены в таблице 1.

Анализ полученных данных показал, что при эксплуатации судов образуется значительное количество мусора. Например, для судов проекта 26–37 объем накопления превышает  $300 m^3$ . Поэтому можно сделать вывод о высоком уровне экологической опасности и необходимости сокращения количества не перерабатываемых отходов путем применения фандоматов.

#### Список литературы

- 1 **Reshnyak, V.** Evaluating environmental hazards of the potential sources of accidental spills / V. Reshnyak, O. Domnina, A. Plastinin. – doi:10.1088/1755-1315/867/1/012046 [Электронный ресурс] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021 / Earth Sciences: History, Contemporary Issues and Prospects, ESHCIP 2021 : International Symposium IOP Publishing Ltd. – 2021. – С. – 012046. – Режим доступа : <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/867/1/012046/pdf>. – Дата доступа : 15.09.2022.
- 2 Проблемы экономической безопасности: новые решения в условиях ключевых трендов экономического развития / М. Стуть [и др.]; М-во науки и высшего образования Российской Федерации; Южно-Уральский гос. ун-т, кафедра «Экономическая безопасность». – Челябинск : Изд. центр ЮУрГУ, 2020. – 461 с.
- 3 Сравнительная динамика изменения качества дистиллированной и природной воды при длительном контакте с некоторыми судовыми конструкционными материалами / Н. Ш. Ляпина [и др.] [Электронный ресурс] // Вестник Волжской гос. академии водного транспорта. – 2005. – № 12. – С. 171–176. – Режим доступа : <https://elibrary.ru/item.asp?id=18411334>. – Дата доступа : 15.09.2022.
- 4 Проблемы экономической безопасности: новые глобальные вызовы и тенденции / Л. М. Анохин [и др.]; М-во науки и высшего образования Российской Федерации; Южно-Уральский гос. ун-т; кафедра «Экономическая безопасность». – Челябинск : Южно-Уральский гос. ун-т (национальный исследовательский университет), 2021. – 715 с.
- 5 **Кочеткова, М. Ю.** Экологическое состояние рек города Нижнего Новгорода на примере реки Борзовки / М. Ю. Кочеткова, Р. А. Кочетков [Электронный ресурс] // Проблемы экологии Волжского бассейна : Труды 5-й всероссийской науч. конф. («ВОЛГА-2020»). Вып. 3. – Нижний Новгород : ФГБОУ ВО «ВГУВТ», 2020. – С. 15. – Режим доступа : [http://вф-река-море.рф/ECO/2020/PDF\\_ECO/eco15.pdf](http://вф-река-море.рф/ECO/2020/PDF_ECO/eco15.pdf). – Дата доступа : 15.09.2022.
- 6 Оценка воздействия разливов нефти на экологически чувствительные районы в Печорском бассейне / Е. Ю. Шматкова [и др.] [Электронный ресурс] // Великие реки – 2020 : Труды 22-го междунар. науч.-пром. форума, Нижний Новгород, 27–29 мая 2020 года. – Нижний Новгород : Волжский гос. ун-т водного трансп., 2020. – С. 18. – Режим доступа : [https://www.elibrary.ru/download/elibrary\\_44631516\\_19167764.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_44631516_19167764.pdf). – Дата доступа : 15.09.2022.
- 7 Определение координат пятна дизельного топлива при затоплении судна в порту / Б. М. Ташимов [и др.] [Электронный ресурс] // Транспорт. Горизонты развития : Труды 1-го Междунар. науч.-промыш. форума, Нижний Новгород – Новосибирск, 25–28 мая 2021 года. – Нижний Новгород : Волжский гос. ун-т водного трансп. (ФГБОУ ВО "ВГУВТ"), 2021. – С. 46. – Режим доступа : [http://вф-река-море.рф/2021/PDF/4\\_5.pdf](http://вф-река-море.рф/2021/PDF/4_5.pdf). – Дата доступа : 15.09.2022.
- 8 Определение участков концентрации транспортных происшествий с участием судов в Республике Татарстан / Е. А. Батанина [и др.] [Электронный ресурс] // Морские интеллектуальные технологии. – 2020. – № 4–1 (50). – С. 161–168. – Режим доступа : <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44517000>. – Дата доступа : 15.09.2022.
- 9 **Кочетков, Р. А.** Экологическое состояние пляжей на территории г. Нижнего Новгорода // Р. А. Кочетков, М. Ю. Кочеткова [Электронный ресурс] // Проблемы экологии Волжского бассейна : труды 5-й всероссийской науч. конф. («ВОЛГА-2020»). Вып. 3. – Нижний Новгород : ФГБОУ ВО «ВГУВТ», 2020. – С. 14. – Режим доступа : [http://вф-река-море.рф/ECO/2020/PDF\\_ECO/eco14.pdf](http://вф-река-море.рф/ECO/2020/PDF_ECO/eco14.pdf). – Дата доступа : 15.09.2022.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЗАПАЛЬНОЙ ДОЗЫ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА НА РАБОТУ ТЕПЛОВОЗНОГО ГАЗОДИЗЕЛЯ

*А. А. КУЛЕШОВ, В. А. МАРКОВ*

*Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана, Российская Федерация*

*В. В. ФУРМАН, С. В. ПЛАХОВ*

*Общество с ограниченной ответственностью «ППП Дизельавтоматика»,  
г. Саратов, Российская Федерация*

Эффективным направлением совершенствования тепловозных дизелей является их конвертирование на природный газ (ПГ). При этом необходимо решить проблему воспламенения природного газа в камере сгорания (КС) дизеля. Обеспечение надежного воспламенения ПГ достигается путем подачи в КС запальной дозы нефтяного дизельного топлива (ДТ). Это объясняется большей энергетикой сгорания запальной дозы ДТ по сравнению с энергетикой воспламенения ПГ от свечи зажигания, более мягким сгоранием рабочей смеси. Возможна реализация газодизельного процесса в уже находящихся в эксплуатации дизелях при незначительной их модернизации. По мощностным и топливно-экономическим показателям современные газодизельные двигатели близки к жидкотопливным, а по токсичности отработавших газов (ОГ) и износу основных деталей двигатели имеют значительные преимущества. Реализация указанных потенциальных преимуществ газодизельных двигателей невозможна без управления параметрами топливоподачи. Многофункциональное взаимосвязанное управление параметрами топливоподачи целесообразно осуществлять с использованием современных электронных систем автоматического управления (САУ). При этом важнейшим параметром процесса топливоподачи газодизельных двигателей является величина запальной дозы нефтяного ДТ.

Проектно-производственное предприятие ООО «ППП Дизельавтоматика» (г. Саратов) разработало несколько систем электроуправляемой подачи ПГ и ДТ для дизелей, работающих по газодизельному циклу. Одной из них является САУ типа СУДМ.03 для тепловозных газодизелей. Обязательным условием эффективного функционирования этой САУ является реализация оптимизированных характеристик топливоподачи, включая величину запальной дозы ДТ. При этом необходимо определить влияние этой дозы на показатели топливной экономичности и токсичности ОГ двигателя. Это исследование проведено с использованием программного комплекса (ПК) Дизель-РК, разработанного в МГТУ им. Н. Э. Баумана и предназначенного для моделирования рабочих процессов двигателей внутреннего сгорания. В ПК Дизель-РК реализована многозонная модель процессов смесеобразования и сгорания, трехзонная модель сгорания в газодизеле, несколько моделей теплообмена, 1D-модель газообмена, модель двухступенчатого турбонаддува с охлаждением надувочного воздуха, модель расчета эмиссии оксидов азота  $\text{NO}_x$  с использованием детального кинетического механизма, модель расчета эмиссии сажи и твердых частиц и др.

Объектом расчетных исследований являлся газодизельный двигатель, созданный на базе дизеля типа Д50 (6 ЧН 31,8/33) производства АО «Пензадизельмаш», используемого на тепловозах типа ТЭМ18ДМ. Расчетные исследования этого двигателя проведены для режима полной мощности  $N_e = 1000$  кВт при  $n = 750$  мин<sup>-1</sup> при его работе на ПГ с воспламенением смеси от запальной дозы ДТ, подаваемого штатной системой топливоподачи. При этом запальная доза ДТ установлена в количестве (с учетом разницы теплоты сгорания рассматриваемых топлив) – 5, 10, 15 и 20 %. В САУ типа СУДМ.03 реализуется фазированная подача ПГ во впускной канал с помощью электроуправляемого клапана. Давление ПГ в магистрали его подачи в клапанные каналы задавалось на 0,1 МПа выше, чем давление наддува. При этом максимальный расход газа рассчитан исходя из геометрии проточной части клапана (9 отверстий по 5 мм диаметром) и перепада давлений в нем. Форма характеристики подачи газа от угла поворота кривошипа принята трапециевидной с продолжительностью нарастания расхода ПГ 3° поворота коленчатого вала (п.к.в.). На режиме полной мощности начало подачи газа принято: 300° п.к.в. до верхней мертвой точки (ВМТ) сгорания и продолжительностью не более 100° п.к.в. В расчет заложено, что запальные порции ДТ подаются штатной топливной системой при давлении впрыска 100 МПа. Для настройки математической мо-

дели ПК Дизель-РК использовались данные, полученные АО «Пензадизельмаш» при испытаниях дизеля на восьми режимах тепловозной характеристики.

Геометрия развивающейся запальной струи ДТ и скорость ее сгорания рассчитаны в рамках РК-модели. Для экстраполяции дальнобойности струи после окончания впрыска использована упрощенная формула Куо. Угол раскрытия струи оценивался по уравнениям Лышевского. Степень расширения струи рассчитана по эмпирическому уравнению с учетом объема КС и давления впрыска. Температура в зоне горения запальной дозы ДТ рассчитана исходя из массы рабочего тела этой зоны струи и с учетом параллельного с ДТ выгорания природного газа, находящегося в зоне струи (для газа использована формула Вибе). По ходу развития процесса вычислялась температура как в зоне остального, не начавшего гореть, газа (использована двухзонная модель), так и в зоне активации сгорания ПГ. В двух зонах из трех (в зоне активации и в зоне несгоревшего газа) проведен расчет детальной химической кинетики предпламенных реакций с накоплением величины интеграла *Livengood-Wu* (*LW*), определяемого в виде:

$$LW = \int_0^{\tau_i} \frac{d\tau}{k_{knock} \tau_{IT}},$$

где  $\tau$  – время;  $\tau_i$  – период задержки воспламенения;  $k_{knock}$  – коэффициент, принятый равным 1,7. Зона выгоревшей смеси резко увеличивается из-за добавления массы выгорающего ПГ вне зоны струи ДТ. Если в зоне несгоревшей смеси величина интеграла *Livengood-Wu* достигнет единицы, то это означает начало детонации.

Опережение впрыска  $\theta$  запальной дозы ДТ выбиралось для каждого случая на основании проведения оптимизационного исследования с использованием метода двухфакторного численного эксперимента. В каждом таком исследовании значение  $\theta$  варьировалось от 2 до 22° п.к.в. до ВМТ, а степень повышения давления наддува  $\pi_k$  изменялось от 1,4 до 1,9. На режиме полной мощности двигатель имеет среднее эффективное давление  $p_e \approx 1$  МПа. Для бездетонационной работы и устойчивого воспламенения ПГ на этом режиме можно работать с коэффициентом избытка воздуха  $\alpha$  от 1,5 до 2,1. При этом можно сохранить существующий турбокомпрессор с  $\pi_k = 1,77$ . В связи с меньшей, чем у ДТ продолжительностью сгорания ПГ, угол опережения впрыска запальной порции должен быть значительно меньше, чем у базового дизеля.

Расчетные данные по двигателю, работающему на режиме полной мощности  $N_e = 1000$  кВт при  $n = 750$  мин<sup>-1</sup> на нефтяном ДТ и на ПГ с запальной дозой ДТ показывают, что эффективный КПД  $\eta_e$  исходного дизеля и газодизеля оказались достаточно близкими. Различия в значениях эффективного КПД исследуемого дизеля при изменениях дозы впрыскиваемого ДТ не превышают 2,7 %. Но при этом перевод дизеля на газодизельный цикл существенно снижает дымность ОГ  $K_X$  (на величину до 90 %), уменьшает удельные массовые выбросы с ОГ оксидов азота  $e_{NOx}$  (на величину до 18 %) и углекислого газа  $e_{CO_2}$  (на величину до 23 %).

Результаты расчетных исследований могут быть сведены к следующим основным выводам:

– результаты проведенного с использованием ПК Дизель-РК расчетного исследования влияния запальной дозы дизельного топлива на рабочий процесс газодизельного двигателя, созданного на базе дизеля типа Д50 (6 ЧН 31,8/33), хорошо согласуются с экспериментальными данными по этому двигателю;

– из-за интенсивной продувки цилиндра в исследуемом газодизельном двигателе целесообразно использовать фазированную подачу природного газа во впускную систему этого двигателя с помощью электронно-управляемого клапана системы типа СУДМ.03;

– для реализации газодизельного рабочего процесса целесообразно снабжать двигатель новыми элементами, среди которых клапаны подачи газа, газовые трубки с двойными стенками, система электронного управления подачей газа, система анализа отработавших газов для контроля значений коэффициента избытка воздуха  $\alpha$ , система контроля детонации, воздушная заслонка для регулирования значения  $\alpha$ .

– при переводе исследуемого двигателя на газодизельный цикл работы эффективный КПД  $\eta_e$  двигателя изменяется незначительно, но при этом существенно улучшаются показатели токсичности отработавших газов – дымность ОГ, удельные массовые выбросы с ОГ оксидов азота и углекислого газа.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ НА ПРИМЕРЕ ОРГАНИЗАЦИЙ МИНТРАНСА

*С. В. ЛЯХОВ, И. П. ГОНЧАРОВ, С. В. ЕРМОЛЕНКО*  
*Белорусский научно-исследовательский институт транспорта*  
*(БелНИИТ «Транстехника»), г. Минск*

В настоящее время потенциал низкозатратных и краткосрочных энергосберегающих мероприятий в транспортном комплексе практически исчерпан. Достигнуть значительной экономии топливно-энергетических ресурсов (далее – ТЭР) можно при условии проведения технического переоснащения основных производств, замены энергоемкого оборудования, внедрения новых энергоэффективных технологий. Указанные мероприятия требуют вложения значительных объемов финансовых средств и реализуются в течение продолжительного времени.

Направлением увеличения доли возобновляемых источников энергии (далее – ВИЭ) в котельно-печном топливе является увеличение объемов производства тепловой и электрической энергии собственными энергоисточниками за счет использования энергии солнца, воды, тепла земли и воздуха.

Использование ВИЭ в непосредственной близости от потребителя позволяет не только повысить надежность энергоснабжения потребителя, но и на 3–5 % снизить потери электроэнергии при ее передаче в электрических сетях.

Лидерами Минтранса по использованию энергии солнца, воды, тепла земли и воздуха являются Государственное объединение «Белорусская железная дорога» (далее – БЖД) и Республиканское унитарное эксплуатационно-строительное предприятие «Днепро-Бугский водный путь».

В таблице 1 представлены данные Национального статистического комитета Республики Беларусь по выработке энергии от ВИЭ гелионагревательных установок, фотоэлектрических комплексов, тепловых насосов и малых гидроэлектростанций (далее – мини-ГЭС) организаций Минтранса. Как видно из таблицы 1, за первое полугодие 2022 года относительно первого полугодия 2021 года суммарная выработка энергии от указанных видов ВИЭ увеличилась на 11 %.

*Таблица 1 – Показатели выработки энергии от гелионагревательных установок, фотоэлектрических комплексов, тепловых насосов и мини-ГЭС*

Организация	Тепловая энергия, Гкал			Электрическая энергия, тыс. кВт·ч			Пересчет в тонны условного топлива (т у.т.)		
	2021 год	2022 год	изменение, %	2021 год	2022 год	изменение, %	2021 год	2022 год	изменение, %
БЖД с ОАО*	1586	1549	–2,3	2	2	0	227	222	–2,3
Водный транспорт	0	0	0	2057	2528	22,9	253	311	22,9
<b>Минтранс</b>	1586	1549	–2,3	2059	2530	22,9	480	533	11,0

\* Открытые акционерные общества, акции которых переданы в управление БЖД.

БЖД имеет большой опыт использования гелиоводонагревательных установок. Всего на БЖД по состоянию на первую половину 2022 года действует 154 ед. гелионагревательных установок и 36 ед. тепловых насосов. Это энергоэффективное оборудование за январь – июнь 2022 года произвело 1549 Гкал тепловой энергии. В эквиваленте это составляет 222 – т у.т., что составляет 3,2 % от общей доли ВИЭ организаций Минтранса (7037 т у.т.).

На БЖД активно внедряются и тепловые насосы [1, 2]. Впервые Белорусская железная дорога установила в 2010 году небольшой тепловой насос для отопления в здании остановочного пункта Крыжовка.

На станции Минск-Северный с 2014 года функционируют три тепловых насоса типа «воздух-вода» для горячего водоснабжения. С установкой тепловых насосов с апреля по октябрь моторвагонное депо полностью отключает подачу тепловой энергии от городской сети. Экономия на оплате энергоресурсов составляет около 14 тыс. рублей в год.



В диспетчерской автопарка Минского отделения БЖД в Колядичах работает тепловой насос еще более эффективно [2]. Если в предыдущем примере (моторвагонное депо) из 1 кВт электроэнергии можно получить 3 кВт тепловой, то тут соотношение составляет 1 к 5. Это достигается за счет использования тепла грунта, в котором расположены трубы с циркулирующим хладагентом. Под землей температура всегда выше нуля и находится на уровне 5–7 °С. Для сравнения: обычные источники – электроды, затрачивая 1 кВт электричества, дают всего около 1 кВт тепла. Экономия от применения теплового насоса в диспетчерской автопарка составляет около 10 тыс. рублей в год.

Установка тепловых насосов показала свою выгоду. Например, для обслуживания котельной на дешевом местном топливе – дровах, нужен штат для посменной работы как минимум четыре человека. Также необходима постоянная доставка топлива, вывоз шлака, оплата экологического налога. При использовании тепловых насосов экология не нарушается, отсутствуют выбросы.

В УП «Витебское отделение Белорусской железной дороги» успешно реализован пилотный проект по внедрению фотоэлектрического комплекса на базе топлива и нефтепродуктов локомотивного депо Витебск. Выработка электроэнергии фотоэлектрическим комплексом составила за январь – июнь 2022 года 2 тыс. кВт·ч.

Опыт эксплуатации показал, что такие фотоэлектрические комплексы эффективны в местах, где не хватает в пиковые часы мощности от сети электроснабжения.

В 2023 году БЖД планирует 6 мероприятий по внедрению энергосберегающего оборудования, при реализации которых общая экономия топлива в эквиваленте составит 49 т у.т. в год:

- Минское отделение – гелионагревательная установка, позволяющая экономить до 4,1 т у.т.;
- Гомельское отделение – гелионагревательная установка (экономия до 2,6 т у.т.) и замена на уже действующей установке плоских панелей на вакуумные трубки, позволяющая экономить до 6,0 т у.т.;

- Витебское отделение – фотоэлектрический комплекс (экономия до 17,1 т у.т.), гелионагревательная установка (экономия до 7,1 т у.т.) и тепловой насос, позволяющие экономить до 12,1 т у.т.

Гелионагревательные установки помимо БЖД для нагрева воды имеют и другие организации, например, ОАО «Автосила». В летнее время для нагрева воды в помещении гардероба организации используется гелионагревательная установка HEWALEX STLF-500W с гелиоколлекторами KS 2000 TLPAC: площадь одного коллектора – 2,06 м<sup>2</sup>; количество коллекторов – 10 шт., количество бойлеров – 2 по 500 л.

В первом квартале 2022 года ОАО «Белавиа» установлены 23 автономных фотоэлектрических светильника для уличного освещения территории авиационно-технической базы, которые не потребовали проводки электрических сетей. Экономия электрической энергии от установки данных светильников составит в эквиваленте около 1 т у.т. в год.

Республиканским унитарным эксплуатационно-строительным предприятием «Днепро-Бугский водный путь» Минтранс построено 5 мини-ГЭС на гидроузлах «Дубое», «Кобрин», «Залузье», «Новосады», «Стахово», которые произвели за январь – июнь 2022 года электрическую энергию в размере 2528 тыс. кВт·ч, эквивалентную 311 т у.т. Это составляет 4,4 % от общей доли ВИЭ организаций Минтранса.

Внедрение объектов малой энергетики в организациях, подведомственных Минтрансу, таких как гелионагревательные установки, фотоэлектрические комплексы, тепловые насосы и мини-ГЭС, показало себя эффективным и позволило сэкономить за первое полугодие 2022 году 533 т у.т. в целом по Министерству или 7,6 % от общей доли ВИЭ организаций Минтранса.

#### Список литературы

1 Реализованные проекты энергосервисной компании «ТеплоЭнергоЛюкс» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [https://teploenergo.by/realizovannyye\\_proyekty.php/](https://teploenergo.by/realizovannyye_proyekty.php/). – Дата доступа : 06.09.2022.

2 Плюсы минуса [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://mk.by/2019/02/08/203245/>. – Дата доступа : 06.09.2022.

## ОБ УМЕНЬШЕНИИ ЭНЕРГОЗАТРАТ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ЗДАНИЙ

*В. В. МАКЕЕВ, С. Г. ДОДОЛЕВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В настоящее время на отопление и горячее водоснабжение в Республике Беларусь ежегодно приходится свыше трети расходуемых ресурсов. С учетом этого энергосбережение в зданиях и сооружениях становится стратегическим условием дальнейшего роста экономики страны.

Нужно отметить, что через конструктивные элементы здания осуществляются следующие поте-ри теплоты: крыша – 15–20 %, стены – 20–25 %, окна – 20–25 %, пол – 5–10 %. Тепловая защита зданий позволит значительно повысить энергоэффективность всей организации, поскольку в этом случае можно обеспечить снижение первичных энергоресурсов на системы климатизации зданий. Потери теплоты в зданиях обусловлены теплопередачей и инфильтрацией, т. е. проникновением холодного наружного воздуха в помещение через неплотности ограждения.

Основная часть эксплуатируемых зданий производственного и административного назначения была построена в период 1961–1995 гг., когда уровень требований по теплозащитным свойствам наружных ограждений зданий был в 2–4 раза ниже уровня, устанавливаемого ныне действующими нормативными документами. В процессе эксплуатации зданий происходило дальнейшее естественное снижение теплозащитных свойств наружных ограждений, которое не компенсировалось доста-точным объемом капитального ремонта. В результате – основная часть зданий отрасли может быть обоснованно отнесена к разряду энергорасточительных.

В начале 70-х годов XX в. в зарубежную практику проектирования и строительства зданий было введено понятие «энергоэффективное здание». Энергопотребление зданий, которое раньше не было определяющим показателем, стало доминирующим критерием качества проекта. При проектирова-нии энергоэффективных зданий должны использоваться только такие решения, которые осуще-ствимы технически, обоснованы экономически и приемлемы с экологической и социальной точек зрения. Для систем климатизации зданий используется теплота, выделяемая людьми и оборудова-нием, а также возобновляемые источники энергии (солнечная энергия, энергия ветра, теплота ис-точников и верхних слоев грунта).

Теплообмен может осуществляться, как известно, тремя элементарными видами: теплопровод-ностью, конвекцией и излучением.

В реальности указанные процессы передачи теплоты протекают одновременно и влияют друг на друга. Обычно результат одновременного действия отдельных элементарных процессов приписы-вается одному из них, который считается главным. Влияние же остальных (второстепенных) явлен-ий сказывается лишь на количественной характеристике основного процесса.

Уравнение теплопередачи через многослойную плоскую стенку имеет вид

$$Q_{T,} = k \Delta t F = \left( \frac{1}{\alpha_{в}} + R + \frac{1}{\alpha_{н}} \right)^{-1} (t_{в} - t_{н}) F,$$

где  $k$  – коэффициент теплопередачи, Вт/(м<sup>2</sup> · К);  $\Delta t$  – температурный напор;  $t_{н}$  – температура наружного воздуха, °С;  $t_{в}$  – температура воздуха внутри помещения, °С;  $F$  – площадь поверхности стенки, м<sup>2</sup>;  $\alpha_{в}$  – коэффициент теплоотдачи воздуха со стороны помещения;  $\alpha_{н}$  – коэффициент теплоотдачи наружного воздуха, Вт/(м<sup>2</sup>·К);  $R$  – термическое сопротивление многослойного огражде-ния, (м<sup>2</sup> · К)/Вт.

Для лучшего понимания требований по теплозащитным свойствам наружных ограждений рас-смотрим следующий пример. Для наружных стен рекомендуемое термическое сопротивление равно 1,5142 м<sup>2</sup> · °С/Вт. Термическое сопротивление стены можно определить по формуле

$$R = 1 / \alpha_{в} + \sum \delta_i / \lambda_i + 1 / \alpha_{н},$$

где  $\alpha_{в}$  и  $\alpha_{н}$  – коэффициенты теплоотдачи на внутренней и наружной поверхности ограждения, при-нимаемые  $\alpha_{в} = 8,7$  Вт/(м<sup>2</sup> · °С),  $\alpha_{н} = 23$  Вт/(м<sup>2</sup> · °С);  $\sum \delta_i / \lambda_i$  – суммарное термическое сопротивление теплопередачи конструктивных слоев ограждения.

Если принять, что стена однослойная и выполнена из керамического кирпича (коэффициент теплопроводности  $\lambda = 0,81 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°С})$ ), то необходимую толщину такой стены можно определить по формуле

$$\delta = \lambda(R_{\text{ред}} - 1/\alpha_{\text{в}} - 1/\alpha_{\text{н}}) = 0,81(1,5142 - 1/8,7 - 1/23) = 1,1 \text{ м},$$

т. е. такая стена должна иметь толщину 4,5 кирпича.

Подобная конструкция не только рациональна с точки зрения технологии строительства, но и весьма затратна. Отсюда можно сделать вывод, что при строительстве энергоэффективных зданий необходимо использовать многослойные конструкции стен и покрытий, обязательно включающие в себя эффективный утеплитель.

В таких конструкциях две основные функции ограждения (несущая и теплоизолирующая) разделены. Несущую функцию обеспечивает железобетонная или кирпичная стена, толщина которой выбирается из условия прочности, теплоизолирующую обеспечивает эффективный утеплитель с коэффициентом  $\lambda = 0,04 \dots 0,08 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ . Для утепления наружных стен разработаны системы со штукатурными слоями и системы с защитно-декоративными экранами (вентилируемые фасады).

В системах с навесными вентилируемыми фасадами утеплитель фиксируется на наружной поверхности несущей части стены, выполненной из кирпича или бетона, с помощью дюбелей или анкеров. Затем на стене крепятся несущие кронштейны, на которых монтируются специальные профили, образующие единый каркас, на котором создается экран из облицовочных плит. Летом вентилируемый фасад служит солнцезащитным экраном, зимой – защищает конструкцию от осадков и ветра, уменьшает диапазон колебаний температуры несущей стены и защищает ее от периодических процессов замерзания и оттаивания. Точка росы сдвигается в наружный теплоизоляционный слой, поэтому внутренняя часть стены остается сухой.

Для современных зданий характерны большие площади остекления. Это способствует сокращению потребления электрической энергии за счет улучшения естественной освещенности помещений. Однако в холодный период года окна являются источником дополнительных потерь, а в теплый период – причиной избыточных теплопоступлений. Для того чтобы этому препятствовать, необходимо использовать светопрозрачные конструкции с улучшенными теплотехническими характеристиками.

Поток солнечного излучения состоит примерно из 52 % видимого света и 48 % инфракрасного и ультрафиолетового излучения. Основная часть потока солнечного излучения (до 80 %), попадающего на поверхность обычного оконного стекла, беспрепятственно пройдет в помещение и будет поглощена внутренней поверхностью помещения и поверхностью массивных предметов (например, оборудования и мебели). Часть солнечного излучения (до 10 %) будет поглощена самим стеклом и в виде теплового излучения распространится в обе стороны от него (наружу и вовнутрь помещения). Оставшаяся часть (примерно 10 %) солнечного излучения будет отражена наружу.

Увеличение термического сопротивления окон возможно за счет использования многослойных стеклопакетов. Для уменьшения интенсивности теплопередачи стеклопакетов камеры между стеклами заполняются инертными газами (аргон, криптон, ксенон), коэффициент теплопроводности которых меньше, чем у воздуха. Для достижения этой цели можно вакуумировать межстекольное пространство стеклопакета.

В настоящее время активно разрабатываются оконные конструкции с изменяющейся светопропускной способностью. Они снабжены эффективными средствами управления светопропускной способностью для обеспечения оптимального соотношения уровня естественного освещения и величины теплопоступлений в помещение от солнечного излучения как в холодный, так и в теплый период года.

Наибольшее распространение получили две технологии:

1 Электрохромная технология с использованием оксидов металлов.

Данная технология предусматривает пятислойное покрытие поверхности стекла, наносимое методом вакуумного осаждения (напыления). После нанесения покрытия поверхность закрывается вторым стеклом и обеспечивается герметичность соединения стекол. При подаче управляющего электрического сигнала стекло темнеет и приобретает способность поглощать солнечный свет. Поглощенный в наружном стекле лучистый поток превращается в теплоту и передается преимущественно наружному воздуху. При смене полярности управляющего сигнала стекло возвращается в

прозрачное состояние. Конструкция, выполненная на основе электрохромной технологии, пропускает в прозрачном состоянии примерно 62 % видимой части спектра солнечного излучения, а в полностью затемненном – 3,5 %.

2 Светопрозрачные конструкции с технологией изменения ориентации взвешенных частиц.

Данная светопрозрачная конструкция состоит из двух слоев стекла (или прозрачного пластика) с электропроводящим покрытием внутренних поверхностей. Покрытие представляет собой ламинированный пленочный слой, содержащий малые взвешенные частицы специально разработанного химического состава. Обычное распределение этих частиц таково, что они ориентированы разнонаправлено и блокируют до 99,75 % падающего на стекло солнечного света. При подаче на проводящие слои переменного тока частицы ориентируются по силовым линиям электрического поля и пропускают солнечный свет. За счет изменения электрического напряжения можно плавно изменять состояние стекла от прозрачного до практически полностью затемненного.

Существенным преимуществом данной технологии является то, что светопропускная способность изменяется очень быстро. Поэтому продолжительность перехода конструкции из прозрачного состояния в затемненное не зависит от ее размеров и температуры наружного воздуха. Обычно стекло переходит от затемненного состояния к прозрачному приблизительно за одну секунду, а в обратном направлении – менее чем за три секунды. Появление стекла, светопропускной способностью которого можно управлять, позволяет говорить о возможности создания «умных» («интеллектуальных») окон. Система управления такими окнами может быть запрограммирована на оптимальный уровень освещения и энергопотребления с поминутной разбивкой по времени суток, а также на учет наличия людей в помещении и наружных климатических условий. Затраты энергии на такую систему управления крайне незначительны.

УДК 621.313.04

## **ДИАГНОСТИКА НЕИСПРАВНОСТЕЙ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ КАК СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ТРАНСПОРТЕ**

*Д. В. МИРОШ, В. Н. ГАЛУШКО*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Проблема повышения энергетической и экологической безопасности на транспорте всегда является предметом пристального внимания. Зачастую принято забывать, что эти сферы неразрывно взаимосвязаны между собой. Улучшение энергетической безопасности способствует улучшению качества цепи «источник-потребитель». Следовательно, повышение качества позволяет производить меньшее количество операций по поддержанию компонентов этой цепи, задействовать меньшее количество ресурсов, необходимых для обслуживания, то есть способствовать изменениям экологической составляющей.

Цель работы. Разработать и внедрить в производство диагностическую платформу для автономного оценивания остаточного ресурса изоляции трехфазных асинхронных двигателей.

Цепь «источник-потребитель» можно наглядно рассмотреть для тягового подвижного состава на железной дороге. Причина такого выбора объекта исследования в следующем: железнодорожный транспорт по праву является самым энергоэффективным видом транспорта, а также самым экологичным. Несмотря на это, количество потребляемых топливно-энергетических ресурсов велико. Следовательно, всегда есть области для снижения потребления и повышения степени их использования. Структура железной дороги подразделяется на множество структурных подразделений, начиная от организации движения и заканчивая ремонтом и обслуживанием. Кроме того, доля расхода локомотивного хозяйства на электроэнергию для тяги поездов составляет более 80 % от всего потребления на Белорусской железной дороге [1].

Для тягового подвижного состава конечным потребителем, который осуществляет вращение колесной пары локомотива, в дальнейшем приводящей локомотив и поезд в движение, является тяговый электродвигатель. Современный пассажирский и грузовой подвижной состав, в особенности электровозы и электропоезда, оборудованы тяговыми электродвигателями асинхронного типа.

Например, на электровозах серии БКГ установлены асинхронные тяговые двигатели 4FIA7058 с номинальной мощностью 1250 кВт.

Асинхронные двигатели являются самым распространенным типом электродвигателей. По некоторым оценкам, на них приходится около 50 % потребляемой электроэнергии [2]. Есть основания полагать, что не смотря на обретающие популярность синхронные двигатели, асинхронные будут в ходу еще не один год и, возможно, не одно десятилетие.

Современный подвижной состав на Белорусской железной дороге и железнодорожных предприятиях стран ближнего зарубежья использует в качестве тяговых электродвигателей асинхронные. В тяговом подвижном составе, который построен в прошедшем тысячелетии, асинхронные двигатели используются в качестве вспомогательных машин. Например, асинхронный двигатель типа АЭ92-4 используется на электровозе ВЛ80<sup>с</sup> в качестве привода вентиляторов охлаждения тяговых электродвигателей и силового оборудования. Однако с течением времени изоляция обмоток электродвигателя может загрязняться, увлажняться, а также подвергаться воздействию высоких температур и перепадов напряжения, что приводит к старению изоляции и, как следствие, ее пробую, а в результате – выходу из строя [3].

В большинстве случаев (85–95 %) отказы асинхронных двигателей мощностью свыше 5 кВт происходят из-за повреждения обмоток и распределяются следующим образом: межвитковые замыкания – 93 %, пробой межфазной изоляции – 5 %, пробой фазовой изоляции – 2 %; на подшипниковый узел приходится 5–8 % отказов [4].

На Белорусской железной дороге давно применяется практика «модернизационно-ремонтных» операций. Многолетний опыт позволяет проводить полноценные ремонты с возможностью полного восстановления технических характеристик локомотивов, а также проводить работы по совершенствованию отдельных узлов и агрегатов. Что касается разброса сроков службы отдельных элементов оборудования, то при значимых коэффициентах вариации ресурса, вполне характерных для железнодорожного транспорта, эффективность применения регламентного, то есть ориентированного на временные периоды, способа обслуживания существенно снижается [5]. Большая часть оборудования к назначенному сроку либо оказывается в достаточно удовлетворительном состоянии, не требующем вмешательства персонала, либо уже в аварийном (закрашенные области на рисунке 1).

Главная проблема заключается в реализации достаточного уровня диагностирования, поскольку улучшение качества одной составляющей вызывает увеличение стоимости всей системы. С другой стороны, согласно [6] каждая разборка и нарушение взаимного положения приработавшихся деталей приводят к сокращению остаточного ресурса на 30–40 %, что изображено на рисунке 2.

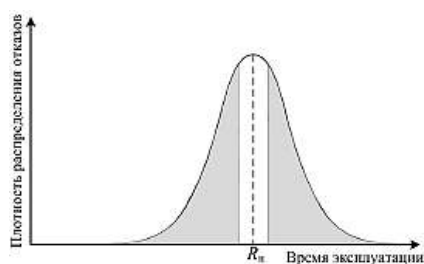


Рисунок 1 – Распределение фактических сроков службы оборудования

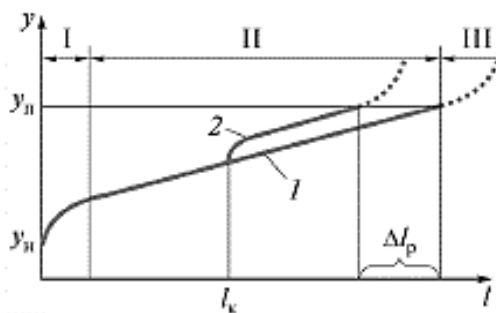


Рисунок 2 – График изменения интенсивности изнашивания двух сопряженных деталей  
1 – без разборки; 2 – после разборки; I – зона приработки; II – зона нормальной работы; III – зона интенсивного изнашивания

Просматриваются определенные недостатки стратегии регламентного обслуживания, что свидетельствует о необходимости диагностирования конструктивных показателей по косвенным признакам проявления технического состояния, то есть без разборки.

Совершенствование диагностики асинхронных двигателей в перспективе может решить массу внезапных отказов и неисправностей на производстве, снизить число событий, каждое из которых непосредственно влияет на энергетическую безопасность. Для подобных предприятий это наиболее важно, так как безопасность на железной дороге превышает все.

## Список литературы

- 1 О путях повышения энергоэффективности тепловозной тяги / В. М. Овчинников, В. В. Макеев, Д. В. Мирош // Энергоэффективность. – 2022. – № 3 (293). – С. 10–11.
- 2 **Галушко, В. Н.** Электрические машины : учеб.-метод. пособие / В. Н. Галушко, В. А. Пацкевич. – Гомель : БелГУТ, 2020. – 242 с.
- 3 **Саргсян, С. В.** Оценка состояния изоляции обмотки двигателя при воздействии влаги / С. В. Саргсян // Вестник НПУА. Электротехника, Энергетика. – 2019. – № 2. – С. 52–59.
- 4 **Воробьев, В. Е.** Прогнозирование срока службы электрических машин: Письменные лекции / В. Е. Воробьев, В. Я. Кучер. – СПб. : СЗТУ, 2004. – 56 с.
- 5 **Букшев, А. В.** Техническая и коммерческая эксплуатация судна: учеб. пособие / А. В. Букшев. – СПб. : СПбГМТУ, 2006. – 86 с.
- 6 Ремонт автомобилей : учеб. / С. И. Румянцев [и др.] ; под ред. С. И. Румянцева. – М. : Транспорт, 1981. – 462 с.

УДК 502.13:620.9

## СНИЖЕНИЕ НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ОАО «РОССИЙСКИЕ ЖЕЛЕЗНЫЕ ДОРОГИ» НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

*Б. В. МУСАТКИНА*

*Омский государственный университет путей сообщения, Российская Федерация*

Снижение негативного воздействия транспортного комплекса на окружающую среду и климат в соответствии с принципами устойчивого развития входит в перечень базовых задач Транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года [1]. Железнодорожный транспорт является крупнейшим потребителем электроэнергии и других топливно-энергетических ресурсов (ТЭР). Декарбонизация транспортной отрасли стала необходимой и для выполнения глобальных целей Парижского соглашения по климату 2015 года [2].

Разработка и внедрение научно-обоснованного комплекса природоохранных мероприятий в энергетическом комплексе ОАО «Российские железные дороги» (ОАО «РЖД») должны выполняться с учетом требований целого ряда федеральных и отраслевых законодательных и нормативно-правовых актов:

Стратегии экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года от 19.04.2017;

Указа Президента Российской Федерации от 04.11.2020 № 666 «О сокращении выбросов парниковых газов»;

Стратегии социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года от 29.10.2021 № 3052-р;

Экологической стратегии ОАО «РЖД» до 2030 года;

Программы организационно-технических мероприятий, направленных на снижение выбросов парниковых газов в ОАО «РЖД» на 2020–2025 годы от 27.11.2019 № 2651/р.

Идентификация и инвентаризация источников загрязнения окружающей среды на объектах энергетического комплекса (филиалов ОАО «РЖД» – «Трансэнерго» и Центральной дирекции по тепловодоснабжению) является основой для оценки существующего уровня негативного воздействия по видам деятельности и направлениям использования энергоресурсов, в том числе в границах железных дорог, регионов и особо охраняемых природных территорий.

Комплексный план снижения негативного воздействия производственной деятельности энергетического комплекса ОАО «РЖД» на окружающую среду до минимального технически достижимого и экономически целесообразного уровня должен предусматривать следующие основные направления:

– модернизация существующего оборудования и внедрение новых эко-ориентированных технологических решений;

– снижение потерь энергоресурсов (электрической и тепловой энергии) при ее передаче потребителям;

– реализация программ энергоэффективности и энергосбережения;

– снижение уровня выбросов парниковых газов от нетяговых источников энергии;

- внедрение альтернативных и возобновляемых источников энергии на стационарных объектах железнодорожного транспорта;
- обеспечение экологически безопасного управления отходами (включая опасные отходы, содержащие полихлорированные бифенилы (ПХБ)) и утилизацией оборудования, выработавшего нормативный срок;
- повышение экологической культуры и квалификации персонала ОАО «РЖД» в сфере природопользования и защиты окружающей среды;
- создание системы мониторинга воздействия энергетического комплекса ОАО «РЖД» на окружающую среду.

Для достижения заявленных целей необходимо предусмотреть включение в комплексный план следующих разделов:

- разработка и утверждение справочника наилучших доступных технологий по охране окружающей среды в энергетическом комплексе железнодорожного транспорта;
- разработка и утверждение отраслевых методических рекомендаций (типовых мероприятий), направленных на снижение уровня загрязнения окружающей среды в энергетическом комплексе ОАО «РЖД»;
- разработка методик оценки ожидаемого снижения воздействия на окружающую среду деятельности энергетического комплекса ОАО «РЖД» при внедрении природоохранных мероприятий, а также мероприятий, направленных на снижение потребления и повышение эффективности использования ТЭР;
- определение критериев приоритетности внедрения природоохранных мероприятий с учетом ранее выявленного уровня воздействия деятельности энергетического комплекса ОАО «РЖД» на окружающую среду и ожидаемой эффективности природоохранных мероприятий;
- организация в структурных подразделениях энергетического комплекса ОАО «РЖД» оценки ожидаемого эффекта от природоохранных мероприятий и капитальных затрат на их реализацию;
- формирование комплексного перечня природоохранных мероприятий для энергетического комплекса ОАО «РЖД» с учетом приоритетности внедрения и необходимых объемов финансирования его реализации;
- разработка технологии мониторинга эффективности деятельности по снижению воздействия на окружающую среду объектов энергетического комплекса ОАО «Российские железные дороги»;
- подготовка дополнительных профессиональных программ (программ повышения квалификации) и учебно-методических материалов по организации природоохранной деятельности, порядку проведения работ по разработке мероприятий, направленных на защиту окружающей среды, оценке стоимости их внедрения и ожидаемого эффекта;
- проведение курсов повышения квалификации руководящего и линейного персонала энергетического комплекса ОАО «РЖД» по организации и проведению работ, направленных на снижение негативного воздействия производственной деятельности на окружающую среду.

Следует отметить, что в Учебно-методического центре по энергосбережению и повышению энергетической эффективности Омского государственного университета путей сообщения с 2021 года имеется опыт успешной реализации программы повышения квалификации «Управление энергоэффективностью структурных подразделений железнодорожного транспорта на основе систем энергетического менеджмента», а также ряда программ по вопросам энергоэффективности и энергосбережения, в которых предусмотрен раздел «Экологические аспекты энергосбережения на железнодорожном транспорте».

При формировании комплексного плана необходимо учитывать ранее установленные объемы и сроки выделения финансирования на реализацию экологической повестки ОАО «РЖД», а также внедрения мероприятий, имеющих экологический эффект, по Программе энерго-, ресурсосбережения и повышения эффективности использования энергоресурсов на нужды энергетического комплекса ОАО «РЖД». Также должны быть проработаны возможности получения софинансирования программ внедрения природоохранных мероприятий на федеральном и региональном уровнях, получения налоговых и иных льгот.

Результатом реализации комплексного плана должна стать модернизация энергетической инфраструктуры ОАО «РЖД» в части обеспечения экологической безопасности и охраны окружающей среды на уровне наилучших доступных технологий, передовых достижений науки и техники и внедрение системы мониторинга эффективности деятельности по снижению негативного воздействия на окружающую среду объектов энергетического комплекса компании.

## Список литературы

1 Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года: [утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 27 ноября 2021 г. N 3363-р] // Справочно-правовая система «Консультант Плюс» [Электронный ресурс]. – Дата доступа : 10.09.2022 г.

2 Принятие Парижского соглашения: решение 1/CP.21. Доклад конференции сторон о работе двадцать первой сессии, состоявшейся в Париже с 30 ноября по 13 декабря 2015 года: [документ ООН FCCC/CP/2015/10/Add.1 от 29 января 2016 г.] // Справочно-правовая система «Консультант Плюс» [Электронный ресурс]. – Дата доступа : 10.09.2022 г.

УДК 629.7:534

## ПРОБЛЕМА БОРЬБЫ С ШУМОМ В АВИАЦИИ

*А. А. НАГУЛА, А. В. НАГУЛА*

*Белорусская государственная академия авиации, г. Минск*

Рост мощностей двигателей современных самолетов, увеличение скорости полета и численности самолетного парка привели к сильному повышению уровней шума, создаваемых самолетами и экспериментальными установками, используемыми при изучении авиационных проблем. Нередко уровни силы шума достигают 140–150 дБ и более. Проблема борьбы с авиационным шумом является комплексной и включает ряд вопросов медицинского, физиологического, административного, организационного и технического характера.

Основными источниками шума самолетов являются двигатели, воздушные винты, пограничный слой (т. е. слой заторможенного воздуха на поверхности самолета) и ударные волны, образующиеся около самолетов, летящих со скоростями, превышающими скорость звука, равную 1250 км/ч на высоте 500 м и 1100 км/ч – на высоте 10 000 м. В некоторых случаях важную роль играет шум внутреннего оборудования кабин, например нагнетателей в герметических кабинах, вентиляторов, насосов, индивидуальной вентиляции, вентиляционных решеток и т.п.

Основными источниками шума реактивного двигателя являются: свободная струя, вытекающая из сопла двигателя со значительной скоростью, камера сгорания и компрессор с турбиной.

Спектры шума, измеренного вблизи свободной струи в точках А, В и С, показанные на рисунке 1, иллюстрируют влияние расстояния от сопла на частоту образующегося звука. Таким образом, звукообразование не сосредоточено в струе в одном месте, а распределено по ее длине. Шум компрессора имеет меньшую интенсивность, чем шум свободной струи, и отличается весьма высоким тоном. Он хорошо прослушивается только в передней части двигателя.

Шум горения обычно не играет большой роли у нормально работающего двигателя.

Типичный пример спектра шума реактивного двигателя вдали от него представлен на рисунке 2. Из диаграммы видно, что спектр занимает широкую полосу частот, приближаясь к непрерывному характеру. В области частот 100–400 Гц интенсивность шума в спектре имеет максимум. Максимум интенсивности шума реактивного двигателя при больших скоростях истечения газов наблюдается под углом около 30–45° к оси струи.

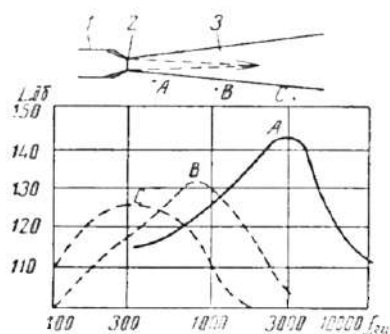


Рисунок 1 – Спектр шума свободной струи реактивного сопла

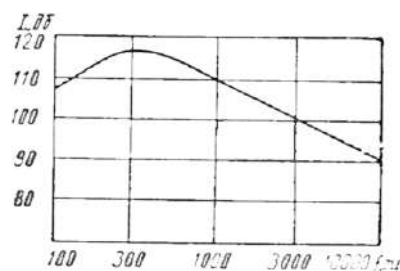


Рисунок 2 – Спектр шума реактивного двигателя вдали

Построив кривые равного шума на местности вокруг самолета, стоящего на аэродроме, можно наметить зоны, в которых пребывание обслуживающего персонала является опасным. У ряда реактивных двигателей имеются форсажные камеры, которые вызывают значительный шум.



Многие современные самолеты имеют воздушные винты. Шум воздушного винта состоит из двух основных составляющих – шума вращения и вихревого шума.

Основную роль для наземного наблюдателя и обычно для пассажиров в кабине самолета играет шум вращения; он возникает из-за возмущений среды, вызываемых движением лопастей винта относительно окружающего воздуха. Основная частота шума вращения равна произведению числа лопастей винта на число оборотов в секунду; остальные частоты кратны этой. Например, шум самолетов имеет частоты 72, 144, 216, 288 Гц и т.д. Его интенсивность быстро возрастает с увеличением скорости вращения, увеличением тяги и уменьшением числа лопастей. Максимум интенсивности шума вращения обычно наблюдается по направлениям, близким к плоскости вращения винта, как установлено Л. Я. Гутиным и Ю. С. Быковым.

Вихревой шум, возникающий из-за образования вихрей в аэродинамическом следе за лопастями винта, обычно имеет высокую частоту и спектр, непрерывный в некотором интервале частот. Он направлен преимущественно по оси вращения, и его роль в шуме, слышимом наземными наблюдателями и в кабине самолета, невелика, иногда он играет главную роль в шуме винта самолета, стоящего на земле.

Существуют винты, концы которых вращаются со скоростью, превышающей скорость звука в окружающем воздухе. Они отличаются весьма сильным шумом.

Приводим сравнительные данные о величинах шума различных авиационных двигателей при одинаковой тяге. Уровень шума различных авиационных двигателей на расстоянии 100 м от двигателя и одинаковой тяге 2000 кг (по Гирке) следующий: поршневой двигатель 2500 л. с. – 103 дБ, воздушный винт при окружной скорости около 300 м/с – 117 дБ, воздушный винт при сверхзвуковой скорости вращения – 127 дБ, турбореактивный двигатель – 125 дБ, турбореактивный двигатель с форсажной камерой – 139 дБ, ракетный двигатель – 142 дБ.

Из этих данных видно, что наименее шумным при равной мощности является поршневой двигатель. Воздушные винты при сверхзвуковых скоростях вращения являются мощными источниками шума. Особенно большие уровни создаются реактивными двигателями при наличии форсажной камеры, а также ракетными двигателями.

Если скорость самолета превосходит скорость звука, то в окружающей атмосфере образуются ударные волны, представляющие собой скачкообразные изменения давления и плотности. Чем быстрее летит самолет, тем больше интенсивность этих ударных волн. В тех точках поверхности самолета, в которых образуются ударные волны, происходят интенсивные пульсации давления, которые ощущаются экипажем в виде сильного шума.

Ударные волны, достигшие поверхности земли, ощущаются наземными наблюдателями в виде раската грома или выстрела. Если самолет летит низко, то в некоторых домах могут осыпаться штукатурка и вылететь оконные стекла. Всякое изменение скорости самолета, летящего со сверхзвуковой скоростью, вызывает появление ударных волн, которые отрываются от самолета и могут перемещаться на далекие расстояния.

В настоящее время многие организации за рубежом прилагают значительные усилия к устранению шума реактивного двигателя в самом источнике. Решение этой задачи позволило бы обойтись без громоздких глушителей при наземных испытаниях самолетов, снизить уровни шума вблизи аэродромов и уменьшить вес самолетов за счет снижения действующих на их конструкции акустических нагрузок. Основные изыскания ведутся в направлении создания всякого рода насадок на сопла реактивных двигателей, которые увеличивают периметр свободной струи и тем самым снижают интенсивность низкочастотных вихрей.

Борьба с шумом воздушных винтов является в настоящее время весьма актуальной, так как многие пассажирские и транспортные самолеты оборудуются турбовинтовыми двигателями, в шуме которых главную роль играет шум воздушного винта. Соответствующие исследования показали, что при одной и той же тяге меньше шумят винты с большим числом лопастей, с большим диаметром и меньшей окружной скоростью. Поэтому основным методом снижения шума и явилась разработка многолопастных винтов с широкими лопастями и малой окружной скоростью. К сожалению, осуществление этих мер встречает серьезные трудности конструкторского характера.

Другим способом борьбы с шумом многомоторных самолетов является так называемое синхронизирование их винтов, заключающееся в том, что все винты вращаются со строго определенным числом оборотов, причем лопасти различных винтов всегда повернуты друг к другу под одним и тем же углом.

Борьба с шумом пограничного слоя заключается в мерах по улучшению аэродинамического контура самолета, так как всякое снижение лобового сопротивления и связанной с этим затратой энергии приводят к уменьшению шума, возникающего за счет вихрей и ударных волн.

Шум летящего в воздухе самолета обычно бывает слышен на большом расстоянии. Зная акустические характеристики самолета – звуковую мощность и характеристики направленности его двигателей, а также высоту полета, можно на карте местности определить линии равных уровней силы шума, положение которых зависит также от трассы полетов. Рациональным выбором места расположения аэродрома, ориентации посадочных площадок, режима направления и высоты полетов можно существенно облегчить условия жизни населения в таких местах.

Лиц, подвергающихся воздействию авиационных шумов, можно разделить на следующие группы: пассажиры и экипаж самолета; работники аэродромов, занятые обслуживанием самолетов в непосредственной близости к ним; работники учреждений, мастерских и предприятий, расположенных вблизи аэродромов; население, проживающее вокруг аэродромов и экспериментальных установок, а также вблизи трасс полетов.

Воздействие шума на человека определяется уровнем шума в октавных полосах спектра и продолжительностью действия, играют роль также монотонность или прерывистость, условия работы, состояние организма и ряд других факторов.

Можно различать несколько ступеней воздействия авиационного шума на человека в зависимости от уровня и спектра.

Звук ощущается в виде щекотания в ушах и неприятного ощущения во всем теле (120–130 дБ). При более высоких уровнях (130–140 дБ) отмечается боль в ушах. Уровни порядка 150–160 дБ и более могут вызвать механическое повреждение органов слуха (граница точно не установлена).

Длительный шум вызывает необратимые изменения в органе слуха и оказывает неблагоприятное воздействие на центральную нервную систему, однако эти изменения наблюдаются не у всех лиц, подвергающихся воздействию интенсивного шума. Чем шире полоса сплошного шума, тем больший уровень может быть допущен без наступления стойкой потери слуха.

Шум уменьшает разборчивость речи. Звуки с частотой менее 300 Гц мало влияют на разборчивость речи, так как основная энергия спектра речи сосредоточена в области 350–5000 Гц. Поэтому с точки зрения разборчивости речи, например допустим шум с уровня до 100 дБ, у которого вся энергия сосредоточена в области частот менее 300 Гц; начиная с уровня 115 дБ, речь неразборчива независимо от ее напряжения вследствие перегрузки слухового аппарата. При наличии средств индивидуальной защиты возможно повышение этой величины.

Шум, обеспечивающий удовлетворительную разборчивость речи, может тем не менее оказывать вредное воздействие на нервную систему человека, мешая ему отдыхать или заниматься умственным трудом. «Психоакустическим» критерием в этом случае являются жалобы населения или отдельных лиц. Необходимо получить для этих условий новые надежные данные, для чего следует широко организовать измерения шума установок в различных условиях, провести статистическую обработку данных о жалобах населения в различных случаях, а также установить норму допустимых классов шумов в различных случаях.

Нормы допустимого шума должны давать характер спектра шума в месте нахождения человека, подвергающегося воздействию шума. Величины, характеризующие остаточный шум вблизи аэродинамической установки (звуковая мощность, направленность для различных частот, спектр звуковой мощности и т. п.), следует считать шумовой характеристикой данного сооружения или объекта. Нам представляется неправильным предлагать в качестве нормы допустимого шума величины его, например, вблизи выхлопного отверстия глушителя и т.п. Нормы должны устанавливаться исходя из величины допустимого шума в месте нахождения людей и условий распространения шума от установки к этому месту.

#### Список литературы

- 1 Авиационная акустика. В. 2 ч. / А. Г. Мухин [и др.]; под ред. А. Г. Мунина. – М. : Машиностроение, 1986. – Ч. 1. – 242 с. – 1996. – Ч. 2. – 258 с.
- 2 Аксёнов, И. А. Транспорт и охрана окружающей среды / И. А. Аксёнов, В. И. Аксёнов. – М. : Транспорт, 1987. – 176 с.

## ОБ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ТЯГОВОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА В БЕЛАРУСИ

*В. М. ОВЧИННИКОВ, В. В. МАКЕЕВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Железнодорожный транспорт является крупным потребителем энергетических ресурсов. Оценка энергетического уровня разных видов наземного транспорта показывает, что железнодорожный транспорт является наиболее энергоэффективным. Но при этом возникают сложные научно-методические вопросы, поскольку резкопеременные нагрузки и частота вращения валов локомотивных двигателей, большая относительная продолжительность их работы на холостом ходу, небольшой коэффициент использования установленной мощности локомотива и ограниченные возможности при выборе энергетического оборудования обуславливают свои особенности в методах решения.

Принципиально рассмотрены два основных вида локомотивов: электровозы и тепловозы.

Электрическая тяга является прогрессивным видом тяги на железных дорогах. Источником централизованного энергоснабжения электровозов служит энергосистема Беларуси, объединяющая тепловые, гидростанции и атомную электростанцию. Для обеспечения экономической эффективности электрической тяги большое значение имеет снижение расхода электрической энергии на единицу перевозочной работы и стоимости ее, так как известно, что значительная доля себестоимости перевозок приходится на стоимость электроэнергии.

Для оценки энергетической эффективности электрической тяги применяют два показателя: КПД электрической тяги и удельный расход энергии, отнесенный к единице перевозочной работы (принято  $10^4$  ткм брутто).

КПД электрической тяги можно определить из выражения

$$\eta_{эв} = \eta_{эл} \eta_{пер} \eta_c^H,$$

где  $\eta_{эл}$  – КПД электровоза (нетто) на ободу движущихся колес, учитывающий потери в контактной сети и на тяговых подстанциях;  $\eta_{пер}$  – КПД передачи электроэнергии;  $\eta_c^H$  – КПД электростанции нетто при выработке электроэнергии.

Значение коэффициента  $\eta_{эл}$  определяется следующей зависимостью:

$$\eta_{эл} = \eta_э \eta_{кc} \eta_T,$$

где  $\eta_э$  – КПД электровоза;  $\eta_{кc}$  – КПД контактной сети;  $\eta_T$  – КПД линии электропередачи от шин электростанции до места присоединения электрофицированного участка.

Коэффициент, учитывающий потери энергии при выработке на электростанции с учетом собственных нужд, можно определить по формуле:

$$\eta_c^H = \eta_c \eta_{с.н},$$

где  $\eta_c$  – КПД электростанции без учета затрат энергии на собственные нужды;  $\eta_{с.н}$  – коэффициент, учитывающий затраты мощности на собственные нужды.

Процесс передачи и распределения электрической энергии неразрывно связан с процессом производстве. Совершенство этого процесса влияет на экономичность электрической тяги. КПД линии передачи электроэнергии обычно принимается как средняя величина независимо от расстояния без учета распределения потерь в отдельных звеньях энергосистемы.

Применение вышеприведенных формул затруднено и возможно только для номинального режима локомотива, который составляет 3–5 % времени магистрального локомотива. Главным образом локомотив в эксплуатации работает на частичных нагрузках и в холостом режиме. Это специфика работы локомотива. В каждом конкретном случае с учетом местных условий можно оценить эффективность электрической тяги. При этом следует отметить, что повышение ее, естественно, связано с совершенствованием энергетического хозяйства страны.

Современный энергетический уровень электрической тяги на расчетном режиме оценивается величиной КПД  $\eta_{эв}$ , равной 0,32–0,33. На железнодорожном транспорте практически удобен и принят как нормативный показатель удельный расход электроэнергии электровозом. При этом в качестве единицы работы принята величина 104 ткм брутто, поскольку учитывается масса вагона. Исследования Белорусского государственного университета транспорта (БелГУТ), выполненные на Белорусской железной дороге в период 2020–2021 годы, показали, что удельный расход электроэнергии в среднем составил:

- в грузовом движении 90 кВт·ч/104 ткм брутто;
- пассажирском движении 177,5 кВт·ч/104 ткм брутто;
- пригородном движении 244 кВт·ч/104 ткм брутто.

Анализируя полученные данные, можно сделать вывод, что наиболее энергоэффективные перевозки на электрифицированных участках железной дороги являются перевозки в грузовом движении, которые на осуществление работы 104 ткм брутто затрачивают почти в 2 раза меньше электроэнергии по сравнению с пассажирским движением и на 170 % меньше, чем в пригородном движении. Полученные результаты энергоемкости перевозок хорошо согласуются с теорией локомотивной тяги, учитывая массу поезда, скорость движения, число остановок и др.

Основное термодинамическое преимущество ДВС, как известно, перед другими тепловыми двигателями состоит в высоком уровне температур в процессе подвода теплоты. Кроме того, тепловозный дизель обладает преимуществом работы поршневого ДВС на частичных, нерасчетных режимах. Эффективный КПД современного тепловозного дизеля на расчетном, номинальном режиме достиг 42 %, а расход топлива на холостом ходу (собственно дизеля) при минимально-устойчивой частоте вращения вала составляет примерно от 3 до 8 %.

Для оценки энергетической эффективности тепловозной тяги, как и для электрической тяги, пользуются коэффициентом полезного действия и удельным расходом топлива (на измеритель  $10^4$  ткм брутто).

КПД тепловозной тяги – это отношение полезной работы тепловоза, отнесенной к ободу колеса, к теплу, подведенному с топливом.

Значение КПД тепловозной тяги можно выразить в виде произведения составляющих КПД:

$$\eta_{тв} = \eta_{\epsilon} \eta_{п} \eta_{с.н} \eta_{в.н},$$

где  $\eta_{\epsilon}$  – эффективный КПД тепловозного дизеля;  $\eta_{п}$  – КПД передачи тепловоза (применяется в основном электрическая передача, но может быть и гидравлическая);  $\eta_{с.н}$  – коэффициент, учитывающий затраты мощности на собственные нужды;  $\eta_{в.н}$  – коэффициент, учитывающий расход мощности на привод вспомогательных устройств тепловоза.

При высоком значении КПД современного дизеля тепловоза энергетический уровень тепловозной тяги оценивается величиной  $\eta_{тв}$ , равной 0,33–0,34.

Удельный расход топлива тепловозом, отнесенный к измерителю 104 ткм брутто, является показателем тепловой (энергетической) экономичности локомотива. Используя его, можно сравнивать по экономичности различные виды автономной тяги.

Исследования Белорусского государственного университета транспорта (БелГУТ), выполненные на Белорусской железной дороге в период 2020–2021 годы, показали следующие результаты потребления дизельного топлива на тягу поездов тепловозами: удельный расход дизельного топлива по видам движения в среднем составил:

- в грузовом движении 20 кг/104 ткм брутто;
- пассажирском движении 48 кг/104 ткм брутто;
- пригородном движении 48,4 кг/104 ткм брутто.

Анализ приведенных данных показывает, что наиболее эффективное потребление дизельного топлива приходится на тепловозы, осуществляющие грузовые перевозки. Использование тепловозной тяги как в пассажирском, так и в пригородном движении гораздо менее эффективно, примерно в 2,4 раза.

Сравнивая КПД тепловозной тяги со значением КПД электрической тяги, необходимо отметить, что по расчетному энергетическому уровню генерации отпускаемой энергии, отнесенной к шинам

электростанции для электрической тяги и дизельно для тепловозной тяги, и с учетом КПД использования этой энергии локомотивами, оба названных вида тяги почти идентичны. Действительно, для тепловозной тяги при расчетных условиях имеем  $\eta_{тв}$ , равной 0,33–0,34. Для электрической тяги при расчетных условиях КПД составит  $\eta_{эв}$ , равной 0,32–0,33. При этом потенциальные возможности цикла электростанций, входящих в энергосеть, обеспечивают дальнейший рост КПД электрической тяги, в то время как такие возможности у тепловозного дизеля ограничены.

Сопоставление дизельных затрат при осуществлении электрической и тепловозной тяги на Белорусской железной дороге свидетельствует совершенно о других результатах. Рассмотрим энергопотребление в грузовом движении, как требующее наибольших затрат энергии на тягу поездов, которое составляет для электрической тяги на Белорусской железной дороге около 70 %, а для тепловозной – около 65 %.

Удельный расход электроэнергии при грузовом движении электровозов в 2020–2021 г. г. составил 90 кВт ч/10<sup>4</sup> ткм брутто. Тариф для Белорусской железной дороги составляет 0,3854 рубля за 1 кВтч. Следовательно, стоимость удельного расхода электроэнергии в наиболее энергозатратном грузовом движении 34,69 рубля.

Удельный расход дизельного топлива в грузовом движении тепловозов в 2020–2021 гг. составил 20 кг/10<sup>4</sup> ткм брутто. При тарифе 2736,32 рубля за 1 тонну стоимость удельного расхода составит 54,73 рубля. В результате получаем, что удельный расход энергии в грузовом движении при электрификации дешевле на 36,6 %, чем на тепловозной тяге.

Полученный результат можно объяснить тем, что электростанции в качестве топлива используют главным образом природный газ, стоимость которого для Минэнерго Беларуси 413,14 рубля за 1000 м<sup>3</sup> (постановление Министерства антимонопольного регулирования и торговли от 29.07.2022 № 49) или 590,2 рубля за 1 тонну при плотности газа 0,7 кг/м<sup>3</sup> (при более высокой теплоте сгорания 47,857 МДж/кг против 42,5 МДж/кг дизельного топлива). Сравнивая стоимости 1 т дизельного топлива и природного газа, можно заключить, что последний значительно дешевле.

Однако здесь не учтено дополнительное обустройство железной дороги при электрификации, которое весьма дорого и составляет на практике один миллион долларов США на один километр железнодорожного пути. В результате срок окупаемости электрификации Белорусской железной дороги, несмотря на ее выгодность, становится большим.

В складывающейся экономической ситуации необходимо активизировать работу по повышению энергетической эффективности, предусматривающую жесткую экономию ТЭР, снижение затрат на единицу производимой продукции. Это обусловило необходимость разработки стратегий повышения энергоэффективности Белорусской железной дороги до 2030 года на основе инновационных средств и технологий, а также использования потенциала повышения энергетической эффективности технологических процессов железнодорожного транспорта.

В настоящее время наиболее перспективными направлениями по повышению энергетической эффективности в тяге железнодорожных поездов являются:

- модульный принцип построения локомотивов с системой распределенной тяги;
- адаптация локомотивов к изменяющимся условиям работы за счет дооборудования эксплуатируемых серий дополнительными системами и устройствами;
- повышение коэффициента полезного действия локомотивов во всем диапазоне мощности;
- ремоторизация и использование на тепловозах и дизель-поездах двигателей с улучшенными технико-экономическими характеристиками;
- снижение сопротивления движению за счет улучшения характеристик подвижного состава и состояния пути;
- снижение неподрессоренных масс и улучшение ходовых характеристик при прохождении кривых участков пути;
- повышение эффективности применения рекуперативного торможения и использования энергии рекуперации;
- оптимизация режимов ведения поезда, в основе которых заложен принцип минимума потребляемой энергии при выполнении графика движения и ограничения величин продольных динамических сил в составе поезда;

- внедрение систем автоведения с регистраторами параметров движения;
- использование бортовых систем диагностики для предотвращения критических ошибок локомотивных бригад и сокращения времени простоя локомотивов на ремонте;
- развитие автоматизированных систем регистрации и анализа параметров работы и учета электрической энергии и дизельного топлива;
- создание программно-аппаратного комплекса оперативного контроля энергетической эффективности использования тягового подвижного состава с техническим прогнозированием расхода энергоресурсов и выдачей рекомендаций по снижению энергоемкости по каждой поездке;
- внедрение автоматизированных систем прогрева маневровых и магистральных тепловозов.

УДК 62-784.4:656.3.073.473-492

## **ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПОРТОВЫХ ОТКРЫТЫХ СКЛАДОВ С СЫПУЧИМИ ГРУЗАМИ**

*Н. С. ОТДЕЛКИН, Д. Н. КОСТЮНИЧЕВ*

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

Около 70 % объема перевозимых водным транспортом грузов составляют сыпучие грузы. Ряд сыпучих грузов перевозят навалом и хранят в морских и речных портах на открытых складах. При этом, накопительные и оперативные открытые склады с такими грузами как апатит, нефелиновый и железорудный концентраты, цемент, угли различных марок, песок, комовая сера оказывают существенное отрицательное воздействие на окружающую среду за счет пылеуноса мелких фракций сыпучих грузов ветровыми потоками.

Решению проблемы борьбы с пылеуносом при хранении сыпучих грузов посвящено большое количество работ. В практике борьбы с пылеуносом сыпучих грузов с открытых складов применяют следующие основные способы закрепления пылящих поверхностей: механический, гидрообеспыливание и химический.

Механический способ заключается в простом укрытии пылящей поверхности материалом, который предотвращает ее ветровое возмущение. К таким материалам относятся щебень, почва, дробленый или гранулированный шлак, кора, древесные опилки [1]. Необходимо отметить, что применение механического способа борьбы с пылеуносом для портовых открытых складов невозможно из-за перемешивания укрывающего материала с хранящимся на складе грузом, что приведет к ухудшению его потребительских свойств.

Гидрообеспыливание открытых складов с сыпучими грузами заключается в предварительном увлажнении верхнего слоя груза. Причем по мере испарения воды и высыхания увлажненного слоя груза процедуру увлажнения необходимо повторять. При обеспыливании данным способом необходимо учитывать способность груза смачиваться водой.

Так, практика смачивания водой поверхностей штабелей открытых складов руды Михайловского комбината показала, что железная руда, особенно с влажностью 3 % и содержанием более 30 % частичек размером менее 250 мкм, обладает гидрофобными свойствами. При орошении большая часть распыленной воды скатывается по поверхности штабелей к его основанию [2].

Для повышения эффективности гидрообеспыливания гидрофобных сыпучих грузов к воде добавляют поверхностно-активные вещества (ПАВ), улучшающие смачивание частиц пыли груза.

При химическом способе закрепления осуществляют обработку пылящей поверхности открытого склада вяжущими составами с получением или монолитного покрытия, или оструктурируя пылящие поверхности. Для этих целей применяют водные высококонцентрированные растворы гигроскопических солей, битумы и их эмульсии, сырую нефть, органические пылесвязывающие покрытия.

Применение водных высококонцентрированных растворов гигроскопических солей (хлористый кальций, гидроокиси кальция и др.), а также использование их в твердом виде, основано на том, что они в периоды повышенной относительной влажности воздуха (особенно в ночные часы) адсорби-

ругают атмосферную влагу и тем самым смачивают пылеобразующие слои открытых поверхностей. Применение гигроскопических солей при отрицательных температурах в виде раствора высокой концентрации (25–40 %) понижает температуру их замерзания. Вместе с тем эти растворы проявляют сильное коррозирующее действие на металлы и отрицательно сказываются на эксплуатации погрузочных, транспортных средств и коммуникаций открытых складов портов.

Применение битумов и их эмульсий ограничено высокой температурой затвердевания битума. Топочные мазуты имеют высокую температуру замерзания (–4...–15) °С. Кроме этого, битумы и топочные мазуты имеют довольно высокое содержание серы до 3,5 % [3].

Использование в качестве пленочных покрытий сырой нефти приводит к возрастанию пожароопасности. Кроме этого, ухудшаются условия труда из-за выделения вредных летучих компонентов [4].

Органические пылесвязывающие покрытия представляют собой макромолекулярные вещества, обладающие гидрофобными свойствами. К ним относят силикон, полихлорвинил, полиэтилен, полипропилен, минеральные масла, растворы различных смол и глицерина, эмульгированная вода, смолянистые материалы различных эмульсий, смеси воды и технических масел и полутвердых пленок на основе битуминозных веществ [5].

Однако их недостатком, в большинстве случаев, является сложность применения в чистом виде, а приготовление с добавкой воды повышает влажность материала.

Кроме этого, подача и выдача сыпучих грузов с портовых открытых складов особенно с оперативных осуществляется постоянно, что приводит к нарушению пылезащитных покрытий, которые необходимо восстанавливать.

Итак, по результатам анализ практики снижения пылеуноса сыпучих грузов с открытых складов можно сделать следующие выводы:

- существующие методы эффективны для незначительного количества сыпучих грузов, основными из которых являются угли различных марок;
- механический способ борьбы с пылеуносом неприменим для портовых открытых складов, так как перемешивание укрывающего материала хранящимся на складе грузом приведет к ухудшению его свойств;
- применение гидрообеспыливания для портовых открытых складов ограничивается: необходимостью в большом количестве смачивающей жидкости; увеличением объемной плотности хранящегося груза; непригодностью применения для гидрофобных сыпучих грузов; невозможностью применения при превышении допустимых пределов влажности сыпучего груза и отрицательных температурах;
- химический способ закрепления пылящих поверхностей оказывает вредное влияние на свойства груза и окружающую среду, требует объемных исследований по подбору состава пылесвязывающих покрытий для конкретного вида груза;
- гидрообеспыливание и химический способ закрепления пылящих поверхностей требует значительных капиталовложений для создания или приобретения дорогостоящего оборудования по увлажнению груза или нанесению пылесвязывающих покрытий на портовые открытые склады;
- подача и выдача грузов с портовых открытых складов особенно с оперативных осуществляется постоянно и пылезащитные покрытия нарушаются, что влечет за собой их частое нанесение, а следовательно, высокие эксплуатационные затраты;
- необходима разработка технических средств, снижающих потери от пылеуноса при хранении сыпучих грузов на портовых открытых складах.

#### Список литературы

- 1 Таужнянская, З. А. Стабилизация и рекультивация хвостохранилищ обогатительных фабрик за рубежом / З. А. Таужнянская. – М. : Цветметинформация, 1976. – 12 с.
- 2 Обеспыливание открытых складов железной руды / В. С. Вашенко [и др.] // Борьба с пылью и профилактика пневмокониозов на горнорудных предприятиях : тезисы докладов на Всесоюзном науч.-техн. семинаре. – М., 1972. – С. 22–24.
- 3 Давыдов, В. В. Химический способ укрепления горных пород / В. В. Давыдов, Ю. И. Белоусов. – М. : Недра, 1977. – 226 с.
- 4 Подгорнов, А. С. Закрепление подвижных песков вяжущими веществами / А. С. Подгорнов. – М., 1980. – С. 7–20.
- 5 Белый, В. А. Полимерные покрытия / В. А. Белый, В. А. Довгяло, О. Р. Юревич. – Минск : Наука и техника, 1976. – 416 с.

## ЭКОЛОГИЧНЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ ИНИЦИАТИВЫ В РАМКАХ ЦЕЛЕЙ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

*Ю. Е. ПЕНЬКОВА*

*Самарский государственный технический университет, Российская Федерация*

*А. В. ТИМОФЕЕВ*

*Самарский государственный технический университет,  
Самарский государственный университет путей сообщения, Российская Федерация*

Современное общество на данном этапе развития трудно представить без развитой транспортной инфраструктуры. Совершенствование транспортной системы способствует экономическому росту и рациональному распределению факторов производства на территории страны с учетом приближенного расположения к районам потребления продукции и источникам сырья предприятий разных отраслей экономики. Так, автомобильный транспорт обеспечивает основой пул перевозок и является связующим элементом других видов транспорта. Однако именно транспорт является одним из лидеров выбросов парниковых газов и негативно воздействует на биоразнообразие, разрушая природные экосистемы. Масштабный рост объемов, диверсификация грузов и протяженность транспортных коммуникаций ведут к усилению нагрузки транспорта на окружающую среду, создают угрозы объектам природы и оказывают отрицательное воздействие на здоровье человека [1].

В настоящее время приоритетным направлением является развитие экологически безопасного транспорта в рамках целей устойчивого развития ООН с учетом потребностей современного поколения без ущерба для возможностей будущих поколений удовлетворять их собственные потребности. Устойчивое развитие предусматривает согласованные усилия по созданию устойчивого, инклюзивного и жизнеспособного будущего для людей и планеты [2].

В соответствии со стратегией экологической безопасности РФ до 2025 г. целями государственной политики являются сохранение и восстановление природной среды, обеспечение качества окружающей среды, необходимого для благоприятной жизни человека и устойчивого развития экономики в условиях возрастающей экономической активности и глобальных изменений климата [3].

В фокусе экологической безопасности транспорт и мобильность имеют крайне важное значение для устойчивого развития. Экологически безопасный транспорт способствует повышению уровня социальной справедливости, обеспечению устойчивости городов, установлению гибких связей между городскими и сельскими районами и повышению производительности в сельских районах, то есть обеспечивает более высокий уровень интеграции экономики. Трансформация отмеченных процессов и технологий проходит под эгидой стратегии научно-технологического развития РФ в рамках направления «Переход к экологически чистой и ресурсосберегающей энергетике, повышение эффективности добычи и глубокой переработки углеводородного сырья, формирование новых источников, способов транспортировки и хранения энергии» [4].

Инновационные экологичные транспортные инициативы активно изучаются и оцениваются, а лучшие практики транслируются и тиражируются в мировом медиапространстве. Актуальным аспектом в области рационального природопользования является функционирование университетов как ключевых участников формирования социокультурной среды. Вузы осознают потенциальную опасность негативного воздействия на окружающую среду и определяют свою роль и обязательства в сохранении благоприятной окружающей среды. В университетах, которые заботятся об экологической ситуации, создана транспортная политика, ограничивающая количество автомобилей на территории кампуса и поощряющая использование корпоративных автобусов, велосипедов и самокатов, для которых выделены специальные дорожки. Их деятельность направлена на сокращение выбросов углерода и уровня загрязняющих веществ. Набирает популярность инициатива по сведению к минимуму использования личного транспорта, так как возникают проблемы с парковкой транспортных средств и пробок в утреннее и вечернее время. Специальные парковочные места в кампусе предусмотрены не везде, а там, где они организованы, нет контроля за их использованием. В случае несанкционированной парковки на территории кампуса работает эвакуатор (взимается высокая плата за парковку), чтобы уменьшить количество личных автомобилей. На территорию



главного корпуса въезд транспортных средств возможен только по пропускам и для аварийно-спасательных служб. Также в рамках просветительской деятельности проводятся мероприятия в соответствии с целями системы экологического менеджмента [5], такие как: дни без автомобилей, лекции о преимуществах каршеринга, трансляции на тему экологичности метро/трамваев, автомобилей с нулевым уровнем выбросов, абонементы на низкие тарифы и т.д.

Так, UI GreenMetric World University Rankings – мировой рейтинг, который наиболее полно оценивает усилия университетов по поддержанию экологичности кампусов. Деятельность вузов оценивается по шести категориям: окружающая среда и инфраструктура; эффективное использование энергии и влияние на изменения климата; переработка отходов; рациональное использование водных ресурсов; транспортная политика; образование и исследования. В рамках транспортной политики рассматривается 17 показателей, из них 8 подлежат оцениванию [6]:

- 1) отношение общего количества транспортных средств к фактической численности населения кампуса, %;
- 2) степень предоставления транспортных услуг университетом, %;
- 3) степень использования транспортных средств с нулевым уровнем выбросов, %;
- 4) отношение транспортных средств с нулевым выбросом к общей численности населения кампуса, %;
- 5) отношение площади наземной парковки к общей площади кампуса, %;
- 6) транспортная программа по сокращению парковки в кампусе за последние 3 года, %;
- 7) количество инициатив по сокращению частных транспортных средств на территории кампуса, ед.;
- 8) степень обустройства пешеходных переходов (в т.ч. для инвалидов), %.

Times Higher Education Impact Rankings – еще одна глобальная таблица эффективности, в которой университеты оцениваются по направлениям 17 целей устойчивого развития ООН. Перечень показателей пересекается с предыдущим рейтингом, однако стоит отметить основные и интересные: измерение и установка целей для более экологически безопасного передвижения (пешие прогулки, езда на велосипедах, мотоциклах, электромобили или другом немоторизованном транспорте) и приверженность к углеродно-нейтральной политике университета.

Так, система рейтингования вузов позволяет выявить лидеров в сфере рационального природопользования и рассказать мировому сообществу об успешно реализуемых проектах, опираясь на конкретные примеры, в данном случае – безопасные и эффективные логистические системы, основанные на принципах экологичности транспорта.

Стоит отметить, что реализация транспортных инициатив в различных секторах экономики осуществляется в фокусе следующих целей устойчивого развития: ЦУР 7 – недорогостоящая и чистая энергия; ЦУР 9 – индустриализация, инновации и инфраструктура; ЦУР 11 – устойчивые города и населенные пункты; ЦУР 13 – борьба с изменением климата; ЦУР 17 – партнерство в интересах устойчивого развития.

Таким образом, можно подвести итог и сделать вывод о том, что развитая транспортная система определенно способствует региональному развитию, однако очень уязвима к чрезвычайным ситуациям и негативно воздействует на окружающую среду. На территории РФ осуществляется комплекс разнообразных мер технического, инфраструктурного, образовательного и культурно-воспитательного характера, направленных на охрану окружающей природной среды. Они осуществляются органами законодательной и исполнительной власти, предприятиями и организациями совместно с населением. Особое внимание стоит уделить транспортным проектам, направленным на создание и развитие устойчивых транспортных объектов, сокращение выбросов парниковых газов, обеспечение безопасности и повышение уровня жизни населения.

#### Список литературы

- 1 Духно, Н. А. Экологическая безопасность и транспорт / Н. А. Духно [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://trans-safety.ru/2019/07/09/duhno-n-a-ekologicheskaya-bezopasnost-i-transport/>. – Дата доступа : 15.09.2022.
- 2 Цели развития ООН [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.un.org/sustainabledevelopment/ru/sustainable-development-goals/>. – Дата доступа : 15.09.2022.
- 3 О Стратегии экологической безопасности РФ на период до 2025 года. Указ Президента РФ от 19.04.2017 № 176 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_215668/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_215668/). – Дата доступа : 15.09.2022.

4 О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации. Указ Президента РФ от 01.12.2016 г. № 642 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://docs.cntd.ru/document/420384257>. – Дата доступа : 15.09.2022.

5 ГОСТ Р ИСО 14001-2016 Национальный стандарт РФ системы экологического менеджмента [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://docs.cntd.ru/document/1200134681>. – Дата доступа : 15.09.2022.

6 Methodology UI GreenMetric World University Rankings [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://greenmetric.ui.ac.id/about/methodology>. – Дата доступа : 15.09.2022.

УДК 62-835

## ЭКОТРАНСПОРТ: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

*Ж. А. ПЕТРОВА*

*Оренбургский медицинский колледж – структурное подразделение*

*Оренбургского института путей сообщения –*

*филиала Самарского государственного университета путей сообщения, Российская Федерация*

Транспорт играет важную роль, объединяет в единую систему хозяйственной деятельности все важнейшие сферы материального производства. Взаимодействуя между собой, все виды транспорта образуют мировую транспортную сеть. Обмен грузами и пассажирами происходит в транспортных узлах, роль которых чаще всего выполняют города, хотя иногда транспортные узлы создаются и за их пределами. Все виды транспорта, объединённые между собой транспортными узлами, образуют транспортную систему страны, региона или мира.

По оценке специалистов, в среднем вклад отдельных видов транспортных средств в загрязнение атмосферы следующий: автомобильный – 85 %; морской и речной – 5,3 %; воздушный – 3,7 %; железнодорожный – 3,5 %; сельскохозяйственный – 2,5 %.

В России железнодорожный транспорт является одним из ведущих и экологически чистых видов транспорта. Основной ущерб окружающей среде наносится при строительстве железных дорог. Их создание требует изъятия полосы земли шириной до 50 м по всей длине трассы. В этой полосе видоизменяется растительный покров, нарушается водный режим, загрязняются почвы.

Среди всех видов транспорта автомобильный наносит наибольший ущерб окружающей среде. В местах повышенного загрязнения воздуха проживает большинство россиян, среднегодовые концентрации загрязнителей воздуха превышают предельно допустимые более чем в 600 городах России. По данным Росстата, наиболее загрязнёнными городами являются: Норильск, Красноярск и Новокузнецк. Еще в список попали Череповец, Липецк, Магнитогорск, Омск, Челябинск, Нижний Тагил, Красноярск, Братск, Чита и Медногорск Оренбургской области.

Экологических проблем вследствие использования автомобильного транспорта в современном мире не избежать. К счастью, есть пути решения проблем. Их можно решить, если действовать комплексно и глобально. К примеру, чтобы сократить выбросы выхлопных газов, негативно влияющих на окружающую среду, следует использовать качественное очищенное топливо.

Для уменьшения загрязнения воздуха модернизируются существующие двигатели внутреннего сгорания, изготавливаются новые их типы, разрабатывается возможность замены на автомобильном транспорте двигателей внутреннего сгорания иными видами энергетических установок.

Наиболее перспективным топливом для автомобильного транспорта является водород, он не загрязняет воздух отработавшими газами, неогнеоопасен, работает почти бесшумно, легок в управлении. К недостаткам автомобилей с таким видом топлива относятся: высокая стоимость, отсутствие инфраструктуры, небольшой пробег между заправками, достаточно большая масса по сравнению с автомобилем с двигателем внутреннего сгорания.

Для решения подобных проблем ведётся разработка принципиально новых типов двигателей автомобильного транспорта, использование альтернативных источников энергии. Так, в продаже стали появляться *электромобили* и *гибриды*, работающие на электричестве. На данный момент – это самый быстроразвивающийся вид экологически чистого транспорта. Несколько тысяч электромобилей уже ездят по дорогам мира. В среднем, чтобы электромобиль мог конкурировать с бензиновым, ему нужно весить в четыре раза меньше.

Основная проблема электромобилей – аккумуляторы. Именно они являются уже единственным ограничением к массовому производству электромобилей. Электродвигатель имеет КПД больше бензинового. Его ресурс намного выше, а сложность изготовления небольшая.

В настоящее время выпускаются *воздухомобили (пневмомобили)*, то есть автомобили с пневматическим двигателем, для работы которого используется сжатый воздух. Накопление энергии происходит посредством нагнетания его в баллоны. После, проходя через систему распределения, сжатый воздух попадает в пневмодвигатель, который и приводит машину в движение. Таким образом, при езде на малой скорости или на небольшие расстояния, воздухомобиль использует только воздух, не нанося вреда окружающей среде.

Есть и иные решения в области экотранспорта: химические батареи (тепло или ток выделяется при окислении металла), механические накопители энергии, пружинный привод. Пока все они находятся на стадии разработок, уступая место электромобилям.

Современным и вполне реалистичным экологическим спасением в наши дни становится использование других видов транспорта, таких как *велосипед, самокат, сегвей* или *сегвил*.

Люди во все времена искали способы передвигаться быстро и с комфортом. Именно поэтому был изобретен *самокат*, чуть позже его усовершенствовали до ДВС, а затем оснастили электродвигателем.

В 1761 Михаэль Касслер придумал уникальную «машину для ходьбы», у которой отсутствовал руль, и она мало была похожа на транспортное средство. Есть версия, что спустя 30 лет французский граф де Сирвак создал «сельярифер» – самокат, имевший конструкцию, состоящую из деревянной рамы, руля и двух колес и был больше похож на современный велосипед.

Немец Карл фон Дрез через некоторое время оснастил разработку француза полноценным колесом, а через 3 года дополнил его седлом. Еще через 3 года машину стали использовать почтальоны, чтобы разносить жителям города корреспонденцию.

Изобретение Карла фон Дреза называли по-разному – «машина Дреза», *Draisine, dandy horse, velocipede, самокат*. Интересен тот факт, что именно она послужила вдохновением для других изобретателей. Так, «машина для бега» Дреза получила три вектора развития:

- с добавлением на ось переднего колеса педали появился первый *велосипед*;
- сидячее положение сменили на стоячее, колеса уменьшили и изменили конструкцию рамы, вследствие чего и появился современный *самокат*;
- в начале XXI века конструкция была пересмотрена еще раз – так и получился *беговел*.

В начале XX века фирма Ajax Motor представила миру свой электросамокат, который потребители не оценили и пользоваться им не стали. В 1910 году смелые подростки, чьи имена неизвестны, к устройству подсоединили ДВС. Это помогло ускорить перемещение, хотя двигатель имел всего 1,5 л.с. В те годы ученые и инженеры пытались создать что-то менее тяжелое и более мобильное. Тогда был изобретен складной руль, который упростил использование агрегата. Теперь им пользовались не только почтальоны и подростки, но и звезды Голливуда.

Многие компании подхватили тенденцию и стали производить аппараты со складывающимся рулем и закрытым задним колесом. С 1950-х гг. в Америке электросамокат стал похожим на современные агрегаты. Седло было ликвидировано, а колеса увеличены в размерах. Перемещение стало доступным благодаря отталкиванию от земли. В начале 2000-х гг. изобрели мощные электромоторы. Со временем самокаты стали дополнять подвеской, клаксоном, амортизаторами и т.д.

В настоящее время существует множество примеров успешной политики в области транспорта и городского планирования, направленной на снижение уровня загрязнения воздуха, как то: переход на более чистые дизельные двигатели для большегрузных автомобилей, автомобили с низким уровнем выбросов, использование более чистых видов топлива, приоритетное развитие сетей скоростного городского транспорта, пешеходного и велосипедного движения в городах. К счастью, население уже смогло оценить все достоинства современных экологических средств передвижения, что дает надежду на то, что использование подобных видов транспорта позволит снизить негативное влияние транспорта на окружающую среду.

#### Список литературы

1 Экология города : учеб. пособие / В. В. Денисов [и др.] ; под ред. проф. В. В. Денисова. – М.-Ростов н/Д : ИКЦ «МарТ», 2008.

2 Мирзоева, Ф. М. Проблемы экологической обстановки на автомобильном транспорте в Российской Федерации / Ф. М. Мирзоева, З. З. Шекихачева [Электронный ресурс] // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 11–12. – С. 2665–2668. – Режим доступа : <https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=36042>. – Дата доступа : 25.10.2022.

3 Подгорнова, Н. А. Экологические проблемы автомобильного транспорта и пути решения / Н. А. Подгорнова [Электронный ресурс] // Молодой ученый. – 2016. – № 22.2 (126.2). – С. 48–50. – Режим доступа : <https://moluch.ru/archive/126/33712/>. – Дата доступа : 25.10.2022.

4 Всемирная организация здравоохранения [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health). – Дата доступа : 25.10.2022.

## КОРРОЗИЯ НЕРЖАВЕЮЩИХ СТАЛЕЙ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ДЕЗИНФИЦИРУЮЩИХ ВЕЩЕСТВ

А. В. ПОСПЕЛОВ, М. А. КОМАРОВ, С. В. КРАСКОВСКИЙ

*Институт общей и неорганической химии Национальной академии наук Беларуси, г. Минск*

И. В. МАЦУКЕВИЧ

*Белорусский государственный технологический университет, г. Минск*

Для дезинфекции поверхностей могут использоваться различные вещества. Обработка хлорсодержащими веществами до сих пор используется во всем мире [1, 2]. Эффективность дезинфицирующих средств для инактивации различных видов микроорганизмов и вирусов оценивают по критерию С·Т (концентрация, умноженная на время), рекомендованным ВОЗ. Величина этих критериев зависит от вида дезинфицирующего средства, вида микроорганизмов, подлежащих инактивации, температуры и концентрации основного компонента и времени обработки [3, 4]. Поскольку время обработки должно быть как можно короче, концентрация дезинфицирующего средства обычно высока. При обработке поверхностей высококонцентрированными растворами с целью дезинфекции происходит их разрушение [5–7]. В качестве альтернативы хлорсодержащим дезинфицирующим веществам рассматривается использование озона, растворенного в воде [8–12].

Исследована потеря массы сталей 03 и 08, а также миграция ионов металлов из анализируемых нержавеющей сталей 304, 316 и 321. Для исследования были взяты растворы гипохлорита натрия, гипохлорита кальция, хлорамина Б, хлорной извести и растворенного озона в воде. Исследуемая концентрация хлорсодержащих реагентов 2 мас. % активного хлора. Потерю массы образцов сталей 03 и 08 проводили после 24 часов нахождения образцов в растворах (рисунок 1).

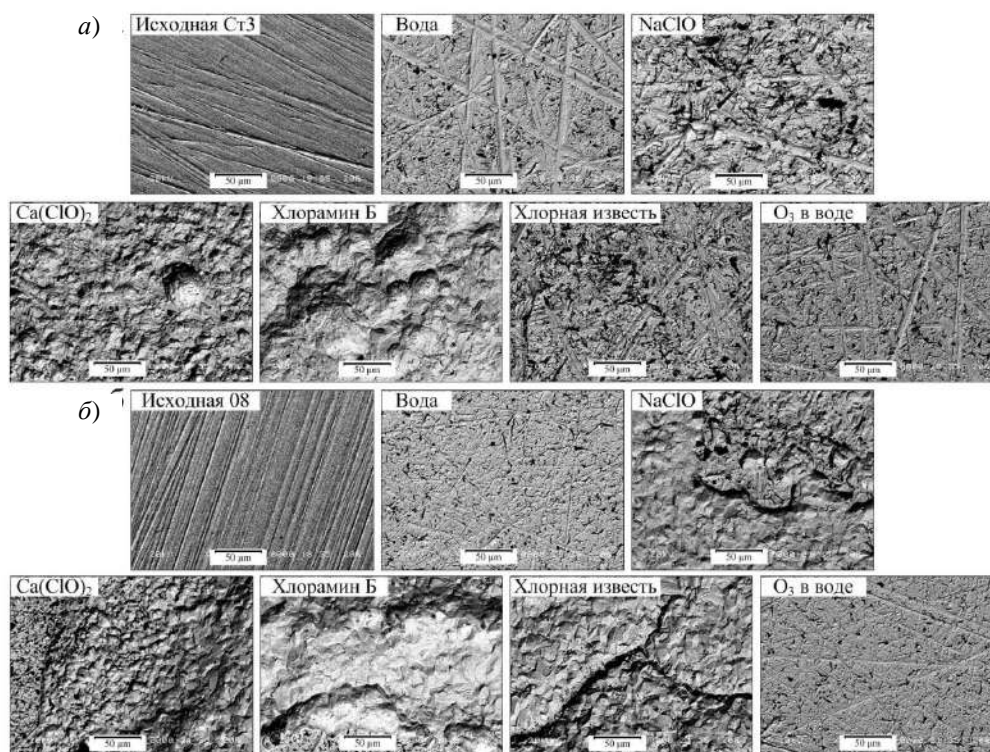


Рисунок 1 – Результаты сканирующей электронной микроскопии поверхности стали Ст03 (а) и 08 (б)

Сталь Ст03 показала большую потерю массы, скорость коррозии и долю скорродировавшей поверхности по сравнению со Ст08, что можно объяснить меньшим содержанием углерода (в 2,4 раза) в Ст08. Эксперименты по потере массы показали снижение скорости коррозии со временем для всех испытанных условий. Максимальная скорость коррозии наблюдалась в первые 8 часов эксперимента. Потеря массы образцов уменьшалась в ряду  $\text{Ca}(\text{ClO})_2 > \text{NaClO} > \text{Хлорамин Б} > \text{хлорная}$

известь. Скорость коррозии была выше для NaClO по сравнению с Ca(ClO)<sub>2</sub>. Это можно объяснить образованием очагов коррозии при обработке Ca(ClO)<sub>2</sub>. Потеря массы и скорость коррозии для Ca(ClO)<sub>2</sub> в 2 раза выше по сравнению с раствором NaClO. Потеря массы в озонированной водопроводной воде была почти сравнима с потерей массы образцов в воде. В растворах NaClO, Ca(ClO)<sub>2</sub> и хлорной извести коррозия характеризуется наличием трещин, питтингов. При использовании хлорамина Б коррозия характеризуется как равномерная, без трещин и питтингов. На поверхности стали, обработанной хлорной известью, признаки коррозии носят более локальный характер в сравнении с гипохлоритом кальция и натрия. В то же время можно сделать вывод, что хлорамин оказывает травящее действие на поверхность.

Получены зависимости потери массы, скорости коррозии, доли повреждения поверхности в зависимости от времени нахождения исследуемых сталей 03 и 08 в растворах дезинфицирующих веществ.

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 Романовский, В. И. Сравнительный анализ эффективности дезинфекции сооружений водоснабжения дезинфицирующими растворами / В. И. Романовский, И. В. Рымовская, С. Янь Фэн // Вода magazine. – 2015. – № 10 (98). – С. 18–21.
- 2 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 / Белорус. нац. техн. ун-т. – Минск : Право и экономика, 2015. – С. 211–226.
- 3 Определение основных параметров дезинфекции и обеззараживания озоном сооружений питьевого водоснабжения / В. И. Романовский [и др.] // Труды БГТУ / Химия и технология неорган. в-в. – 2015. – № 3 (176). – С. 108–112.
- 4 Анализ эффективности 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.
- 5 Романовский, В. И. Коррозионная устойчивость углеродистых сталей к дезинфицирующим растворам / В. И. Романовский, Ю. Н. Чайка // Труды БГТУ : Химия и технология неорган. в-в. – 2014. – № 3 (167). – С. 47–50.
- 6 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.
- 7 Романовский, В. И. Коррозионная устойчивость стали 15 к дезинфицирующим растворам / В. И. Романовский, В. В. Жилинский // Труды БГТУ : Химия и технология неорган. в-в. – 2015. – № 3 (176). – С. 29–34.
- 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 Ozone disinfection of water intake wells and pipelines of drinking water supply systems / V.I. Ramanouski [et. al.] // Proceedings of BSTU. Chemistry and technology of inorganic substances. – 2013. – № 3. – P. 51–56.
- 10 Романовский, В. И. Исследование растворимости озона в воде по высоте столба жидкости / В. И. Романовский, В. В. Лихавицкий, А. Д. Гуринович // Труды БГТУ : Химия и технология неорган. в-в. – 2015. – № 3 (176). – С. 113–118.
- 11 Гуринович, А. Д. Эффективность дезинфекции озоном сооружений систем водоснабжения / А. Д. Гуринович, В. И. Романовский, Ю. Н. Бессонова // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. – 2016. – № 10. – С. 48–51.
- 12 Дезинфекция озоном водозаборных скважин и трубопроводов систем питьевого водоснабжения / В. И. Романовский [и др.] // Труды БГТУ : Химия и технология неорган. в-в. – 2013. – № 3 (159). – С. 55–60.

УДК 620.194/.196

### КОРРОЗИЯ УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ДЕЗИНФИЦИРУЮЩИХ ВЕЩЕСТВ

*А. В. ПОСПЕЛОВ, М. А. КОМАРОВ, С. В. КРАСКОВСКИЙ*

*Институт общей и неорганической химии Национальной академии наук Беларуси, г. Минск*

*И. В. МАЦУКЕВИЧ*

*Белорусский государственный технологический университет, г. Минск*

Хлорсодержащие дезинфицирующие вещества нашли широкое применение в быту, при дезинфекции поверхностей в зданиях и на сооружениях, например в системах водоподготовки [1, 2]. Одной из перспективных замен хлорсодержащим дезинфицирующим веществам предложено исполь-

зование озона [3, 4]. Многократное применение различных дезинфицирующих средств в высоких концентрациях для периодической дезинфекции поверхностей может привести к деградации поверхности стали, сопровождающейся миграцией металлов в окружающую среду и образованием пор [5–7]. Некоторое количество дезинфицирующего средства может оставаться в порах даже после тщательной промывки и может привести к усилению коррозии даже после цикла обработки. Некоторое количество дезинфицирующего средства может также попадать в пищу и воду, особенно на шероховатые и деградировавшие стальные поверхности, и оказывать неблагоприятное воздействие на желудочно-кишечный тракт. При обработке поверхностей в пищевой промышленности, с точки зрения безопасности, такая ситуация нежелательна из-за возможного вымывания металлов и других веществ. При обработке поверхностей высокими концентрациями хлорсодержащих дезинфицирующих веществ также происходит их разрушение. Несмотря на то, что дезинфекция стальных поверхностей с использованием различных дезинфицирующих растворов хорошо известна, относительно мало информации для оценки деградации стали в зависимости от различных параметров обработки и типа дезинфицирующего средства, особенно в сравнении с озоном. Ранее такие исследования были выполнены нами для низких концентраций хлорсодержащих веществ [8–12]. Среди дезинфицируемых поверхностей часто встречаются нержавеющие стали и сплавы. Поскольку нержавеющие стали достаточно устойчивы в исследуемых растворах, то задачей данной работы было оценить миграцию тяжелых металлов из нержавеющих сталей с использованием хлорсодержащих дезинфицирующих веществ и растворенного в воде озона.

Исследована миграция ионов металлов из анализируемых нержавеющих сталей 304, 316 и 321. Для исследования были взяты растворы гипохлорита натрия, гипохлорита кальция, хлорамина Б, хлорной извести и растворенного озона в воде. Исследуемая концентрация хлорсодержащих реагентов 2 мас.% активного хлора. Количественный и качественный анализ миграции элементов из нержавеющих сталей проводили после 30 дней нахождения исследуемых сталей в исследуемых растворах дезинфицирующих веществ.

Основными выщелоченными элементами из нержавеющих сталей были Fe>Cr>Ni>Mn>Mo с одинаковой тенденцией для всех хлорсодержащих растворов. В воде и в растворенном в воде озоне все значения концентрации тяжелых металлов не превышают пределов обнаружения прибора. Суммарное выщелачивание элементов уменьшается в ряду сталей 304>316>321. Максимальное выщелачивание элементов наблюдалось для растворов Ca(ClO)<sub>2</sub>. В растворах Ca(ClO)<sub>2</sub> общее выщелачивание металлов для 304 было в 4,1 раза выше по сравнению с 316 и в 4,9 раза выше по сравнению с 321. Максимальное выщелачивание молибдена наблюдалось для 316 в растворе Ca(ClO)<sub>2</sub>. Для 304 стали использование NaClO привело к выщелачиванию в 2,2 раза меньшего количества ионов, чем при использовании хлорамина Б. Для стали 316 при использовании хлорамина Б выщелочилось в 2,5 раза больше элементов, чем при обработке NaClO. Для стали 321 использование хлорной извести, хлорамина и гипохлорита натрия дало практически одинаковые результаты. Для них полученные значения до 15 раз ниже, чем при обработке в растворе гипохлорита натрия. Наименьшее количество выщелоченных элементов было при использовании раствора хлорной извести для всех типов сталей.

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 Романовский, В. И. Сравнительный анализ эффективности дезинфекции сооружений водоснабжения дезинфицирующими растворами / В. И. Романовский, И. В. Рымовская, С. Янь Фэн // Вода magazine. – 2015. – № 10 (98). – С. 18–21.
- 2 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 / Белорус. нац. техн. ун-т. – Минск : Право и экономика, 2015. – С. 211–226.
- 3 Определение основных параметров дезинфекции и обеззараживания озоном сооружений питьевого водоснабжения / В. И. Романовский [и др.] // Труды БГТУ : Химия и технология неорганич. в-в. – 2015. – № 3 (176). – С. 108–112.

4 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.

5 Романовский, В. И. Коррозионная устойчивость углеродистых сталей к дезинфицирующим растворам / В. И. Романовский, Ю. Н. Чайка // Труды БГТУ : Химия и технология неорганических веществ. – 2014. – № 3 (167). – С. 47–50.

6 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.

7 Романовский, В. И. Коррозионная устойчивость стали 15 к дезинфицирующим растворам / В. И. Романовский, В. В. Жилинский // Труды БГТУ : Химия и технология неорганических веществ. – 2015. – № 3 (176). – С. 29–34.

8 Романовский, В. И. Эффективность использования озона в технологии водоподготовки / В. И. Романовский, А. Д. Гуринович, П. Вавженюк // Водочистка. – 2014. – № 2. – С. 66–70.

9 Ozone disinfection of water intake wells and pipelines of drinking water supply systems / V.I. Ramanouski [et. al.] // Proceedings of BSTU. Chemistry and technology of inorganic substances. – 2013. – № 3. – P. 51–56.

10 Романовский, В. И. Исследование растворимости озона в воде по высоте столба жидкости / В. И. Романовский, В. В. Лихавицкий, А. Д. Гуринович // Труды БГТУ: Химия и технология неорганических веществ. – 2015. – № 3 (176). – С. 113–118.

11 Гуринович, А. Д. Эффективность дезинфекции озонем сооружений систем водоснабжения / А. Д. Гуринович, В. И. Романовский, Ю. Н. Бессонова // Водочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. – 2016. – № 10. – С. 48–51.

12 Дезинфекция озонем водозаборных скважин и трубопроводов систем питьевого водоснабжения / В. И. Романовский [и др.] // Труды БГТУ : Химия и технология неорганических веществ. – 2013. – № 3 (159). – С. 55–60.

UDC : 620.22: 678.073

## THERMOPLASTICS RECYCLING PROCESSING TECHNOLOGY FOR MECHANICAL ENGINEERING

A. A. RISKULOV, A. S. IBADULLAEV, Kh. I. NURMETOV,  
*Tashkent State Transport University, Uzbekistan*

Plastics, the materials based on polymers, are capable of acquiring a specified form on heating under pressure and maintaining it after cooling. Depending on the designation and conditions of operation plastics can contain auxiliary materials: filling compounds, plasticizers, stabilizers, pigments, lubricants, etc.

Manufacture of plastics which was born in the middle of the 19th century has been developing at a high rate since the late 1930s. In the early 1990s, the world's production of plastics was as high as 102 m tons/year, being increased by 52% in the period between 1980–1990's. At present, the role of polymers in life activity of humans is so great that standards of living can be assessed by the levels of application of these materials. In 1995, the average consumption of plastics per capita in the world was 19.7 kg and in different countries, it varied from 200 g (Pakistan) to nearly 200 kg (Belgium). In the late 1990, the production of plastics in Belarus amounted to 58 kg/ man per year.

Depending on the temperature of forming of plastics the latter are subdivided into thermoplastics and reactoplastics, with the bases being composed of thermoplastic and thermoreactive polymers [1].

Up until the beginning of the 20<sup>th</sup> century, the methods for polymer processing into goods imitated the known methods for processing such materials as clay and soft metals (casting, pressing, forming), and it was not until the middle of the 20<sup>th</sup> century that novel technologic methods for molding of plastics appeared which are based on application of polymer specific properties: pneumatic-and vacuum molding, calendaring, etc. Now target methods and techniques for processing of plastics may number into the dozens.

High specific strength, corrosion resistance, thermal and electrical conduction as well as a combination of other advantages of metallic materials cannot completely meet requirements of experts in development of brand new technical equipment and technologies. Moreover, developers and technologists have to take into consideration depletion of raw stocks of traditional machine-building materials and increased power inputs and efforts related to their exploration, output, and transportation and processing [1].

Therefore the key problems of up-to-date material science cover development of structural materials using new types of raw materials, more integral application of traditional and secondary resources and optimization of material structures so as to impart them a complex of unusual and, often, contradictory properties. A topical orientation in solution of these problems is development of machine-building materials based on synthetic natural and artificial binding materials. Plastics, rubbers, wood plastics and ceramic materials are among the most common and promising materials.

In choosing the technology for plastics processing we can use the following classification based on the physical state of a polymer material in shaping the good or molding [2]:

- 1) polymers in a viscous-flow state are processed by extrusion, high-pressure casting, pressing;
- 2) film and laminary intermediates in high elastic state are processed by vacuum molding, warm forming, drawing;
- 3) hard polymers manifesting inducing high elasticity are treated by forming at room temperature, rolling;
- 4) polymer solutions and dispersion are applied in manufacture of films by flowing, forming of casings by dipping of a form, rotational forming of castings from plastisols (pastes based on PVC and plasticizer), application of polymer powder coverings;
- 5) sintering of pressed powder intermediates (pressings) from reactoplasts of thermal plastics with high viscosity in a viscous-flow state (fluoroplasts).

Thermal plastics goods can often be manufactured by several different methods. The choice of processing method for every specific product is governed by a diversity of factors, with the most important ones being the following:

- design;
- technological property of a polymer material;
- operation conditions of a product, and the resulting requirements for them ( surface quality, dimensional accuracy, the presence of accessories, threadings, etc.);
- anticipated product replication;
- economic and ecologic factors (cost of equipment and accessories, their productivity and durability, labor inputs, qualification of workers, amount of material wastes, possibility of after-processing, etc.).

Thermoplastics are processed into goods with technologic equipment, the operational principle being based on the property of a thermoplastic material being reversibly converted into a viscous-flow state. The following methods for thermoplastic processing received industrial application: extrusion, high-pressure casting, compression forming, sintering and mechanical treatment [3].

*Extrusion* (squeezing-out) is a process of manufacturing of goods of required forms and dimensions or elongated profile semi-processed products by heating of polymer granules (granulate) and forcing the polymer mass that is in a viscous-flow state through the forming aperture of extruder head (Figure 1, a).

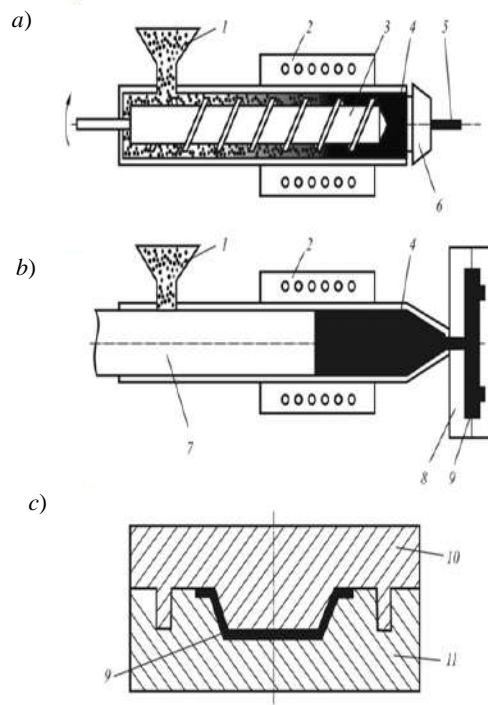


Figure 1 – Methods for plastics processing:

- a* – extrusion (squeezing out); *b* – high-pressure casting (injection); *c* – compression forming;  
 1 – granulate; 2 – heater; 3 – screw conveyer; 4 – melt; 5 – extruded profile; 6 – head; 7 – piston (plunger); 8 – casting form;  
 9 – cast product (pressing); 10 – plug; 11 – matrix



The main part of a special extruder for squeezing out of melt is a screw (screw conveyor). Thermoplastic as granules or powder *1* comes from a feed hopper into a heated cylinder 4 where it is moved by a rotating screw 3. The material is tightened and under the action of heat coming from a heating element 2 is converted into a thick-flow state. Thereafter it is continuously forced through a calibration instrument (head) 6 as profile 5.

Flat (sheets), profile (profile (angles, channels) and voluminous (tubes) goods are formed depending on the form of the aperture in the head. By ballooning of the squeezed tube hose stock with the help of air, films of various thickness and length are obtained. To increase strength and decrease thickness of the films, the hose is subjected to one-or two-axis orientation. Special design of heads with extrusion nozzles supplied by a great number of low diameter apertures makes it possible to extrude filaments and fibers. The *melt-spinning technology* allows for extrusion of fiber with subsequent gravitation drawing and strengthening. The *melt-blowing method* (spraying of polymer melt by a gas flow) is used for production of fibrous unwoven fabrics with various porosity and density.

*Extrusion* is one of the most productive methods for processing of thermal plastics. Aggregates with the productivity as high as 10 t/h are created with a great degree of technologic process automatization. Extrusion is used to produce polymer tubes with a 1.5-m diameter and films of 25-m width. A new promising equipment, reactors-extruders, is developed. The processes of melting and polymerization are combined in such instruments. The first specimens of such equipment of 50 kg/h productivity were used for manufacture of polymethylmethacrylate articles.

*High-pressure casting* is executed with the help of special machines with a plunger and screw injection device (Figure 1, *b*). Processing of thermoplastics by high-pressure casting is based on heating of the material to a viscous-flow state, its replacement under pressure to a mold and subsequent cooling of the cast providing for stability of its shape. A thermoplastic polymer *1* as granules enters a feed hopper to a cylindrical cavity of an injection machine where the predetermined temperature is maintained. A piston or a plunger 7 which is periodically set into motion squeezes the polymer mass into a divided cooled mold 8 where the end product 9 is being molded. Modern casting machines can mold production weighing in the range from a fraction of a gram to 100 kg.

The high-pressure casting is used to produce a high production mix of items for constructional, antifirction and general purposes. The equity of the method is a high accuracy and quality of the goods, Application of multicavity molds, preliminary heating of raw materials and the high degree of process automatization (completely automated lines have been developed which are operated by a computer) allow for attainment of high efficiency of equipment application.

Thermoplastics as sheets or films are processed by *compression molding*. The essence of the method is in forming of a polymer intermediate as a sheet or a film with the help of compressed air (pneumoformation) or vacuum (vacuum-formation). Compression molding is used for manufacture of large-sized items of a complex configuration: parts of automobiles, casts for television-and radio equipment, hulls of boats, etc [3].

*Sintering* is used for processing of thermal plastics with high melting points and great viscosities of the melts (fluoroplasts, high-filled polyolefines). The traditional technology of sintering includes operations of component mixing, pressing of the mixtures in a mold, sintering of the pressing and cooling of the product. The products are sintered at a temperature of 5...10 °C in excess of the melting point of the basic thermoplastic. A protective gas medium (nitrogen, carbon dioxide) is used for prevention of product oxidation.

Reactoplasts are processed into goods by pressing, compression molding, centrifugal molding and winding. The most common method for processing of reactoplasts is pressing: direct (compression), casting (transferring), rotor and continuous profile pressing (extrusion pressing).

General operations for pressing of all types are loading of the press composition into a form, its transition to a viscous-flow state, shaping the blank under pressure, fixation of the product form by formation of a cross-linked structure of the material under pressure and temperature and cooling of the product. In direct, casting and rotor pressings, the products are implemented and the form is fixed in a closed volume, a tool's molding cavity (Figure 1, *c*). Large-sized products are molded by extrusion pressing during continuous process of plunger pressing combined with heating of the powder composition. The process is completed by squeezing of the product through a nozzle.

The technologic process of manufacturing from a special type of polymer raw materials named press materials includes the following main operations: preparation of materials and their dosing, pressing of

tablets, preliminary heating of tableted material, its loading into a molding tool, closing the molding tool, premolding, exposure to pressure, disclosure of the molding tool and withdrawing of the product, cleaning of the molding tool and preparation to the subsequent cycle of molding [4].

The initial thermoreactive press-powder which has passed through input control is tableted to decrease the volume of the press mass and increase the accuracy of its dosage. To reduce the duration of material exposure to pressure, preliminary heating of the tablets is carried out at the temperature of reactoplast cross-linking. During heating the binding product is partially cross-linked and the adsorbed low-molecular-weight products are removed. The heating is implemented with IR-heaters or RF current. After closure of the heated matrix and plug of the loaded molding tool, the press material undergoes cross-linking of the polymer binding agent. These are generally polycondensation processes accompanied by release of water and gases. The latter stipulate the porosity of the product, worsening its properties. To remove low-molecular-weight substances from the molding tool, 2 or 3 *premoldings* are carried out: lifting of the plug for a short time followed by a rapid closure of the molding tool. The premolding duration amounts to 1–5 s.

The most prolonged operation of the molding technological cycle is high temperature exposure of the molding tool to pressure which is required for complete hardening of thermoreactive press material. To remove residual strains occurring during molding, the parts are thermally processed.

Transfer molding includes similar technological operations. The constructive feature of the molding tools applied for this method implementation, it the presence of a special loading chamber (precombustion chamber) from which polymer material in a viscous-flow state is squeezed into tool's molding cavity.

#### References

1 Structures of functional elements manufactured using the composite materials / K. Nurmetov [at all.] // AIP Conference Proceedings 2432, 030059 (2022) <https://doi.org/10.1063/5.0089888>.

2 Nurmetov, K. Composite tribotechnical materials for autotractors assemblies / K. Nurmetov, A. Riskulov, J. Avliyokulov // E3S Web of Conferences 264, 05012 (2021) <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126405012>.

3 Features of the physicochemical processes in a metal-polymer system / A. A. Ryskulov [at al.] // International Polymer Science and Technology. – Vol. 41, no 8. – P. 33–39.

4 Ryskulov, A. A. The temperature factor of the size parameters of nanoparticles. / A. A. Ryskulov, V. A. Liopo, S. V. Avdeichik // International Polymer Science and Technology. – Vol. 41, no 3. – P. 42–47.

УДК 629.436

### К ВОПРОСУ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БЕЗУГЛЕРОДНОГО ТОПЛИВА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ДИЗЕЛЕЙ ТЕПЛОВЗОВ

*А. Д. РОСЛЯКОВ, Л. С. КУРМАНОВА, В. А. ИВАНОВ, Н. И. КРЮКОВА, А. А. МУНИШКИНА  
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, 2].

При переводе дизелей тепловозов на работу с использованием альтернативного топлива возникает необходимость создания или модернизации системы подачи двух топлив и оптимизации её работы, а также обеспечение надёжного, своевременного и устойчивого воспламенения топлива и надёжной работы топливных насосов и форсунок [3].

Наиболее значимыми токсичными компонентами отработавших газов дизелей тепловозов являются оксиды азота  $\text{NO}_x$ , которые представляют особую опасность для атмосферы, имеют II класс опасности, высокий в сравнении с монооксидами углерода, дымностью и углеводородами (ГОСТ 33754-2016).

Комплекс мероприятий по снижению вредных выбросов в отработавших газах и повышению экологической безопасности включает в себя три основные группы такие, как: конструктивные, эксплуатационные и химико-технологические [4].

Аммиак является перспективным видом моторного топлива, его с уверенностью можно отнести к безуглеродной энергетике, так как он превосходит остальные виды по ряду преимуществ: безопасность, стоимость, гибкость производства и топливная взаимозаменяемость (рисунок 1).

Одним из наиболее перспективных методов снижения токсичности ОГ транспортных дизелей является метод селективного каталитического восстановления (СКВ) NOx аммиаком, который нашел применение в снижении токсичности промышленных выбросов при сжигании топлива.

Наиболее эффективным является использование смешанного топлива в тепловозных двигателях, в котором доля замещения аммиака по массе при смешении с дизельным топливом варьируется в диапазоне от 40 до 60 %.

Для этого разработана технология очистки отработавших газов от вредных выбросов за счет использования аммиака. Технология не требует высоких затрат и не представляет сложности в применении благодаря простоте реализации (рисунок 2).



Рисунок 1 – Преимущества использования аммиака

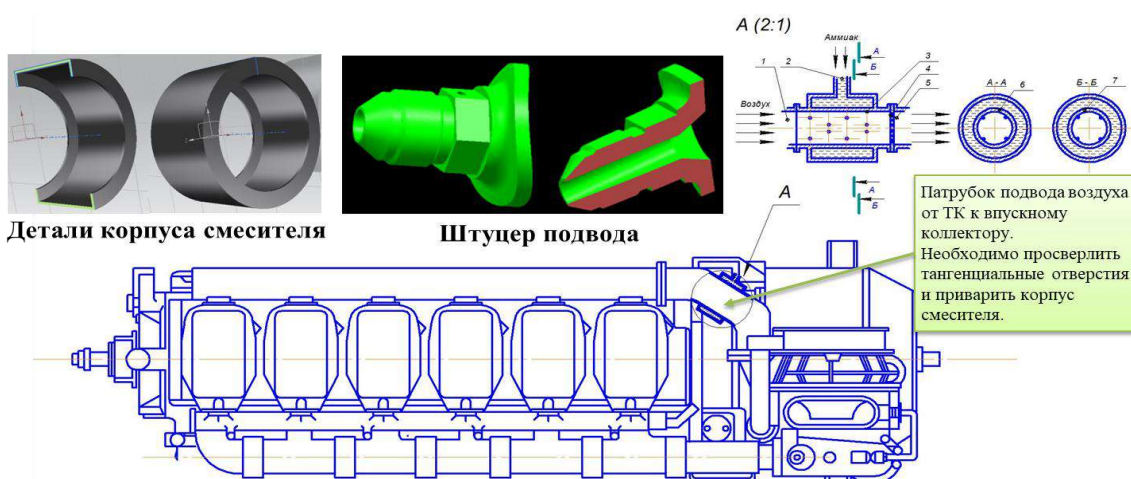


Рисунок 2 – Устройство подачи аммиака на дизеле тепловоза ТЭМ18

Для осуществления процесса очистки отработавших газов выполняют однородное перемешивание дымового газа и паров NH<sub>3</sub>, образовавшегося в результате испарения аммиачной воды. Важно получить однородную смесь с тем, чтобы обеспечить высокую эффективность процесса СКВ и минимизировать проскок NH<sub>3</sub> (содержание непрореагировавшего NH<sub>3</sub>) на выходе из реактора.

Далее смесь аммиак/выхлопной газ проходит через катализатор, в присутствии которого оксиды азота превращаются в азот и водяной пар. Оксиды азота, которые в основном состоят из NO и NO<sub>2</sub>, конвертируются согласно следующим схемам реакции:



Как видно из вышеприведенных схем, конверсия оксидов азота не создает вторичных загрязнителей, так как продуктами реакции являются только азот и водяной пар, которые уже присутствуют в атмосфере в больших количествах.

Исходя из уравнения (1) получаем, что для нейтрализации 1 кг окиси азота NO требуется 0,567 кг аммиака NH<sub>3</sub>, а с учетом уравнения (2) для нейтрализации 1 кг двуокиси азота NO<sub>2</sub> требуется 0,493 кг аммиака NH<sub>3</sub>. В соответствии с результатами испытания с определением экологических характеристик в сумме окислов азота NO<sub>x</sub> основную часть 90–95 % составляет окись азота NO, а двуокись азота NO<sub>2</sub> составляет остальную часть примерно 5–10 %.

Предельно допустимые значения удельных средневзвешенных выбросов вредных веществ (г/кВт·ч) по ГОСТ 31967-2012 для дизельных двигателей равны по сумме NOx 12 г/кВт·ч.

При работе тепловоза ТЭМ18 на 8-й позиции контроллера при мощности 882 кВт за час будет выделено максимум 10,6 кг NOx и для его нейтрализации потребуется 6 кг аммиака. Учитывая тот факт, что маневровые тепловозы работают в основном на пониженных режимах (в основном от 2-й до 5-й поз. контроллера), расходы аммиака будут в разы меньше.

#### Список литературы

- 1 **Климентьев, А. Ю.** Аммиак – перспективное моторное топливо для безуглеродной экономики / А. Ю. Климентьев, А. А. Климентьева // Транспорт на альтернативном топливе. – 2017. – № 3 (57). – С. 32–44.
- 2 **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.
- 3 **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.
- 4 **Фролов, С. Г.** Уменьшение вредных выбросов транспортных дизелей путем нейтрализации оксидов азота / С. Г. Фролов, А. Д. Росляков // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. – 2009. – № 3 (19). – С. 138–142.

УДК 65-05

## МЕДИЦИНСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ ВРЕДНОСТЕЙ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

*Н. А. СЕРГЕЕВА*

*Оренбургский медицинский колледж – структурное подразделение  
Оренбургского института путей сообщения – филиала Самарского государственного  
университета путей сообщения, Российская Федерация*

Железнодорожный транспорт является одной из ведущих отраслей народного хозяйства России и занимает приоритетное положение среди других видов транспорта. Специфическими приоритетными задачами на железнодорожном транспорте являются обеспечение безопасности движения поездов, оптимизация перевозочного процесса, охрана и укрепление здоровья работающих. Основным звеном в обеспечении этих задач в технологической системе «человек – технические средства – среда» является человек, от профессиональной пригодности которого и зависит устойчивая деятельность отрасли. Развитие транспорта в современных условиях, привлечение в эту отрасль многомиллионных контингентов работников, специфика условий и организации труда обуславливают насущную необходимость развития исследований по вопросам гигиены труда на транспорте [1].

Известно, что здоровье человека включает в себя не только состояние соматического, физиологического психического здоровья, но также и состояние профессионально значимых функций. Одним из основных клинических аспектов этой проблемы является медицинский отбор в профессии железнодорожника. Система здравоохранения на железнодорожном транспорте рассматривается как важная составляющая жизнедеятельности и устойчивой работы отрасли, инструмент повышения эффективности производственной деятельности.

Среди основных профессий, работники которых подвергаются воздействию производственных вредностей, в первую очередь, следует отметить работников локомотивного хозяйства, путевого хозяйства, вагонного хозяйства. Они постоянно сталкиваются с гигиенически нормируемыми параметрами шума, вибрации, тепловых, инфракрасных, радиационных, электромагнитных излучений, уровнем искусственной освещенности, микроклимата и другими, которые доказательно оказывают существенное влияние на организм работника транспорта, формируя у него развитие хронической патологии. Существенное значение в комплексе неблагоприятного воздействия на состояние здоровья работников транспорта приобрели химические факторы, формирующиеся при перевозке и переработке опасных и особо опасных химических грузов, а также грузов, даже пищевых, но обрабатываемых различными фумигантами, или обладающие аллергенными свойствами, полимерные и синтетические материалы строительного и отделочного назначения на транспортном объекте [1–4].

Особенностью труда машинистов является отсутствие определенного ритма в работе: начало и окончание смены в разные часы, отсутствие во время работы регламентированного перерыва для отдыха и приема пищи. Трудовая деятельность не сопровождается значительными физическими усилиями, однако требует значительного нервно-эмоционального напряжения, иммобилизации двигательного аппарата и напряжения зрительного, слухового, анализаторов. В трудовом процессе существует опасность снижения трудоспособности, а именно появление усталости. Этому способствуют однообразный вид набегающего железнодорожного полотна, мелькание опорных столбов, монотонный шум механизмов, равномерное покачивание, ритмичный стук колес. Во время управления поездом машинист одновременно наблюдает за многими объектами: профилем и состоянием железнодорожного пути, путевой сигнализацией, посторонними предметами, которые угрожают безопасности движения. Кроме того, он следит за показаниями контрольно-измерительных приборов в кабине, напряжением в контактной сети, локомотивной сигнализацией. Во время движения поезда с повышенной скоростью, машинист должен в кратчайшее время не только воспринять определенный сигнал, но и правильно осмыслить его, принять и реализовать соответствующее решение в виде необходимого двигательного акта. Чем выше скорость, тем короче промежутки времени для реализации указанного цикла, т. е. необходимо решить задание с повышенной ответственностью в условиях не только дефицита времени, но и информации. Основная нагрузка переработки информации приходится на зрительный анализатор (около 90 %). Машинист должен иметь хорошую зрительную память, правильно определять расстояние (для определения тормозного пути), а также выработать навыки быстрого установления причин технических неполадок и быстрого определения метода их устранения. Наряду с этим, информация поступает в звуковой (речь, шум) и вибрационной (от работающих агрегатов, движения локомотива) форме. Возникает напряжение, связанное с тонким зрительным различием (цветоразделение, различие объектов железнодорожного пути и др.). Основным источником шума является генератор, тяговые двигатели, вентиляторы, ветродувы, ходовые части. Уровень шума в кабине электровоза во время движения со скоростью 20–100 км/ч, при закрытых окнах уровень эквивалентного звукового давления составляет 47–72 дБА, во время стоянки с работающим двигателем 52–63 дБА, при одновременном разговоре машиниста с диспетчером 61–78 дБА, в машинном отделении во время движения до 78 дБА, а в кабинах отдельных тепловозов, уровень достигает до 118–120 дБ. При таком уровне идёт нагрузка на слуховой аппарат [1, 4].

По данным А. М. Волкова регулярный транспортный шум приводит к развитию беспокойства и раздражительности у 86 % машинистов, бессонницы у 68,3 %, вызывает нарушения сна и способствует возникновению неврозов у 33,4 % работающих. Уже при уровнях шума 35–40 дБ снижается скорость усвоения информации и умственная работоспособность, а при действии шумов более высоких уровней их неблагоприятное влияние на состояние здоровья резко возрастает. Таким образом, к числу шумоопасных железнодорожных профессий относятся водительские профессии, механики рефрижераторных секций и поездов, водители самоходных путевых машин, а также работники вагоноремонтных предприятий, кузнецы и др. В связи с этим наибольшее число заболеваний профессиональной тугоухостью, согласно данным ВНИИЖГ, в настоящее время официально регистрируется среди машинистов электровозов и тепловозов – более 30 %, кузнецов – около 10 % и обрубщиков – около 8 % от числа всех больных профессиональной тугоухостью. Таким образом, наиболее высокий риск развития профессиональной тугоухости имеют работники железнодорожных профессий, в которых уровень шума превышает ПДУ от 10 до 25 дБ. Нейросенсорная тугоухость профессионального генеза наиболее часто диагностируется у машинистов электровозов и тепловозов, компрессионных установок, кузнецов, обрубщиков, слесарей-ремонтников и др. Таким образом, сроком развития профессиональной тугоухости в зависимости от экспозиции производственного шума является не менее чем 10-летнее воздействие производственного шума. В группе работников службы движения отмечен самый высокий уровень болезней органов пищеварения, объясняемый отсутствием в течение смены горячего питания, в группе подземных работ наиболее распространены болезни костно-мышечной системы, что можно связать со значительными физическими нагрузками в условиях перепада температур.

Воздействие всего комплекса вышеперечисленных факторов производственной среды на работников транспорта характеризуется двумя принципиальными отличиями от любой другой даже самой опасной и тяжелой профессии. Во-первых, ни в одной другой профессии на работника эти фак-

торы не воздействуют одновременно, длительно аккумулируясь и усугубляя друг друга. Во-вторых, в любой другой профессии работник, особенно учитывая наличие даже одного из названных выше неблагоприятных производственных факторов, имеет право на сокращенный рабочий день. Возвратившись домой к семье, друзьям, отдыху он может получить полный комплекс реабилитации.

#### Список литературы

- 1 Бичкаев, Л. И. Влияние производственных факторов на развитие основных заболеваний у различных профессиональных групп железнодорожников : учеб. пособие / Л. И. Бичкаев. – Ростов н/Д : Феникс, 2020. – 234 с.
- 2 Капцов, В. А. Основные факторы профессионального риска у работников железнодорожного транспорта : метод. пособие // В. А. Капцов, В. Б. Панкова, В. С. Кутовой. – Ростов н/Д : Феникс, 2020. – 257 с.
- 3 Капцов, В. А. Современное состояние и перспективы развития железнодорожной гигиены / В. А. Капцов // Медицина труда и промышленная экология. – 2020. – № 12. – С. 32–40.
- 4 Капцов, В. А. Новые организационно-методические подходы к профилактическим медицинским осмотрам на железнодорожном транспорте / В. А. Капцов, А. Ю. Троицкая, В. Б. Панкова // Гигиена и санитария. – 2020. – № 2. – С. 66–70.

УДК 625.142:502.3

## РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ШПАЛ НА ДОРОГАХ РОССИИ

*И. С. ФЛЯГИН*

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

Шпалы служат для того, чтобы принимать нагрузку от рельсовых нитей и передавать ее на слой балласта, упруго преобразовывать возникаемое динамическое влияние, обеспечивать постоянную ширину колеи в пределах норм и допусков и вместе с балластным слоем обеспечивать устойчивость всей рельсошпальной решетки как в горизонтальной плоскости, так и в вертикальной.

А также, шпалы по своей характеристике должны отвечать высоким показателям прочности, упругости, иметь хорошее сопротивление к механическому износу и перемещению в различных плоскостях, иметь более простые формы, длительные сроки эксплуатации и невысокую стоимость производства и содержания.

Большим спросом на железных дорогах пользуются деревянные шпалы, так как их технические характеристики имеют высокие показатели, и поэтому они хорошо справляются с задачами, предъявляемыми к подрельсовому основанию.

Главными достоинствами деревянных шпал являются их достаточная упругость, более простое производство и использование по сравнению с другими видами шпал (транспортировка, подбивка, смена), высокие показатели электрического сопротивления, относительно небольшая масса, такая как 70 кг.

Недостатки деревянных шпал:

1) сравнительно небольшой срок службы, особенно при высокой грузонапряженности. На заготовку шпал идет лес в возрасте 80–100 лет, средний срок службы деревянной шпалы не превышает обычно 15–17 лет;

2) большая потребность в деловой древесине, необходимой для разнообразнейших нужд народного хозяйства;

3) при высыхании древесины в шпалах образуются трещины, так как уменьшение размеров по сечению от усушки в направлении касательной к годовым слоям существенно больше, чем в радиальном направлении.

Железобетонные шпалы являются железобетонными балками с переменным сечением. На этих балках есть специальные площадки, которые служат опорами для рельсов, а также имеются просверленные отверстия под болты промежуточного рельсошпального скрепления.

Железобетонные шпалы имеют следующие преимущества:

1) продолжительные сроки использования;

2) хорошее сопротивление к неблагоприятным воздействиям окружающей среды;

3) гниют в процессе использования.

Железобетонные шпалы имеют следующие недостатки:

- 1) повышенная (в 2–3 раза) жёсткость пути на железобетонных шпалах, которую приходится снижать с помощью прокладок-амортизаторов;
- 2) электропроводность и необходимость применять недолговечные изолирующие детали;
- 3) хрупкость и чувствительность к ударам.

Научно-исследовательские организации ведут разработки по совершенствованию конструкций комбинированных деревянных шпал (многослойные клееные шпалы, новые варианты слоистых шпал и переводных брусьев с параллельными усиливающими бандажами-стяжками, шпалы из модифицированной древесины). Для увеличения срока службы шпал ведутся поиски альтернативных материалов для их изготовления: сталь, пластик, композит.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что современные технологии опытно-промышленного производства усовершенствованной древесины, которые направлены на ресурсосбережение, дают возможность применять малоценную древесину из мягких лиственных пород для изготовления шпал, достигшую момента, когда ее можно использовать в промышленности. Произведенные изделия усовершенствованной древесины, которые получают по указанной технологии, по своим физико-механическим свойствам не уступают твердым породам древесины. Передвижной сушильно-прессовый комплекс СПК-5М дает возможность изготавливать шпалы в местах, где имеются все необходимые для этого материалы. Произведенные изделия усовершенствованной древесины, которые получают по указанной технологии, по своим физико-механическим свойствам не уступают твердым породам древесины.

#### Список литературы

1 **Крейнис, З. Л.** Техническое обслуживание и ремонт железнодорожного пути : учеб. для техникумов и колледжей ж.-д. трансп. / З. Л. Крейнис, Н. П. Коршикова. – М. : УМК МПС России, 2001. – 768 с.

2 **Тихомиров, В. И.** Содержание и ремонт железнодорожного пути : учеб. для техникумов ж.-д. трансп. / В. И. Тихомиров. – М. : Транспорт, 1969. – 344 с.

УДК 625.173

## ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПРИ РЕМОНТЕ ПУТИ

*И. Г. ХОРОШАЙЛОВА*

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

Экологическая безопасность – состояние защиты личности, общества и государства от потенциальных или реальных угроз, возникающих вследствие вредного воздействия на окружающую среду, вызываемого ежедневным загрязнением окружающей среды в связи с хозяйственной деятельностью человека и функционированием производственных объектов, а также в результате стихийных бедствий и катастроф.

В результате производственно-хозяйственной деятельности ПМС оказывают отрицательное воздействие на окружающую среду.

С целью выполнения требований природоохранного законодательства в ПМС должен осуществляться производственный экологический контроль лабораториями железных дорог или другими лабораториями, имеющими аттестацию и аккредитацию на право проведения данных работ.

При обслуживании и ремонте пути оказывается вредное влияние на атмосферу, гидросферу, литосферу.

Строительство и функционирование железных дорог связано с загрязнением природных комплексов выбросами, стоками, отходами, которые не должны нарушать равновесие в экологических системах.

Факторы воздействия объектов железнодорожного транспорта на окружающую среду можно классифицировать по следующим признакам: механические (твердые отходы, механическое воздействие на почвы строительных, дорожных, путевых и других машин); физические (тепловые излучения, электрические поля, электромагнитные поля, шум, инфразвук, ультразвук, вибрация, радиация и др.); химические вещества и соединения (кислоты, щелочи, соли металлов, альдегиды, ароматические углеводороды, краски и растворители, органические кислоты и соединения и др.),

которые подразделяются на чрезвычайно опасные, высокоопасные, опасные и малоопасные; биологические (макро- и микроорганизмы, бактерии, вирусы).

Функционирование любого элемента техносферы, в том числе и железнодорожного транспорта, должно основываться на следующих принципах:

- проведение количественной и качественной оценки общего и локального потребления природных ресурсов исходя из местных, региональных и федеральных возможностей;
- проведение количественной и качественной оценки влияния различных видов деятельности общества на состояние экологических систем, природных комплексов и природных ресурсов;
- нормирование уровня антропогенных воздействий от различных видов деятельности общества, в том числе и объектов железнодорожного транспорта на природную среду;
- обеспечение равновесия в кругообороте веществ и энергии путем ограничения воздействия на природу, исходя из ее возможностей по самоочищению и воспроизводству;
- ограничение воздействия на природную среду с помощью различных методов и средств очистки выбросов в атмосферу, стоков в водоемы, отходов производства, физических излучений;
- создание экологически чистых производств, технологий, подвижного состава, оборудования и транспортных систем;
- использование методов экологической профилактики функционирования отраслей и объектов железнодорожного транспорта путем выполнения природоохранных мероприятий и внедрения технологических средств;
- непрерывный контроль за состоянием окружающей среды;
- использование экономических методов в управлении охраной окружающей среды и рациональным природоиспользованием.

При работе путевых машин по очистке балласта и вырезке балласта количество вредных веществ (диоксид азота, бензапирен, оксид углерода), выбрасываемых в единицу времени в атмосферный воздух, не должно превышать предельно допустимых выбросов, утвержденных территориальным органом Росприроднадзора.

При содержании и ремонте пути и сооружений для уменьшения вредных выбросов путевых машин обязательно выполнять следующие требования:

- оборудовать путевые машины локальными аспирационными установками распыления воды с коэффициентом пылеподавления не менее 80 % над щетноочистительным устройством с центробежным способом очистки или выгребным рабочим органом и выбросным транспортером выгрузки отсева;
- оборудовать путевые, грузоподъемные, транспортные и землеройные машины с сажеулавливающими и каталитическими фильтрами с коэффициентом улавливания не менее 90 %;
- в тоннелях до 50 метров перед проведением ремонтно-путевых работ установить мобильную вытяжную вентиляционную систему для удаления из тоннеля радиоактивного радона;
- в тоннелях длиной более 50 метров перед проведением ремонтно-путевых работ установить систему сбора грунтовой воды с растворенным радиоактивным радоном.

При работе выправочно-подбивочно-рихтовочных, выправочно-подбивочно-отделочных путевых машин и балласто-уплотнительных путевых машин, а также динамических стабилизаторов пути на перегонах и станциях дизельные двигатели должны быть оборудованы каталитическими нейтрализаторами.

Запрещается оставлять путевую машину или отдельные механизмы, а также оборудование с работающим двигателем при остановке в работе для снижения техногенной нагрузки на окружающую среду.

В ОАО "РЖД" для реализации основных экологических обязательств реализуется инвестиционный проект "Обеспечение экологической безопасности", который выполняет строительство и реконструкцию очистных сооружений, приобретение установок и оборудования для охраны окружающей среды и оснащение экологических лабораторий, а также закупку оборудования для устранения аварийных разливов нефтепродуктов.

Техническое перевооружение ОАО «РЖД», проводимое для реконструкции инфраструктуры и замены подвижного состава, снижает техногенное воздействие на окружающую среду. В полосе отвода железных дорог ежегодно обновляются защитные лесонасаждения. При среднем ремонте пути деревянные шпалы, пропитанные антисептиком, заменяют на экологически чистые железобетонные шпалы.



Кроме того, ОАО "РЖД" активно работает над внедрением новых экономичных и экологически чистых систем отопления: газовых инфракрасных излучателей, систем инфракрасного электрического отопления, тепловых насосов и других экологически чистых технических средств для обогрева помещений.

Равновесие в природной среде обеспечивается сохранением биологического, энергетического, водного, биогеохимического балансов и их изменениями в определенный период времени. Можно обеспечить равновесие в природе путем социально-экономических, правовых организационных, технических, биологических, санитарно-гигиенических и других методов.

Социальные методы основаны на ответственности всех слоев общества за состоянием охраны окружающей среды.

Экономические методы предполагают определенные виды затрат на поддержание равновесия окружающей среды, рациональную оплату за ресурсы и компенсацию ущерба.

Правовые методы регулируют порядок и нормы природопользования исходя из условий поддержания относительного равновесия в окружающей среде.

Организационные методы основаны на научной организации природопользования и реализации административных и правоохранительных мер по предотвращению вредного воздействия на окружающую среду.

В основе технических методов лежит создание новых технологий и производственного оборудования, снижающих вредное воздействие на природную среду, а также внедрение эффективных средств очистки выбросов в атмосферу и сбросов в водоемы.

#### Список литературы

1 Инструкция по обеспечению экологической безопасности в структурных подразделениях путевого хозяйства, 2011 год.

2 Правила по охране труда, экологической, промышленной и пожарной безопасности при техническом обслуживании и ремонте объектов инфраструктуры путевого комплекса ОАО РЖД : утв. Распоряжением ОАО РЖД от 04.02.2014 № 255Р (ред. от 30.12.2021).

УДК 621.43.019.2

### **ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ СТЕПЕНИ ГИДРАТАЦИИ ЭТАНОЛА И КОЭФФИЦИЕНТА ИЗБЫТОЧНОГО ВОЗДУХА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СМЕСЕЙ «ЭТАНОЛ – БЕНЗИН» В ДВИГАТЕЛЯХ С ИСКРОВЫМ ЗАЖИГАНИЕМ**

*Р. С. ЯРИАН, В. Н. БАЛАБИН*

*Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва*

Об угрозе истощения ископаемых углеводородов уже более четырех десятилетий предупреждают ученые и различные мировые организации [1].

Постепенное истощение запасов ископаемого топлива, неопределенность цен на него, а также ухудшение состояния окружающей среды заставляет человечество серьезно задуматься над энергетической проблемой и искать альтернативные источники [3].

Некоторые современные технологические разработки указывают на тенденцию к сокращению потребления ископаемых углеводородов, постепенно переходя к использованию альтернативных видов топлива, а именно биотоплива.

Переход на смешанное топливо позволяет улучшить тяговые свойства транспорта, повысить его производительность, снизить расход дизельного топлива и уменьшить количество вредных выбросов [4–6].

Исследования показывают, что смеси бензина с 10 и 15 % этанола обладают лучшими экологическими и энергетическими характеристиками, что обусловлено увеличением октанового числа, то есть антидетонационной способностью топливной смеси, что, в свою очередь, улучшает качество сгорания [2].

В работе приведены результаты термодинамических исследований использования смесей бензина и 10 % этанола в двигателях с искровым зажиганием.

Эксперименты проводились в Двигательной лаборатории факультета технических наук Гаванского аграрного университета (УНАХ). Использовался одноцилиндровый двигатель модели JASTO. Авторами проводился анализ процесса сгорания на основе смесей 10 % этанола и обычного бензина категории В-85 (Е-10). Перед сжиганием определялась степень гидратации этанола (80, 85, 90, 95 %) и тип смешивания (богатая смесь  $\alpha = 0,85$  и бедная смесь  $\alpha = 0,15$ ). Используемый двигатель имел эффективную мощность 1,2 кВт; частота вращения 580 об/мин, смещение 34 см<sup>3</sup>.

В экспериментах использовали этанол с процентом чистоты (ЕН) 97, из которого был получен этанол с 95, 90, 85 и 80 % чистоты.

Были проанализированы: влияние процента чистоты этанола и коэффициента избыточного воздуха при использовании горючих смесей; соотношение воздух – топливо ( $c_{в/т}$ ) и соотношение топливо – воздух ( $c_{т/в}$ ); внутренняя энергия продуктов сгорания ( $U_2$ ); количество молей свежей нагрузки для бензиновых двигателей ( $M_1$ ) и количество молей продуктов при сгорании ( $M_2$ ). Соотношение воздух – топливо менее 14,7 означает богатую смесь, а соотношение более 14,7 означает обеднённую смесь. Был определен коэффициент избытка воздуха на уровне  $\alpha = 0,85$  и  $\alpha = 1,15$ : для смеси 10 % этанола с процентом чистоты 95 + бензин (Е-10-ЕН-95 %), 10 % этанола с процентом чистоты 90 + бензин (Е-10-ЕН-90 %), 10 % этанола с процентом чистоты 85 + бензин (Е-10-ЕН-85 %) и 10 % этанола с процентом чистоты 80 + бензин (Е-10-ЕН-80 %).

**Смеси Е-10-ЕН-80 %.** При таком соотношении получается большее соотношение воздуха и топлива, необходимое для достижения сгорания (11,781 кг (воздуха)/кг (топлива) для  $\alpha = 0,85$  и 15,309 кг (воздуха)/кг (топлива) для  $\alpha = 1,15$ ). Это происходит, потому что смесь более увлажнена: в ее составе есть больше количество атомов кислорода, что, в свою очередь, обедняет смесь и обеспечивает лучшее качество процесса сгорания. Однако для  $\alpha = 0,85$  соотношение топливо – воздух больше, чем для  $\alpha = 0,15$ , потому что воздухозаборник уменьшается.

**Смеси Е-10-ЕН-80 %.** В смесях, как богатых, так и бедных, внутренней энергии больше. (29 134,443 кДж/кмоль для богатых смесей и 28 202,227 кДж/кмоль для бедных смесей). Это привело к максимальной разнице: для богатых смесей 1 384,934 кДж/кмоль относительно смеси Е-10-ЕН-95 % и для бедных смесей 1350,1 кДж/кмоль относительно смеси Е-10-ЕН-95 %. Увеличение энергии может быть обусловлено увеличением содержания водорода и кислорода в смеси, компонентов воды, добавленной к этанолу.

Более высокие внутренние энергии в богатых смесях достигаются главным образом увеличением октанового числа, т.е. антидетонационной способностью используемого топлива или топливной смеси, что улучшает качество сгорания, хотя и снижает энергетическую мощность во время взрыва (детонации).

#### Список литературы

- 1 Environmental Efficiency of Using Alternative Types of Fuel in Power Facility of Railway Transport / D. Ya. Nosyrev [et. al.] // Ecology and Industry of Russia. – 2019. – Vol. 23, Is. 2. – P. 19–23. – DOI: 10.18412/1816-0395-2019-02-19-23.
- 2 Reyes, S. Y. Thermodynamic Evaluation of Using Ethanol-Gasoline Blends in Spark Ignition Engine / S. Y. Reyes, M. Y. Morejon, H. A. Hernández // Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias. – Vol. 29, no. 2. – 2020. – P. 24–31.
- 3 Valuation of the energy potential of the agroindustrial residuals of tomato for their employment as biofuel / Y. Reyes [et. al.] // Revista Ingeniería Agrícola. – Vol. 10, no. 2. – 2020. P. 37–44.
- 4 Назаров, О. Н. Природный газ – моторное топливо будущего / О. Н. Назаров // Техника железных дорог. – 2014. – № 1 (25). – С. 17.

## 5 БЕЗОПАСНОСТЬ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

УДК 330.342.3/4

### ИНТЕРНЕТ ВЕЩЕЙ И ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ ПУТЬ. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

*Н. А. АВСИЕВИЧ, А. В. АВСИЕВИЧ*

*Самарский государственный университет путей сообщения, Российская Федерация*

Безопасность движения поездов в первую очередь зависит от состояния железнодорожного пути как основы всего железнодорожного движения. В настоящее время с ростом массы железнодорожных составов и высокоскоростного движения пассажирских составов возникает необходимость в усовершенствовании методов диагностики состояния железнодорожного пути в целом. Современные методы диагностики заключаются в проведении выборочных проверок в соответствии с технологическим регламентом и нормативными документами железных дорог. Из этого следует, что существуют моменты времени в которые железнодорожный путь находится не под наблюдением и его состояние в эти моменты не определено и никем не контролируется.

Для постоянного контроля железнодорожного пути необходимо разработать систему постоянного мониторинга, для чего подходит современная динамично развивающаяся технология создания цифровых двойников, элементы которой уже интенсивно внедряются в ОАО РЖД [1, 2].

Неотъемлемая часть технологии цифровых двойников – наличие платформы «Интернет вещей (IoT)», необходимая для создания «цифрового следа» о состоянии и режиме эксплуатации железнодорожного пути.

Одним из направлений сбора информации о состоянии железнодорожного пути является динамическая составляющая, возникающая при взаимодействии колеса с рельсом и полностью характеризующаяся ускорением. Для подтверждения данной гипотезы в Самарском государственном университете путей сообщения разработан прототип измерительного комплекса для снятия ускорения рельса [3–5], который состоит из крепления к рельсу с акселерометром и информационной системы по сбору и первичной обработке полученной информации.

Прототип измерительного комплекса прошёл апробацию на участке железнодорожного пути Куйбышевской железной дороги в разное время; получены данные об ускорении рельса при движении участка пути 6 грузовыми и 2 пассажирскими составами с различными массами и скоростью. Полученные данные позволили провести исследования о необходимости установки датчиков ускорения на железнодорожный путь [6] и по определению напряженно-деформированного состояния элементов железнодорожного пути, результаты которых отражены в работах [7–9].

Таким образом, измерение ускорения даёт возможность определить реальные прогибы рельса в трёх плоскостях. Если известна масса подвижного состава (осевой нагрузки), возможно вычислить фактическое динамическое воздействие от колес, передаваемых на рельсы, в том числе величины боковых сил. Также с помощью данной системы возможно выявление мест с отступлениями от норм содержания балластного слоя: отсутствие уплотнённого балластного слоя под шпалой вызывает значительные прогибы рельсов, выходящие за предельные модельные значения.

Полученные результаты по вертикальным, поперечным и продольным отклонениям содержат в себе не только величины прогибов рельса, но и общие перемещения рельсошпальной решётки, включая деформацию балластного слоя. Вследствие этого зафиксированные величины выше аналитических, рассчитанных для пути в условно идеальном техническом состоянии.

Поэтому дальнейшее развитие системы представляется в установке дополнительных акселерометров на подрельсовые опоры для единомоментной фиксации ускорений на рельсах и шпалах, что позволит определять динамическую жесткость промежуточных рельсовых скреплений, фактические прогибы рельсов (а не перемещения рельсошпальной решётки), степень уплотнения балластного слоя за счет оценки перемещение шпалы, а также выявлять отступления от норм содержания балластного слоя, норм содержания колёсных пар подвижного состава и тележек в целом.

В результате проведённых исследований выявлено, что мешает переходу железнодорожной отрасли к четвёртой индустриальной революции в области применения IoT:

а) дороговизна акселерометров, затрудняет применение датчиков ускорения на протяжении всего железнодорожного пути, что делает необходимым разработку сенсоров с низкой себестоимостью в производстве и эксплуатации;

б) отсутствие локальных источников питания не требующих обслуживания в длительные периоды времени, что делает актуальным разработку необслуживаемых высокой ёмкости источников энергии или альтернативных источников энергии, совместимых с эксплуатационными требованиями железнодорожной отрасли;

в) отсутствие полного покрытия железной дороги системами передачи данных для сбора информации с датчиков, что делает актуальными разработку и внедрение систем передачи данных, совместимых с железнодорожной инфраструктурой.

В перспективе внедрение технологии IoT для непрерывного мониторинга железнодорожного пути поможет не только контролировать текущее состояние пути, но и на основании полученных данных проводить его оценку состояния на базе моделей, например, проводить расчёт остаточного ресурса железнодорожного полотна, прогнозировать сроки ремонта и т. д. Другими словами, внедрение IoT делает возможным переход от планового содержания пути к содержанию пути по состоянию с учётом его фактического износа.

#### Список литературы

1 Суслов, О. А. Цифровые двойники-перспективная основа планирования технического обслуживания железнодорожного пути / О. А. Суслов, В. И. Федорова // Наука 1520 ВНИИЖТ: Загляни за горизонт : сб. материалов науч.-практ. конф. АО «ВНИИЖТ», Российская Федерация, Щербинка, 26–27 августа 2021 года / АО «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта». – Щербинка : ВНИИЖТ, 2021. – С. 184–192.

2 Суслов, О. А. Перспективные подходы к прогнозируемому моделированию деградационных процессов элементов верхнего строения пути и их применение при создании цифровых двойников / О. А. Суслов, В. И. Федорова // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – 2021. – Т. 80, № 5. – С. 251–259. – DOI : 10.21780/2223-9731-2021-80-5-251-259.

3 Трифонова, Н. В. Система сбора и обработки данных динамических параметров пути / Н. В. Трифонова, Н. А. Авсиевич // Мехатроника, автоматизация и управление на транспорте : материалы II Всероссийской науч.-практ. конф., Самара, 26–27 марта 2020 г. – Самара : СамГУПС, 2020. – С. 84–88.

4 Авсиевич, Н. А. Измерительный комплекс регистрации и первичной обработки ускорений / Н. А. Авсиевич // Мехатроника, автоматизация и управление на транспорте : материалы III Всероссийской науч.-практ. конф., Самара, 26–27 января 2021 г. – Самара : СамГУПС, 2021. – С. 16–19.

5 Авсиевич, А. В. О возможности стационарных систем измерения просадки железнодорожного пути / А. В. Авсиевич, В. В. Авсиевич, Н. А. Авсиевич // Вестник СамГУПС. – 2021. – № 4 (54). – С. 68–74.

6 Авсиевич, А. В. Определение напряженно-деформированного состояния элементов железнодорожного пути на основе измерения ускорений и математического моделирования / А. В. Авсиевич, Д. В. Овчинников // Вестник транспорта Поволжья. – 2022. – № 1 (91). – С. 34–42.

7 Railway track stress-strain analysis using high-precision accelerometers / A. Avsievich, V. Avsievich, N. Avsievich [et al.] // Applied Sciences (Switzerland). – 2021. – Vol. 11, no 24. – DOI : 10.3390/app112411908.

8 Перспективные технологии эффективной эксплуатации подвижного состава и железнодорожного пути / А. В. Авсиевич [и др.]. – Самара : СамГУПС, 2021. – 175 с.

УДК 625.143.482

## ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО КОНТРОЛЮ ЗА СОСТОЯНИЕМ БЕССТЫКОВОГО ПУТИ

*В. В. АТАПИН*

*Самарский государственный университет путей сообщения, Российская Федерация*

В современном мире железнодорожный транспорт является ключевым звеном в сфере мировых экономических отношений. Его динамичное развитие и эффективное функционирование – необходимые условия достижения устойчивых темпов развития, обеспечения экономической целостности и безопасности любой страны, повышения уровня жизни людей.

Важную роль в достижении указанных показателей играет бесстыковая путь. Данная конструкция является преобладающей в большинстве стран мира и обладает рядом преимуществ по сравнению со звеньевой:

- повышение плавности движения поездов;
- повышение комфортабельности движения поездов;
- улучшение показателей динамического взаимодействия пути и подвижного состава и др.

Несмотря на это, в процессе эксплуатации конструкция бесстыкового пути требует особого внимания и повышенной бдительности. Более того, анализ нарушений в области безопасности движения поездов по причине происходящих выбросов бесстыкового пути говорит о том, что количество зафиксированных случаев не уменьшается и требует проведения новых исследований и предложений по контролю за его состоянием. Данный факт обусловлен тем, что, в отличие от звеньевой конструкции, бесстыковой путь является температурно-напряженным, в котором действуют значительные продольные усилия, вызываемые изменениями температуры. В результате при повышении температуры рельсовых плетей, по сравнению с температурой их закрепления, возникают продольные силы сжатия, создающие опасность выброса пути. При понижении температуры появляются растягивающие силы, которые могут вызвать излом плети и образование большого зазора.

Существенными факторами, влияющими на состояние бесстыкового пути, являются угон рельсовых плетей и состояние бесстыкового пути в плане. Немаловажную роль играют факторы, которые характеризуют удерживающие свойства рельсошпальной решетки:

- состояние рельсовых скреплений;
- состояние ширины плеча балластной призмы;
- заполняемость шпальных ящиков;
- наличие отрясенных и неподбитых шпал, особенно «выплесков» пути.

Первую группу факторов можно считать основной, косвенно отвечающей за температурный режим работы рельсовых плетей. Как правило, контроль за угоном рельсовых плетей осуществляется по смещению контрольных сечений рельсовой плети относительно «маячных» шпал.

Для контроля состояния бесстыкового пути в плане была разработана методика, основанная на отслеживании изменения кривизны рельсовых плетей в «выбросоопасном» диапазоне во времени [1, 2]. Согласно данной методике оценка состояния бесстыкового пути в плане осуществляется на основе динамики изменения температурного эквивалента, учитывающего рост кривизны рельсовых плетей в «выбросоопасном» диапазоне. Существенное изменение (рост) величины температурного эквивалента свидетельствует о наличии температурных напряжений в рельсовых плетях, нарушении температурного режима их работы. Зачастую данный рост не коррелирует с изменениями, которые происходят по параметру «рихтовка».

На рисунке 1 представлен наглядный пример анализа изменения кривизны рельсовых плетей в диапазоне 6–9 м на одном из участков схода подвижного состава по причине выброса. Из представленных графиков видно, что на исследуемом участке схода наблюдался существенный рост кривизны, указывающий на наличие температурных напряжений и требующий проведения работ по разрядке напряжений. При анализе изменения по параметру «рихтовка» за полугодовой период наблюдались следующие нарушения: январь – март – отсутствие отступлений; апрель (контрольная проверка) – рихтовка II степени на длине 25 м 18 мм; май (контрольная проверка) – рихтовка II степени на длине 24 м 19 мм; июнь (рабочая проверка) – рихтовка II степени на длине 21 м 21 мм; июнь (контрольная проверка) – две рихтовки II степени на длине 24 м 29 мм и на длине 30 м 16 мм.

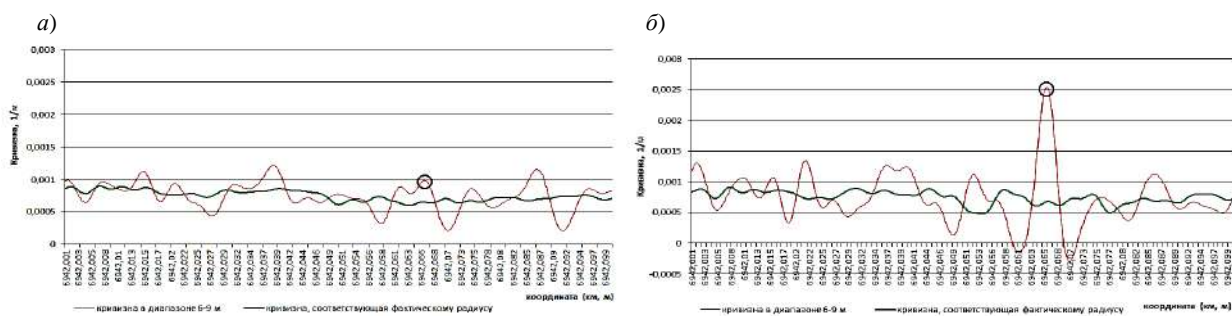


Рисунок 1 – Изменение кривизны рельсовых плетей в «выбросоопасном» диапазоне:  
а – январь; б – июнь (до момента схода)

Таким образом, разработанная методика контроля состояния бесстыкового пути в плане позволяет заблаговременно выявлять участки, которые имеют нарушения температурного режима работы и представляют высокую опасность выброса [3, 4].

В настоящее время данная методика не учитывает изменений температуры рельсовой плети в момент измерения кривизны, что, по мнению автора, может существенно дополнить и повысить достоверность определения опасных участков (рисунок 2). Кроме того, её учет может стать основанием для нахождения корреляционных связей между изменением кривизны рельсовых плетей, температурного эквивалента и температуры закрепления с целью последующего контроля температурно-напряженного режима работы рельсовых плетей:

$$t_{\phi} = f(\Delta t_{пл}; t_3; t_p).$$



Рисунок 2 – Изменение кривизны рельсовых плетей с учетом температуры воздуха

#### Список литературы

- 1 **Ершов, В. В.** Новые подходы к оценке состояния бесстыкового пути / В. В. Ершов, В. В. Атапин, О. А. Суслов // Путь и путевое хозяйство. – 2018. – № 2. – С. 6–11.
- 2 **Атапин, В. В.** Новые подходы к оценке состояния бесстыкового пути в плане / В. В. Атапин // Вестник транспорта Поволжья. – 2017. – № 3 (63). – С. 54–63.
- 3 Monitoring and Evaluation of the Lateral Stability of CWR Track / V. Atapin [et al.] // Journal of Failure Analysis and Prevention. – 2021. – DOI : 10.1007/s11668-021-01307-3.
- 4 **Атапин, В. В.** Управление рисками при оценке состояния бесстыкового пути / В. В. Атапин, Н. А. Атапина // Путь и путевое хозяйство. – 2019. – № 5. – С. 20–24.

УДК 625.143.543, 625.171, 625.172

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ РЕТРОСПЕКТИВНОГО АНАЛИЗА СОСТОЯНИЯ ГЕОМЕТРИИ РЕЛЬСОВОЙ КОЛЕИ

*В. В. АТАПИН, А. С. НЕЧУШКИН*

*Самарский государственный университет путей сообщения, Российская Федерация*

Железнодорожный путь состоит из элементов верхнего и нижнего строения пути. В случае выхода одного из элементов пути последствия могут быть необратимыми, вплоть до схода подвижного состава с рельсовой колеи. С увеличением установленных скоростей и грузонапряженности возникает ряд острых вопросов, связанных с обеспечением безопасного пропуска движения поездов.

Безопасность движения поездов во многом зависит от проектного положения пути в плане и профиле. Для обеспечения мониторинга состояния железнодорожного пути применяют различные средства диагностики, с которых поступает большой объём диагностических данных.

Основным параметром для определения состояния железнодорожного пути является геометрия рельсовой колеи. Параметры геометрии рельсовой колеи характеризуют положение рельсовых нитей в профиле, плане, по уровню и по ширине колеи.

К дополнительным параметрам для определения состояния железнодорожного пути можно отнести:

- накопление неисправностей в элементах нижнего строения пути (площадка земляного полотна, балластная призма);
- выход из строя рельсов, шпал, промежуточных рельсовых скреплений;
- загрязненность балласта;
- наработку пропущенного тоннажа;
- развитие дефектов рельсов.

С целью ретроспективного анализа были выбраны 3 дистанции пути Куйбышевской железной дороги [1]. Получена динамика частоты развития отступлений, график представлен на рисунке 1.

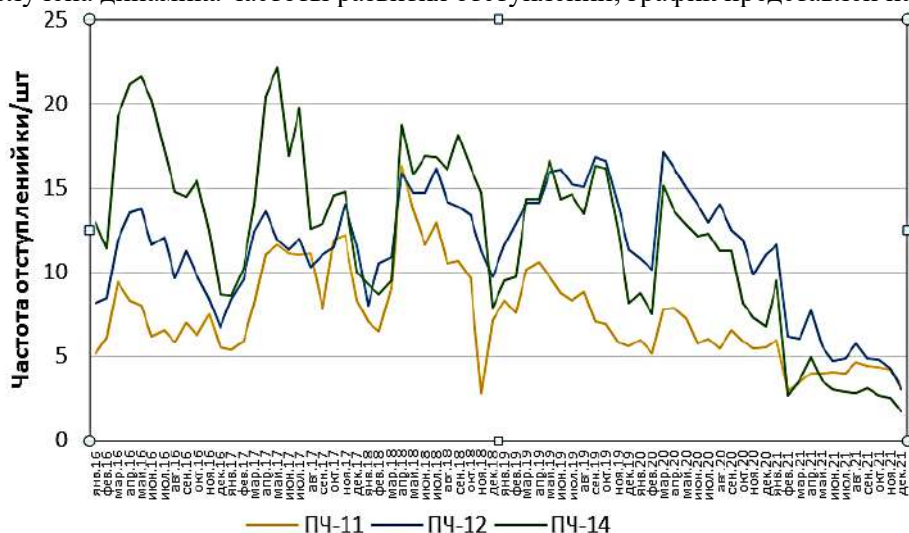


Рисунок 1 – Динамика частоты развития отступлений

По полученным данным на графике (см. рисунок 2) можно сделать ряд важных выводов.

1 Так как каждая дистанция пути обладает своими техническими характеристиками (грузонапряженность, протяженность пути, установленные скорости и т. д.), частота отступлений не будет коррелировать между дистанциями, однако можно наблюдать общий тренд развития частоты отступлений между дистанциями пути.

2 Рост отступлений наблюдается в весенне-летний период, а спад – в осеннее-зимний.

При анализе изменения положения пути в плане главным индикатором является параметр «Рихтовка». На рисунке 2 получены графики развития деградационных процессов по данному параметру.

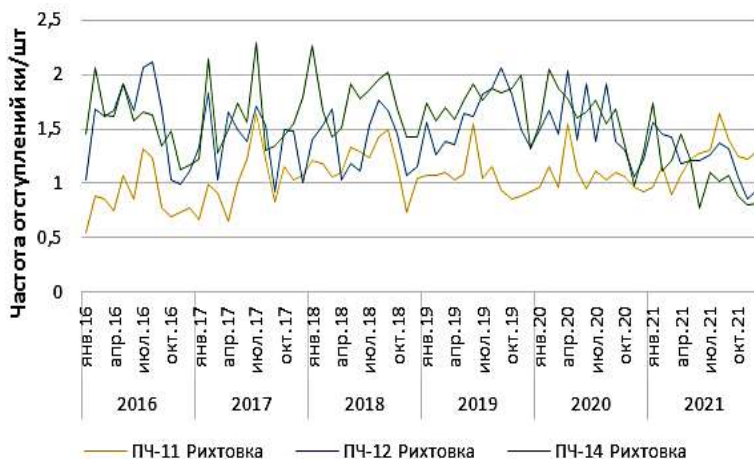


Рисунок 2 – Развитие деградационных процессов по параметру «Рихтовка»

По полученным графикам деградационных процессов можно сделать ряд выводов:

1 Общий тренд развития деградационных процессов по параметру «рихтовка» имеет скачкообразный характер.



2 Среднее квадратичное отклонение: ПЧ-11 – 0,23 шт./км, ПЧ-14 – 0,3 шт./км, ПЧ-15 – 0,34 шт./км.

3 Математическое ожидание: ПЧ-11 – 1,07 шт./км, ПЧ-14 – 1,45 шт./км, ПЧ-15 – 1,55 шт./км.

Состояние геометрии рельсовой колеи обеспечивает стабильное положение железнодорожного пути в плане и профиле. Развитие диагностических средств и методов цифровизации позволяет накапливать диагностические данные и осуществлять ретроспективный анализ [2]. Результаты, полученные методом ретроспективного анализа, помогут прогнозировать состояние рельсовой колеи и заблаговременно предотвращать опасные неисправности. Все элементы железнодорожного пути требуют взаимосвязи между собой. С целью обеспечения безопасности движения поездов необходимо создание математической модели железнодорожного пути.

#### Список литературы

1 Атапин, В. В. Исследование деградационных процессов геометрии рельсовой колеи – путь к прогнозированию состояния верхнего строения пути / В. В. Атапин, А. С. Нечушкин // Вестник транспорта Поволжья. – 2022. – № 2 (92). – С. 31–37.

2 Атапин, В. В. Оценка влияния работы различных типов рельсовых скреплений на состояние верхнего строения пути / В. В. Атапин, А. С. Нечушкин // Транспорт Урала. – 2021. – № 2 (69). – С. 73–78. – DOI : 10.20291/1815-9400-2021-2-73-78.

УДК 656.072

## К ВОПРОСУ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОЙ СХЕМЫ ОСТАНОВОК ПРИ ВВЕДЕНИИ ПОЕЗДОВ ЭКОНОМКЛАССА НА ЛИНИЯХ МЕЖРЕГИОНАЛЬНОГО СООБЩЕНИЯ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Г. В. АХРАМЕНКО

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Транспорт является важнейшим звеном производственной и социальной инфраструктуры республики Беларусь, его потенциал обеспечивает спрос экономики и населения на транспортные услуги. При этом он вносит значительный вклад в формирование валового внутреннего продукта страны [1].

Проблема повышения скорости движения поездов интересовала многих ученых как отечественных, так и зарубежных. Этой проблемой занимались такие видные ученые, как Турбин И. В., Кантор И. И., Иноземцев В. Л., Курган Д. Н. и др. [3]. За рубежом эту проблему решали также многие ученые, среди которых R. Breimeier, Levinson David M. [5] и др.

Повышение скоростей пассажирских поездов одно из приоритетных направлений научно-технического прогресса на железнодорожном транспорте. Основной задачей повышения скоростей движения на железнодорожных линиях межрегионального сообщения является возможность достижения времени нахождения пассажира в пути, не превышающего максимально допустимого, принятого из условия обеспечения минимальной утомляемости организма и равного 3–5 часам в одну сторону [2]. Целью данного исследования является создание модели, позволяющей решать задачу повышения скорости движения на железнодорожных линиях межрегионального сообщения с учетом их особенностей.

За основу создания такой модели принят полученный при разработке ЦКП «Прогресс» график зависимости величины капитальных вложений от сокращения времени хода  $K = f(\Delta t)$ . Основной особенностью принятой модели является определение сокращения времени хода на основе отмены остановок. На рисунке 1 справа приведена зависимость  $K = f(\Delta t)$ , слева – зависимость, определяющая эти потери от сэкономленного времени хода,  $\Delta\Pi_{\text{пас}} = f(\Delta t_{\text{ост}})$ .

Аппроксимируя зависимости  $K = f(\Delta t_{\text{огр}})$  и  $\Delta\Pi_{\text{пас}} = f(\Delta t_{\text{ост}})$ , получаем уравнения указанных кривых

$$K = a(\Delta t_{\text{огр}})^2, \text{ или } K = a(\Delta t_3 - \Delta t_{\text{ост}})^2, \quad (1)$$

$$\Delta\Pi_{\text{пас}} = b\Delta t_{\text{ост}}, \quad (2)$$

где  $a$  и  $b$  – коэффициенты уравнений, полученные в результате аппроксимации.



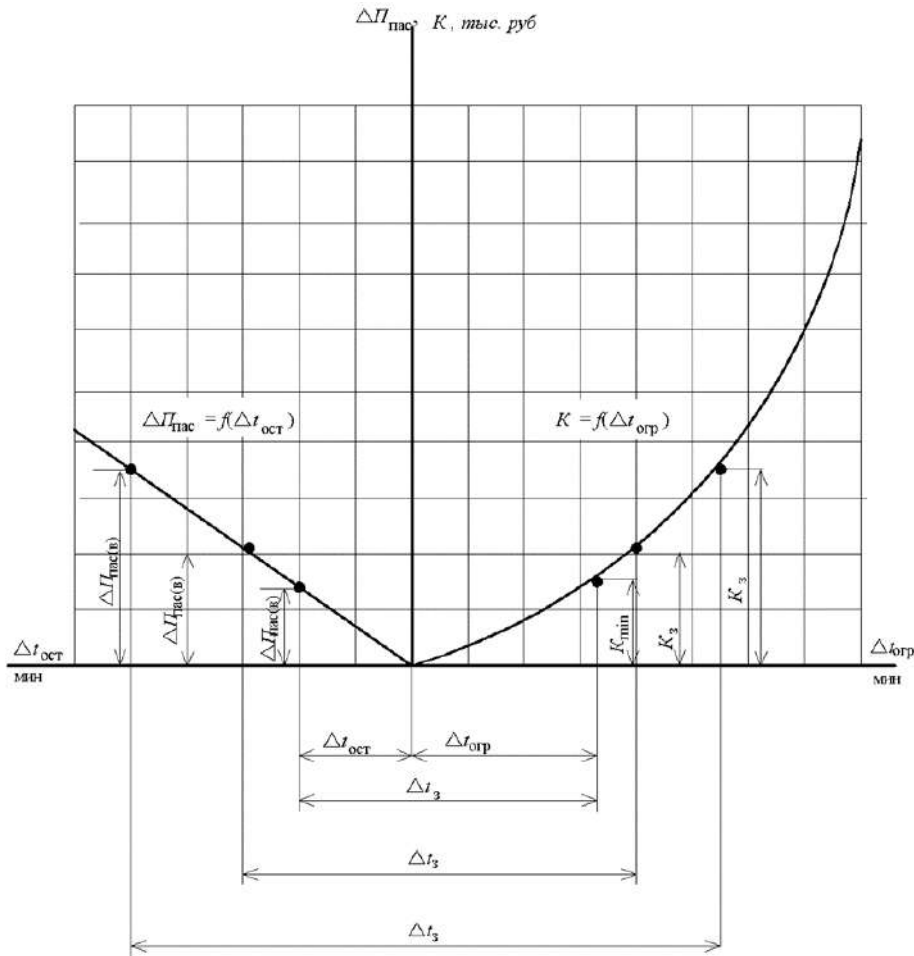


Рисунок 1 – Графическое решение задачи

Приведенная модель позволяет определить рациональную величину экономии времени хода за счет временной отмены остановок. При этом критерием является величина, представляющая собой сумму, которая состоит из капиталовложений, необходимых для снятия ограничений скорости, и окупившихся социальных потерь, полученных при отмене остановок, которую необходимо минимизировать:

$$\mathcal{E} = K + \Delta\Pi_{\text{пас}} \rightarrow \min.$$

С учетом формул (1) и (2)

$$\mathcal{E} = a(\Delta t_3 - \Delta t_{\text{ост}})^2 + b\Delta t_{\text{ост}} \rightarrow \min, \quad (3)$$

или

$$\mathcal{E} = a\Delta t_3^2 - 2a\Delta t_3\Delta t_{\text{ост}} + a\Delta t_{\text{ост}}^2 + b\Delta t_{\text{ост}} \rightarrow \min.$$

Продифференцировав это уравнение по  $\Delta t_{\text{ост}}$  и приравняв его к 0, получим следующее выражение:

$$\frac{d\mathcal{E}}{d\Delta t_{\text{ост}}} = -2a\Delta t_3 + 2a\Delta t_{\text{ост}} - b = 0.$$

Решая полученное выражение относительно  $\Delta t_{\text{ост}}$ , получаем

$$\Delta t_{\text{ост}} = \Delta t_3 - b/2a. \quad (4)$$

Полученное выражение позволяет определить целесообразную экономию во времени, получаемую в результате формирования оптимальной схемы остановок.

Таким образом, приведенная модель решения задачи повышения скорости движения пассажирских поездов на направлениях малой протяженности позволяет заранее определить ряд важных показателей:

– ожидаемый социальный ущерб при отмене остановок  $\Delta\Pi_{\text{пас}}$ ;

- величину необходимых капитальных вложений  $K_{\min}$ ;
- величину возможного сокращения времени хода  $\Delta t_b$ ;
- составляющие заданного сокращения времени хода  $\Delta t_{огр}$  и  $\Delta t_{ост}$  и т. д.

Это дает возможность ЛПР в зависимости от конкретной ситуации производить выбор проектного решения.

При назначении схемы остановок немаловажное значение имеет социальный фактор, т. к. пассажиры, которые проживают в населенных пунктах, тяготеющих к разделному пункту, где предполагается отмена остановки, будут иметь значительные потери времени и определенные неудобства. В силу этого назначение схемы остановок должно осуществляться из следующих соображений:

- учет социальных факторов, т. е. обеспечение максимальных удобств для пассажиров, пользующихся указанными поездами;
- учет экономических факторов, т. е. получение максимального эффекта при отмене остановок;
- обеспечение необходимого сокращения времени хода;
- сохранение остановок на тех отдельных пунктах, где происходит наиболее интенсивное накопление пассажиропотока, т. е. в зоне крупных населенных пунктов с достаточно развитым промышленным и сельскохозяйственным комплексом.

Внедрение нового формата пассажирских перевозок предполагает постепенную замену вагонов локомотивной тяги на моторвагонный подвижной состав. В комплексе с обновлением инфраструктуры это должно привести к повышению качества услуг пассажирам, безопасности перевозок и сокращению времени в пути. В перспективе новые поезда свяжут столицу с другими областными центрами, а время поездки сократится до 3 часов. Исключение будет сделано лишь для г. Гродно. С учетом особенностей маршрута из Минска до города на Немане время поездки составит 3,5–4 часа.

#### Список литературы

- 1 Экономика железнодорожного транспорта : учеб. для вузов ж.-д. транспорта / Н. П. Терёшина, [и др.]. – М. : УМЦ ЖДТ, 2006. – 801 с.
- 2 **Ахраменко, Г. В.** Модернизация и реконструкция постоянных устройств с целью ввода ускоренных поездов межобластного сообщения (на примере Белорусской железной дороги) : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.03 / Г. В. Ахраменко. – М. : 1991. – 181 с.
- 3 **Курган, Д. Н.** Методология расчетов железнодорожной колеи при взаимодействии со скоростным подвижным составом : автореф. ... д-ра техн. наук : 05.22.06 / Д. Н. Курган ; УкрДУЗТ. – Днепропетровск, 2017. – 35 с.
- 4 Об утверждении Государственной программы развития транспортного комплекса Республики Беларусь на 2016–2020 годы : постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 28 апреля 2016 г. № 345 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C21600345&p1=1>. – Дата доступа : 06.09.2022.
- 5 **Levinson, David M.** Accessibility impacts of high-speed rail / M. David Levinson // Journal of Transport Geography. – 2012. – № 22. – P. 288–291.

УДК 625.731.1/.6.001.2(476.2)

### АНАЛИЗ СПОСОБОВ УКРЕПЛЕНИЯ СЛАБЫХ ГРУНТОВ НАСЫПЕЙ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ НА ТОРФЯНЫХ ОСНОВАНИЯХ

*Г. В. АХРАМЕНКО, Т. И. БЫСТРЕНКОВА, М. И. ШЛЕМЕНКОВА*  
*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Указом Главы государства от 29 марта 2010 г. № 161 утверждена Государственная программа социально-экономического развития и комплексного использования природных ресурсов Припятского Полесья. Цель Программы – обеспечение устойчивого социально-экономического развития Припятского Полесья на основе комплексного использования природных ресурсов, наращивание экспортного потенциала и привлечение инвестиций, сохранение условий воспроизводства природно-ресурсного потенциала, создание благоприятных условий проживания населения [1].

Полесье располагается на территории четырех стран: Польша, Украина, Россия и Беларусь. В Беларуси – самая большая часть (почти половина), и находится она на юге Брестской и Гомельской областей. Около 13 % территории Припятского Полесья занято болотами. Болота в основном низинного типа, так как местность равнинная, по структуре и виду болотных грунтов в соответствии с укрупненной инженерно-строительной классификацией встречаются болота и первого, и второго, и третьего типов.

Для успешного развития региона необходимо расширять и усовершенствовать сеть автомобильных дорог с устройством усовершенствованного капитального или облегченного покрытия.

Строительство автомобильных дорог в болотистой местности имеет определенные особенности, одна из основных – обеспечение устойчивости земляного полотна на слабых основаниях. Для укрепления слабых оснований при строительстве и реконструкции дорог необходимо предусматривать мероприятия, способствующие укреплению и стабилизации грунтов. В настоящее время применяются как традиционные технологии укрепления дорожных оснований, так и множество инновационных разработок.

К традиционным способам укрепления слабых грунтов относятся [2–5]:

- цементирование;
- термический способ;
- силикатизация;
- электрический способ;
- электрохимический способ;
- механические способы путем устройства свайного основания и замены слабого грунта более прочным.

В последнее время в результате научных исследований разработана технология укрепления и стабилизации грунтов с помощью поверхностно-активных веществ (ПАВ) – так называемых стабилизаторов грунтов, при применении которых можно использовать местные грунты и материалы [3, 4]. Общая классификация стабилизаторов приведена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Общая классификация стабилизаторов

Укрепление слабых грунтов с использованием стабилизирующих добавок получило широкое распространение в США, Южной Америки и Азии, а в последние десятилетия и России. В Республике Беларусь ПАВ-стабилизаторы практически не производятся, поэтому наибольшее распространение получил способ армирования слабых грунтов и насыпей путем введения в конструкции насыпей и оснований компонентов, позволяющих улучшить механические свойства грунтов. Армирующие компоненты, работая совместно с грунтом, способствуют перераспределению нагрузки между элементами конструкции, посредством передачи напряжений с перегруженных участков на смежные, менее загруженные.

В качестве материалов для изготовления таких элементов могут использоваться металл, железобетон, структуры из стеклянных или полимерных волокон и т. д. В Республике Беларусь для армирования грунтов используются геосинтетические материалы, которые считаются наиболее эффективными и экономически выгодными.

В настоящее время геотекстильные материалы в Республике Беларусь используются в основном при строительстве и реконструкции автомобильных дорог. Эксперимент по апробированию основания дорожной одежды из щебня с устройством разделяющей и армирующей прослойки из геосетки двойного ориентирования был проведен научно-исследовательским институтом БелдорНИИ на ряде республиканских дорог: Р28 Минск – Молодечно – Нарочь, М5 Минск – Гомель, М6 Минск – Гродно и других. Полученные результаты показали, что при использовании геоматериалов (в данном случае – геосетки) в качестве промежуточного слоя в дорожной конструкции на отдельных

участках модуль упругости на поверхности покрытия составил 300–322 МПа, а при использовании на других участках технологического слоя из асфальтогранулята толщиной 15 см – 290–298 МПа, из чего можно заключить, что применение прослойки из геоматериалов в качестве армирующей позволило уменьшить толщину щебеночного основания на 3 см и исключить технологический слой из асфальтогранулята [6]. В г. Минске работает предприятие, производящее геосинтетические материалы из полиэфирных волокон, среди которых присутствует высокопрочная техническая ткань «Стаббудтекс», схожая с европейским аналогом «Stabilenka». По рекомендации «БелдорНИИ» это полотно было заложено в экспериментальный участок проекта реконструкции «Березовской ГРЭС» при сооружении земляного полотна служебной автодороги на переходе через болото. В результате строительства данного участка с учетом научно-технического сопровождения специалистами ГП «БелдорНИИ» были подтверждены качество материала и целесообразность его применения. Также геосинтетические материалы широко использовались при реконструкции дорог

Всё вышесказанное свидетельствует о том, что применение геосинтетических материалов при строительстве и реконструкции дорог в Припятском Полесье вполне обосновано и целесообразно.

#### Список литературы

1 О Государственной программе социально-экономического развития и комплексного использования природных ресурсов Припятского Полесья на 2010–2015 годы : Указ Президента Респ. Беларусь 29 марта 2010 г. № 161 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://zakonrb.com/npa/o-gosudarstvennoy-programme-socialno-ekonomicheskogo>. – Дата доступа : 06.09.2022.

2 Автомобильные дороги. Методы ускорения стабилизации земляного полотна при строительстве дорог на болотах / М-во автомобильных дорог РСФСР. – М., 1984. – 59 с.

3 **Ахраменко, Г. В.** Стабилизация земляного полотна на слабых основаниях при строительстве автомобильной дороги в Припятском Полесье / Г. В. Ахраменко, О. С. Зизюк, Н. А. Абыходов // ОТИС-2018 : Материалы нац. науч.-практ. конф. – Омск, 2018.

4 **Ахраменко, Г. В.** Проектирование земляного полотна автомобильных дорог в сложных природных условиях : учеб.-метод. пособие по курсовому и дипломному проектированию / Г. В. Ахраменко, Е. А. Темников. – Гомель : БелГУТ, 2015. – 51 с.

5 **Игошева, Л. А.** Обзор основных методов укрепления грунтов основания / Л. А. Игошева, А. С. Гришина // Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. – 2016. – Т. 7, № 2. – С. 5–21.

6 **Штабинский, В. В.** Технические требования к геосинтетическим материалам, применяемым для армирования асфальтобетонных покрытий / В. В. Штабинский // Автомобильные дороги и мосты. – 2015. – № 1.

УДК 625.8

## АНАЛИЗ ТРАНСПОРТНО-ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ И ПУТИ ЕГО УЛУЧШЕНИЯ

*Н. В. БАНДЮК*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Дорожно-транспортная сеть Республики Беларусь насчитывает немногим более 87 тыс. км дорог. Из общей протяженности дорог твердое покрытие имеют 75 567 км, или 86,8 %. По данным Государственной программы «Дороги Беларуси» на 2021–2025 годы [1], транспортно-эксплуатационное состояние автомобильных дорог в недостаточной степени удовлетворяет потребности народного хозяйства в автомобильных перевозках. По результатам диагностики дорог установлено, что протяженность участков республиканских автомобильных дорог, не соответствующих нормативным требованиям, составляет 5631 км, или 35,4 % от общей протяженности, а местных дорог – 35 102 км, или 49,4 %. Если принять во внимание тот факт, что доля дорог с асфальтобетонным и чернощебеночным покрытиями на республиканской сети дорог составляет 95,7 и 0,6 %, а на местной – 44,3 и 1,3 % соответственно, то на приведение участков дорог к нормативному состоянию потребуются немалые объемы расходования природных ресурсов и денежных средств. В настоящее время из-за недостаточного финансирования не обеспечивается ежегодная потребность в ремонтах дорог, что ведет к необратимому процессу разрушения дорожных покрытий и в целом отрицательно сказывается на работоспособности дорожно-транспортного комплекса страны.

Так, до 2025 года планируется выполнить следующий объем ремонтных работ:

– текущий ремонт 4300 км республиканских дорог и 7000 пог. м мостов и путепроводов и капитальный ремонт 300 км дорог и 3850 пог. м мостов и путепроводов;

– на местной сети планируется отремонтировать, реконструировать и возвести не менее 7000 км автомобильных дорог, 137 дорожных сооружений протяженностью 4189,1 пог. м.

Возрастающая потребность в ремонтах дорог увеличивает и долю потребления нефтяных битумов. С учетом этого первоочередная задача состоит не только в том, чтобы выделить необходимые объемы финансирования на восстановление утраченных транспортно-эксплуатационных свойств дорог, но и повысить эксплуатационную надежность дорожных одежд, продлить срок эксплуатации между ремонтами.

Наиболее широко в мировом дорожном строительстве применяются нефтяные битумы. В настоящее время более 80 % производимых во всем мире битумов потребляется дорожной отраслью, и объемы потребления битума постоянно растут. Потребление дорожного битума является своеобразным индикатором состояния дорожно-транспортной сети.

Мировой рынок битумов приблизительно равен 100 млн тонн в год. Лидирующие позиции в производстве битумов на мировой арене занимают страны азиатско-тихоокеанского региона, Северная Америка и Европа, на их долю приходится до 90 % производства, оставшаяся часть приходится на остальные страны (рисунок 1).

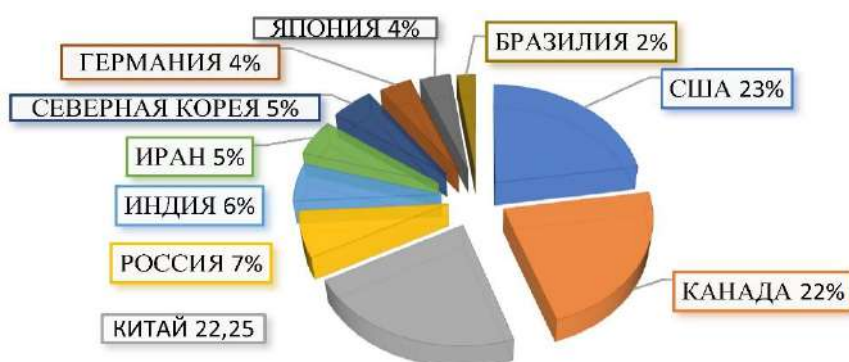


Рисунок 1 – Доли стран в структуре мирового производства битума

Динамика производства нефтяного битума в Республике Беларусь по годам в основном демонстрирует рост (рисунок 2) [2, 3]. Часть произведенного битума поставляется для нужд строительного сегмента экономики страны, а часть экспортируется.

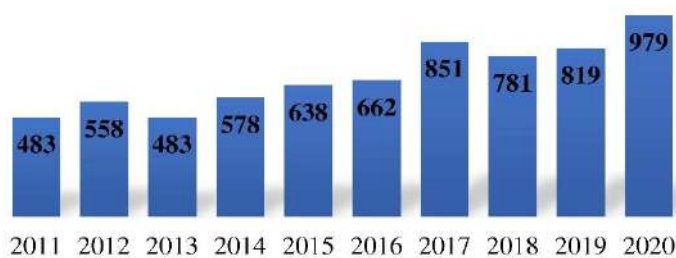


Рисунок 2 – Динамика производства нефтяного битума в Республике Беларусь, тыс. т.

Для достижения требуемых прочности и долговечности слоев дорожных одежд на органических вяжущих порой недостаточно применения традиционных дорожных битумов. Современные условия диктуют необходимость внедрения и использования новых технологий и материалов с повышенными деформативными свойствами. Одним из таких наиболее широко применяемых способов повышения качества дорожных материалов является модификация битумов. Современные научные достижения и мировой опыт показывают, что модификация битумов различными полимерными добавками позволяет получить композиции с улучшенными свойствами (долговечность, адгезия, температурная работа и др.). В данном случае должно наблюдаться снижение потребности в ремонтных мероприятиях и потреблении дорогостоящего битумного сырья.

В настоящее время в полимерно-битумных композициях испытано множество полимеров, но на практике применяются лишь некоторые типы, которые можно сгруппировать в следующий классы:

- блоксополимеры дивинила и стирола (термоэластопластичные полимеры);
- эластомеры (способность значительно удлиняться при растяжении и восстанавливаться при снятии нагрузки);
- термопласты (способность многократно размягчаться при нагревании и твердеть при охлаждении);
- реактопласты (позволяют создавать очень прочные, но недостаточно деформативные материалы, что ограничивает применение в конструкциях дорожных одежд).

Модификация свойств битума различными полимерами состоит в создании пространственной структурной сетки полимера в битуме. Результаты модификации зависят от совместимости полимера и битума, их количественного соотношения, температурных режимов приготовления.

Наряду с внедрением новых материалов и технологий при доведении транспортно-эксплуатационных показателей дорог следует уделять внимание назначению ремонтных мероприятий на основе результатов диагностики дорог, определению участков дорог первоочередного ремонта, разработке проектной документации, своевременному выполнению ремонтных мероприятий с использованием прогрессивных инновационных технологических решений, зарекомендовавших себя на территории страны; применять исправно-работающую технику и обученных в установленном порядке линейных руководителей и других инженерно-технических работников, машинистов и пр.; при составлении проектной документации разрабатывать решения для ликвидации несоответствий и доведения до требований действующих технических нормативно-правовых актов всех элементов автомобильной дороги, что позволит значительно улучшить условия движения и повысить уровень его безопасности.

#### Список литературы

1 Государственная программа «Дороги Беларуси» на 2021–2025 годы : Постановление Совета Министров Респ. Беларусь 09.04.2021 № 212 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=C22100212>. – Дата доступа : 06.09.2022.

2 Промышленность Республики Беларусь. Статистический буклет. – Минск : Национальный статистический комитет Республики Беларусь, 2016. – 248 с.

3 Промышленность Республики Беларусь. Статистический буклет. Минск : Национальный статистический комитет Республики Беларусь, 2021. – 51 с.

УДК 625.7/.8:691.175.5/.8

## ИССЛЕДОВАНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА СЦЕПЛЕНИЯ ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ ИЗ ТЕРМОПЛАСТКОМПОЗИТА

*Д. И. БОЧКАРЕВ, П. А. КАЦУБО, В. В. ПЕТРУСЕВИЧ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В настоящее время технологии строительных материалов активно развиваются с учетом использования полимеров в рецептурах асфальтобетонных, цементобетонных и других смесей, которые широко используются в транспортном строительстве. Это позволяет создавать дорожно-строительные материалы, имеющие более высокие, чем у традиционных, физико-механические свойства и эксплуатационные характеристики, что способствует внедрению новых технологических процессов строительства и ремонта асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог [1].

Сочетание дисперсных наполнителей и вторичных полимеров является перспективным направлением, так как способствует получению новых материалов – термопласткомпозиатов, имеющих широкую область применения, а также позволяет решать экологические проблемы, связанные с утилизацией и вторичным использованием отходов производства и потребления. В процессе исследования термопласткомпозиата на основе вторичного полиэтилена (полипропилена) и минерального наполнителя (отработанной формовочной смеси литейных производств) определены его физико-механические свойства и дана оценка возможности дальнейшего применения в качестве дорожно-строительного материала [2].

Для материалов дорожных покрытий важное значение имеет величина коэффициента сцепления с колесами транспортных средств. Данный показатель для термопласткомпозиата исследовался в

лабораторных условиях с помощью установки ТММ-32А для определения коэффициента трения скольжения, кинематическая схема которой представлена на рисунке 1.

Последовательность выполняемых технологических операций и принцип работы установки описаны в [3]. На рисунке 2 показан момент проведения испытаний.

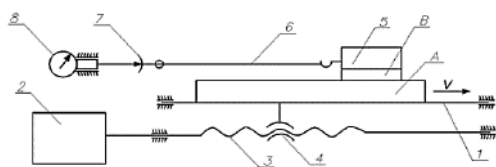


Рисунок 1 – Схема установки ТММ-32А:

*A* – пластина; *B* – образец испытуемого материала (термопласт-композиата);  
 1 – подвижные салазки; 2 – мотор-редуктор; 3, 4 – винтовые кинематические пары; 5 – груз; 6 – трос; 7 – балочка; 8 – индикатор часового типа



Рисунок 2 –Проведение испытания, общий вид установки ТММ-32А

При проведении испытаний использовались образцы термопласткомпозиата, состав которых включает, мас. %: песок – 52 (земля горелая формовочная завода «Центролит» (код отхода 3140101)), полиэтилен высокого давления (ПЭВД) – 47 (ТУ ВУ 490315959.013), углерод технический (УТ) – 1 (ГОСТ 7885).

Образцы 1 и 2 обрабатывались клеевым составом, который применяется для увеличения коэффициента сцепления колес автомобиля с покрытием автомобильной дороги во время проведения соревнований по дрег-рейсингу. Образцы 3 и 4 покрывались составом гидрофобным профилактическим, содержащим, мас. %: связующее (отходы переработки нефтепродуктов) 65–75; минеральный наполнитель (отходов сахарного производства) 8–16; растворитель (керосин (ГОСТ 18499–73)) – остальное [5, 6]. Образцы 5 и 6 – термопласткомпозиат, смоченный водой. Образцы 7 и 8 – не обработанный термопласткомпозиат. Результаты проведенных испытаний представлены в таблице 1.

Анализ полученных результатов показывает, что у образцов, обработанных клеевым составом, более высокий коэффициент сцепления. Это может объясняться тем, что пленкообразующим веществом клеевого состава является полидиметилсилоксановый каучук [4], адгезионные свойства которого позволяют повысить коэффициент сцепления как к термопласткомпозиату, так и к резиновой шине автомобиля. У образцов 3 и 4, обработанных составом гидрофобным профилактическим, значения коэффициента трения выше, чем у чистого термопласткомпозиата, так как связующим являются отходы переработки нефтепродуктов, содержащие в своем составе также производные каучука [4].

Таблица 1 – Результаты измерений и вычислений коэффициента трения

Характеристика образцов	$m_{об}$ , кг	$G$ , Н	$n$ , (средний по результатам 5 испытаний)	$F_{тр}$ , Н	$f$ (средний по результатам 5 испытаний)	Примечание	
Образцы из термопласт-композиата	Образец 1	0,617	6,05	55	3,7	0,61	Обработаны клеевым составом
	Образец 2	0,625	6,13	55	3,7	0,60	
	Образец 3	0,644	6,31	53	3,65	0,58	Обработаны составом гидрофобным профилактическим
	Образец 4	0,634	6,21	53	3,65	0,59	
	Образец 5	0,753	7,38	41	2,8	0,38	Смоченные водой
	Образец 6	0,757	7,42	41	2,8	0,38	
	Образец 7	0,743	7,28	46	3,3	0,45	Сухой термопласткомпозиат
	Образец 8	0,746	7,31	46	3,3	0,45	
Асфальтобетон					0,5–0,7	Сухой асфальтобетон	
					0,35–0,45	Мокрый асфальтобетон	

Полученные результаты экспериментальных исследований, выполненные в лабораторных условиях, позволяют определить значение коэффициента сцепления термопласткомпозиата и сравнить его с аналогичными показателями асфальтобетона. Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод, что коэффициент сцепления сухого термопласткомпозиата на 10 % ниже, чем у сухого асфальтобетона. Однако обработка термопласткомпозиата клеевым составом или составом гидрофобным профилактическим увеличивает значение коэффициента сцепления до величин, сравнимых с соответствующими значениями для сухого асфальтобетона, что позволяет применить его в каче-

стве материала дорожного покрытия. В то же время повышение коэффициента сцепления термопласткомпозиата без дополнительной обработки, является актуальным вопросом, решение которого возможно с помощью введения дополнительных компонентов в его рецептуру и представляет собой задачу для дальнейших исследований.

#### Список литературы

- 1 Состояние и перспективы развития технологий дорожно-строительных материалов на основе термопласткомпозиатов / Д. И. Бочкарев [и др.] // Полимерные материалы и технологии. – 2021. – Т. 7. – С. 55–61.
- 2 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.
- 3 Сенькова, Е. Л. Теория механизмов и машин : лабораторный практикум / Е. Л. Сенькова, В. Л. Моисеенко. – Гомель : БелГУТ, 2004. – 62 с.
- 4 Методология оценки воспроизводимости коэффициента сцепления асфальтобетонного покрытия при его профилактической обработке в лабораторных и реальных условиях дорожных испытаний / Д. И. Бочкарев [и др.] // Автомобильные дороги и мосты. – 2019. – С. 25–30.
- 5 Гидрофобный состав для профилактической обработки асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог : заявка Респ. Беларусь № а 20180114, МПК 7Е01С14/24 / Д. И. Бочкарев, В. В. Петрусевич. Заявитель Д. И. Бочкарев, В. В. Петрусевич. – № а 20180114 ; заявл. 23.03.2018.
- 6 ТУ ВУ 192670194.002–2019. Состав гидрофобный профилактический «ПРОТЕКТ-01» 03.12.2019–03.12.2024.

УДК 625.7/.8

## ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОФИЛАКТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

*Д. И. БОЧКАРЕВ, В. В. ПЕТРУСЕВИЧ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Техническое состояние автомобильных дорог определяется инженерно-геологическими условиями, проектными решениями, природно-климатическими факторами, транспортными нагрузками, а также качеством производства работ и материалов дорожных одежд.

В настоящее время существуют технологии, позволяющие продлить срок службы асфальтобетонного покрытия автомобильной дороги посредством защиты от комплексного воздействия погодноклиматических факторов и транспортных нагрузок в осенне-зимне-весенний период эксплуатации [1].

Одной из данных технологий, направленных на повышение стойкости асфальтобетонных покрытий к влиянию циклов замораживания-оттаивания, является обработка составом гидрофобным профилактическим «ПРОТЕКТ-01» (далее – СПП) [2, 3].

Определение прямой экономической эффективности от обработки асфальтобетонного покрытия СПП отражено в ряде работ [4, 5], которые учитывают следующие направления: затраты на строительство (реконструкцию) дорожного объекта; затраты, связанные с текущим содержанием и ремонтами покрытия в течение расчетного периода; косвенные эффекты, возникающие в ходе реализации профилактической обработки (рисунок 1).

Одновременно с этим представляют интерес определение и анализ косвенного экономического эффекта от обработки асфальтобетонного покрытия СПП, содержащего экономические и социальные элементы, который с учетом основных влияющих на него факторов можно рассчитать по следующей формуле [5–7]:

$$\Delta C_{СПП} = \Delta C_{тр} + \Delta C_{пас} + \Delta C_{ДТП1} + \Delta C_{ДТП2} + \Delta C_{пром} + \Delta C_{соц}, \quad (1)$$

где  $\Delta C_{тр}$  – экономия транспортных затрат в  $t$ -м году;  $\Delta C_{пас}$  – уменьшение потерь, связанных со временем пребывания в пути пассажиров, в  $t$ -м году;  $\Delta C_{ДТП1}$  – уменьшение потерь от ДТП на  $i$ -м участке дорожного сооружения, связанных с тяжелыми и легкими ранениями, в  $t$ -м году;  $\Delta C_{ДТП2}$  – уменьшение потерь от ДТП на  $i$ -м участке дорожного сооружения в  $t$ -м году, связанных с повреждением и транспортировкой транспортных средств, в  $t$ -м году;  $\Delta C_{пром}$  – уменьшение потерь от развития отраслей материального производства в связи с неблагоприятными дорожными условиями в  $t$ -м году.



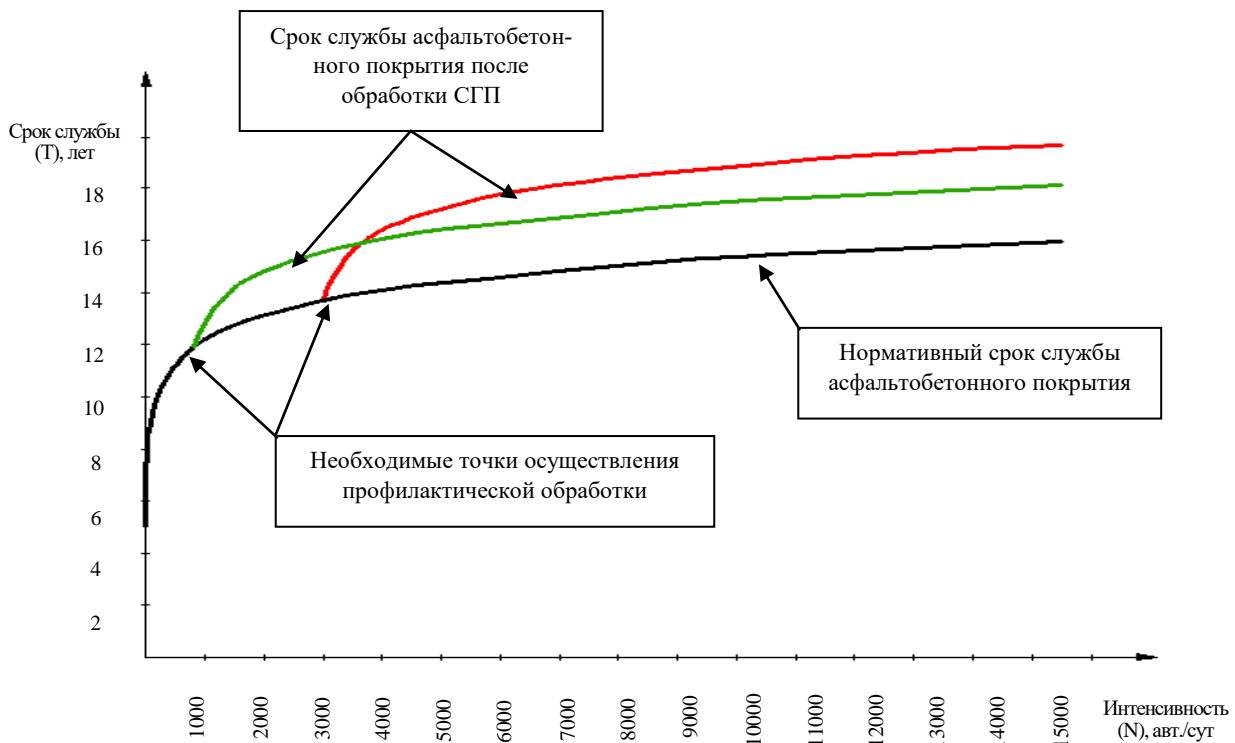


Рисунок 1 – Прямой экономический эффект от обработки асфальтобетонного покрытия СГП

Экономия транспортных затрат в  $t$ -м году определяется по формуле [5–7]

$$\Delta C_{\text{тр}} = \frac{\sum_{j=1}^n Q_{ij} C_{cj} \Delta T_{cj}}{365 \cdot 24}, \quad (2)$$

где  $Q_{ij}$  – количество грузов круглогодичного производства и потребления, перевозимых  $j$ -м грузовиком в  $t$ -м году, т;  $C_{cj}$  – средняя цена 1 т перевозимых грузов  $j$ -м грузовиком, определяемая структурой грузооборота, руб.;  $\Delta T_{cj}$  – уменьшение времени пребывания  $j$ -го грузовика в пути, сут;

Уменьшение потерь, связанных со временем пребывания в пути пассажиров, рассчитываются по формуле [5–7]

$$\Delta C_{\text{пас}} = 365 C_t^{\text{пас}} \left[ \Delta N_t^{\text{л}} B^{\text{л}} \left( \frac{L}{v_t^{\text{л}}} + t_t^z \right) k_{\text{л}} + \Delta N_t^{\text{авт}} B^{\text{авт}} \left( \frac{L}{v_t^{\text{авт}}} + t_t^z \right) k_{\text{авт}} \right], \quad (3)$$

где  $C_t^{\text{пас}}$  – величина ВВП, приходящегося на 1 чел./ч занятого населения, в  $t$ -м году;  $\Delta N_t^{\text{л}}$ ,  $\Delta N_t^{\text{авт}}$  – увеличение среднегодовой суточной интенсивности движения соответственно легковых автомобилей и автобусов на участке, авт./сут;  $B^{\text{л}}$ ,  $B^{\text{авт}}$  – среднее количество пассажиров в одном легковом автомобиле и автобусе, чел.;  $v_t^{\text{л}}$ ,  $v_t^{\text{авт}}$  – скорость движения легковых автомобилей и автобусов на участке, км/ч;  $k_{\text{л}}$ ,  $k_{\text{авт}}$  – коэффициенты, учитывающие количество граждан Республики Беларусь среди пассажиров легковых автомобилей и автобусов соответственно.

Уменьшение потерь от ДТП на  $i$ -м участке дорожного сооружения, связанных с тяжелыми и легкими ранениями, в  $t$ -м году [5–7]

$$\Delta C_{\text{ДТП}} = \Delta Z \cdot 3,65 \cdot 10^{-4} P C_i N_{it} L_i \times \left( \sum_{t=0}^{T_i} \frac{0,7 \text{ВВП}_t + \text{ВГ12}}{(1+E)^t} k_{\text{тп}i} + n_{\text{р}}^{\text{ВСП}} \text{ВСП}_{\text{км}i} I_i^{\text{ВСП}} + \text{ДСЛ}_{\text{р}} \text{ПСЛ} + \text{ДАЛ}_{\text{р}} \text{ПАЛ} \right), \quad (4)$$

где  $\Delta Z$  – снижение количества ДТП на 1 млн авт./км;  $P C_i$  – среднее количество ранений в одном дорожно-транспортном происшествии, чел./ДТП;  $N_{it}$  – среднегодовая суточная интенсивность движения на  $i$ -м участке, авт./сут;  $L_i$  – протяженность  $i$ -го рассматриваемого участка с однородными

дорожными условиями, км;  $T_c$  – потенциальная продолжительность трудовой деятельности человека, лет; ВВП<sub>н</sub> – валовый внутренний продукт республики на душу населения, руб.  $n_p^{BCП}$  – количество вызовов скорой медицинской помощи на одно ранение, шт./ДТП; ВСП<sub>км</sub> – стоимость вызова скорой медицинской помощи на 1 км пробега, руб./км;  $l_i^{BCП}$  – среднее удаление  $i$ -го рассматриваемого участка от больницы, км; ДСЛ<sub>р</sub> – средняя длительность стационарного лечения при ранении, сут (ДСЛ<sub>р</sub> = 14,3 сут); ПСЛ – стоимость суток стационарного лечения, руб./сут; АЛ<sub>р</sub> – средняя длительность амбулаторного лечения при ранении, сут (ДАЛ<sub>р</sub> = 14,3; ПАЛ – стоимость суток амбулаторного лечения, руб./сут;  $k_p$  – коэффициент, учитывающий ранения граждан Республики Беларусь в общем количестве раненых (для местных дорог – 1, для республиканских – 0,83).

Потери от ДТП на  $i$ -м участке дорожного сооружения в  $t$ -м году, связанные с повреждением и транспортировкой транспортных средств, определяются по формуле [5–7]

$$\Delta C_{\text{ДТП2}} = \Delta Z \cdot 3,65 \cdot 10^{-4} N_{it} L_{it} \text{УТС}_{it} k_{yi} (\text{СУТ} + \text{РМП}_i), \quad (5)$$

где УТС<sub>it</sub> – среднее количество пострадавших транспортных средств в одном дорожно-транспортном происшествии на  $i$ -м участке рассматриваемого дорожного сооружения в  $t$ -м году, авт./ДТП;  $k_{yi}$  – коэффициент, учитывающий степень повреждений относительно скорости движения потока автомобилей на  $i$ -м участке рассматриваемого дорожного сооружения, руб./авт.; СУТ – среднее количество выплат страховыми компаниями на одно транспортное средство, руб./авт.; РМП<sub>i</sub> – средняя стоимость доставки поврежденного автомобиля с места происшествия до СТО или места постоянной стоянки, руб./авт.

Уменьшение потерь от развития отраслей материального производства в связи с неблагоприятными дорожными условиями  $t$ -м году [5]:

$$\Delta C_{\text{пром}} = \Delta H a_t \text{Ч}_t, \quad (6)$$

где  $\Delta H$  – величина чистой продукции в денежном выражении в расчете на 1 жителя в районе тяготения дорожного сооружения;  $a_t$  – доля капитальных вложений в развитие дорожного хозяйства района в общем объеме инвестиций на его экономическое развитие;  $\text{Ч}_t$  – численность населения района, чел.

Таким образом, косвенная 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 **Петрусевич, В. В.** Классификация защитных обработок, позволяющих повысить технико-экономические показатели асфальтобетонного покрытия / В. В. Петрусевич // Проблемы безопасности на транспорте : материалы IX Междунар. науч.-практ. конф. (Гомель, 11–12 октября 2018 г.). В 2 ч. Ч. 2. – Гомель : БелГУТ, 2018. – С. 51–52.
- 2 Состав гидрофобный профилактический ПРОТЕКТ-01 : Технические условия ТУ ВУ 192670194.002-2019. – Введ. 03.12.2019. – Минск : Минстройархитектуры. – 2019. – 29 с.
- 3 Гидрофобный состав для профилактической обработки асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог : заявка № а 20180114; МПК7 Е 01С 14/24 / Д. И. Бочкарев, В. В. Петрусевич. – № а 20180114 ; заявл. 23.03.2018.
- 4 Руководство по оценке экономической эффективности использования в дорожном хозяйстве инноваций и достижений научно-технического прогресса : ОДМД / Минтранс РФ. – М. : Инфрмавтодор, 2002. – 71 с.
- 5 Методические рекомендации по оценке эффективности строительства, реконструкции, капитального ремонта и ремонта автомобильных дорог : ОДМ 218.4.023-2015 / МАДИ. – М., 2015. – 178 с.
- 6 **Царенкова, И. М.** Экономическая оценка инвестиционных проектов в дорожном хозяйстве : учеб.-метод. пособие / И. М. Царенкова, Р. Б. Ивуть. – Гомель : БелГУТ, 2015. – 130 с.
- 7 **Авсеенко, А. А.** Экономическое обоснование решений при проектировании автомобильных дорог : метод. указания / А. А. Авсеенко, Н. П. Кикава. – М. : МАДИ (ГТУ), 2011. – 58 с.

## ПРИМЕНЕНИЕ ЛОГИСТИЧЕСКОГО ПОДХОДА К УПРАВЛЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ НА СЕТИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Р. А. БРЕУС, А. Т. ЗМЕЕВ

Военная академия материально-технического обеспечения  
им. генерала армии А. В. Хрулева, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Управление безопасностью представляет собой процесс достижения требуемого уровня безопасности при одновременном формировании необходимых для этого технических, экономических и социальных условий [1]. Уровень обеспечения безопасности дорожного движения – качественная характеристика степени соответствия показателей технического уровня, эксплуатационного состояния и уровня содержания автомобильных дорог и дорожных сооружений нормам, установленным исходя из требований обеспечения безопасности движения [2]. В части, касающейся автомобильных дорог, кроме перечисленных показателей решающее влияние будут оказывать организационные составляющие уровня обеспечения безопасности дорожного движения.

Сущность логистического подхода к управлению безопасностью дорожного движения заключается в логистизации транспортного и других потоков на сети автомобильных дорог, а также технических решений по управлению ими с конечной целью минимизации суммарных издержек дорожного движения на сети дорог в целом.

Логистические системы создаются и управляются исходя из общей цели – достижения максимальной эффективности работы всей системы [3]. Система логистического управления безопасностью дорожного движения на сети дорог предназначена для прогнозирования, предотвращения, ликвидации или ослабления влияния дестабилизирующих факторов на транспортный поток в пределах сети автомобильных дорог.

Основная цель системы логистического управления безопасностью движения на сети дорог состоит в удержании ущерба от дорожно-транспортных происшествий и возникновения заторов и пробок в допустимых пределах при условии выполнения функций техническими средствами управления движением и подразделениями обеспечения движения на дорогах.

Взаимодействие между элементами системы логистического управления безопасностью на сети автомобильных дорог и служб, отвечающих за их функционирование, показано на рисунке 1.



Рисунок 1 – Взаимодействие между элементами системы логистического управления безопасностью на сети автомобильных дорог региона

Перечислим и охарактеризуем элементы и системы логистического управления безопасностью на сети автомобильных дорог.

1 Система планирования движения по сети дорог состоит из органов управления (центров обеспечения) безопасностью дорожного движения. Включает личный состав центров обеспечения безопасности дорожного движения, технические средства связи, передачи данных, принятия решений.

2 Системы управления доступом на дороги должны находиться на въездах на платные дороги и выездах с них. Могут быть как в форме пунктов оплаты, оснащенных автоматическими техническими средствами контроля доступа, так и контрольно-пропускных пунктов, оснащенных автоматизированными (автоматическими) шлагбаумами и другими запорными устройствами.

3 Система управления движением на сети дорог включает подразделения ГАИ МВД Беларуси, расположенные на дороге; технические средства управления движением (светофоры, дорожные знаки и указатели), установленные на сети автомобильных дорог; технические средства управления движением, входящие в автоматизированные комплексы управления дорожным движением. Система управления движением действует на автомобильной дороге или сети дорог в целом для функционирования и обеспечения целостности транспортного потока.

4 Системы охраны и сигнализации участков и объектов на сети дорог – объекты на сети автомобильных дорог и наиболее важные их участки могут оснащаться автоматическими (автоматизированными) системами охраны, контроля и сигнализации.

5 Системы противопожарной защиты на дорогах организуются в общей системе противопожарной защиты и предназначаются для ликвидации последствий дорожно-транспортных происшествий. Могут включать в себя системы оповещения.

6 Системы ремонта и капитального ремонта, а также содержания автомобильных дорог создаются обособленно или совместно на базе предприятий, предназначенных для проведения соответствующих мероприятий (Государственные дорожные ремонтно-строительные управления). Могут существовать в форме отдельных бригад, получающих задание на устранение природных факторов сезонного влияния на дорогу, а также на ремонт и капитальный ремонт участков дорог и объектов, выслуживших межремонтные сроки эксплуатации. Кроме того, в них входят строительные материалы и элементы конструкций, которые сосредоточены в местах, наиболее ответственных для движения участков и объектов, карьеры и районы заготовки конструкций.

7 Системы сохранения жизни и здоровья включают в себя автоматические средства определения скорости, режима труда, отдыха водителей, устанавливаемые на борту автотранспортных средств, и бригады скорой помощи, реагирующие на сигнал о бедствии.

Таким образом, предназначение и сущность системы логистического управления безопасностью на сети автомобильных дорог определяют функции и процессы элементов этой системы для обеспечения функционирования и транспортного потока. Ее разработка и внедрение позволят решить проблему управления безопасностью дорожного движения на сети автомобильных дорог.

#### Список литературы

1 Модели и механизмы управления безопасностью / В. Н. Бурков [и др.]. – М. : Синтег, 2001. – 160 с. – (Препринт / Институт проблем управления).

2 Методические рекомендации по назначению мероприятий для повышения безопасности движения на участках концентрации дорожно-транспортных происшествий : утв. распоряжением Росавтодора от 30.03.2000 г. № 65-р. – М. : Росавтодор, 2000. – 42 с.

3 Логистика : учеб. пособие / под ред. Б. А. Аникина. – М. : ИНФРА-М, 1999. – 327 с.

4 Махонько, В. П. Комплексный подход к нормативно-правовому регулированию в области обеспечения транспортной безопасности / В. П. Махонько, Д. А. Павленко, О. И. Бушмин // Вестник Военной академии материально-технического обеспечения им. генерала армии А. В. Хрулева. – 2015. – № 1. – С. 60–64.

5 Макаров, А. Д. Концепция моделирования и построения структурно-логических схем / А. Д. Макаров // Стратегическая стабильность. – 2021. – № 3 (96). – С. 4–5.

## ПОЛИМЕРНЫЕ ШПАЛЫ НА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГАХ МИРА

А. А. ДЖУМАГАЛИЕВА, Д. И. ГАЛЛЯМОВ

Самарский государственный университет путей сообщения, Российская Федерация

Шпалы являются неотъемлемой частью путевого хозяйства железнодорожной отрасли. Шпалы обеспечивают стабильность расположения рельсовых нитей, воспринимают нагрузку от подвижного состава и равномерно передают ее на балластный слой.

В настоящее время наибольшее распространение получили железобетонные шпалы. Тем не менее в некоторых случаях всё еще используются деревянные, например, на станционных путях и на участках с низкой интенсивностью движения и малыми осевыми нагрузками.

Применение вышеперечисленных шпал на путях существенно затрудняет его содержание в связи трудоемкостью (потребность в регулярной подтяжке креплений, замещение гнилых шпал и т. д.). В то же время растут осевые нагрузки и скорости, соответственно, увеличивается интенсивность выработки производственных ресурсов шпал.

Для ликвидации подобных неисправностей за рубежом отдается предпочтение применению нового типа шпал – полимерных (композитных) (рисунок 1).

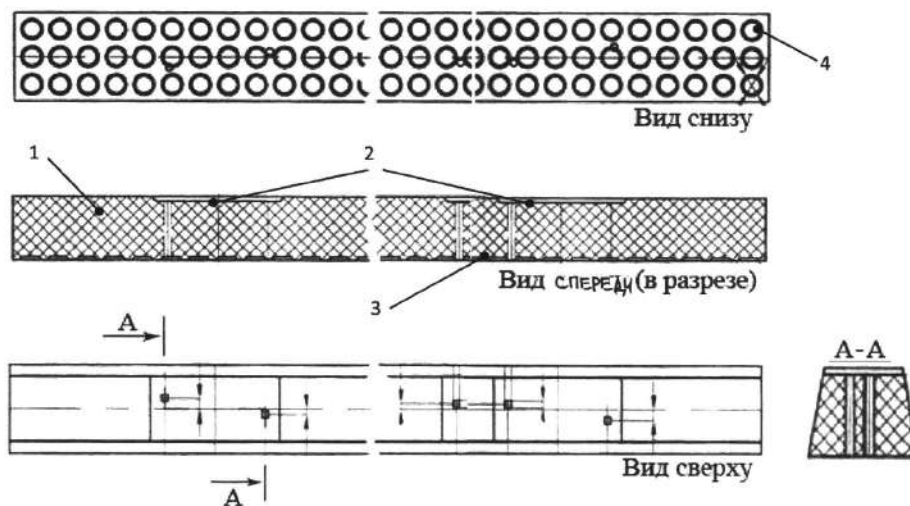


Рисунок 1 – Схема полимерной шпалы

Композитная шпала состоит из вторичных синтетических материалов и стекловолокна. Длительность службы данного вида шпал достигает 50 лет, а с точки зрения экологии применение полимерных шпал оказывается наиболее природосберегающим решением относительно использования деревянных благодаря высокому уровню переработки пластиковых отходов.

Композитные шпалы обладают множеством достоинств и перед железобетонными. Их можно укладывать посредством того же оборудования, что и деревянные, тогда как при укладке железобетонных шпал необходимы другие устройства, а балластная подушка должна быть абсолютно бетонной. Вместе с этим полимерные шпалы выдерживают температурный диапазон от +60 до –60 °С.

Заводы-изготовители композитных шпал разных государств применяют уникальные технические приемы выпуска шпал из синтетических материалов, но все они основываются на обработке смеси ПНД-ВП. Способ изготовления заключается в технологии литья под большим давлением, где раствор перемещается в изоляционные отсеки с дистрибутивными клапанами, которые попеременно подают поток в два гнезда.

В современном мире применяемые полимерные шпалы подразделяют на три вида относительно числа, протяженности и направленности волокон в них.

Модель № 1 – шпалы, упрочненные короткими волокнами / совершенно не упрочненные. Они обладают прочностными свойствами за счет полимера и рубленого стекловолокна. Это актуально

для шпал, используемых в трудных условиях эксплуатации. Положительные характеристики 1-й модели шпал: легкость при резке, вероятность повторного применения отходов в производстве, приемлемая стоимость. К недостаткам можно отнести невысокие показатели прочности и жесткости, ограниченную свободу выбора конструктивных решений, восприимчивость к температурным амплитудам, повышенную воспламеняемость.

Модель № 2 – шпалы, армированные в продольном направлении сплошным стекловолокном. Такие шпалы актуальны для путей на балластном основании, на которых напряжения на шпалах определяются изгибающей нагрузкой. Преимущества 2-го типа: легкость обработки, продолжительная прочность. С другой стороны, данный материал не подходит для внедрения на мостах, поскольку шпалы там подвержены действию сочетаний больших по величине изгибающих и сдвигающих усилий.

Модель № 3 – шпалы, армированные волокнами, расположенными в продольном и поперечном направлениях. Это полимерные шпалы с сэндвич-конструкцией, в которых волокна ориентированы в обоих векторах, что предоставляет возможность сопротивляться изгибным напряжениям и сдвиговым усилиям. Кроме этого, преимуществами таких шпал являются неограниченная свобода выбора конструктивных решений, огнестойчивость. Вязкие свойства крайне необходимы, когда шпалы размещаются на мостах. Однако процесс производства композитных шпал этого типа существенно кропотливый и замедленный, что приводит к увеличению стоимости производства.

Таким образом, к немаловажным проблемам при эксплуатации полимерных шпал 1-го типа относятся их низкие характеристики прочности и жесткости. Хотя данные недостатки компенсируют шпалы 2-го и 3-го типов, их высокая стоимость относительно железнодорожных шпал из железобетона и древесины все же существенно осложняет процесс их повсеместного использования на железных дорогах мира. Вместе с тем недостаточное количество информации в области точного определения их производственных свойств и отсутствие конкретных шагов по укладке также замедляют процедуру внедрения композитных шпал.

В 2011 году научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта Японии (Railway Technical Research Institute, RTRI) изучал шпалы из армированного волокном пеноуретана, которые были уложены и использованы на путях с постоянным движением поездов в течение 30 лет. Результаты проведенного опыта свелись к тому, что шпалы оказались пригодными к эксплуатации еще в течение следующих 20 лет.

В 2021 году в Австралии на базе Университета Южного Квинсленда также было проведено исследование, направленное на изучение влияния увеличения содержания резиновой крошки, рубленого стекловолокна и полипропиленовых волокон. Результаты показали, что введенные в эпоксидную полимерную сердцевину композитных железнодорожных шпал полимерные смеси улучшают механические характеристики благодаря сравнительно низкому модулю упругости, а также снижают стоимость материала.

В зарубежных странах на период 2022 года полимерные шпалы уложены более чем на 1300 км путей (приблизительно 2 миллиона шпал), причем основное их применение – в тоннелях, на стрелочных переводах и открытых стальных балочных конструкциях. Сейчас также исследуется вероятность внедрения композитных шпал для длиннопролетного железнодорожного моста в одном из крупнейших городов Китая.

#### Список литературы

- 1 Исследование физико-механических и микроструктурных свойств эпоксидной полимерной матрицы с резиновой для композитных железнодорожных шпал [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061821014604>. – Дата доступа : 10.09.2022.
- 2 Пластмассовые шпалы [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.railway.supply/plastmassovye-shpaly/>. – Дата доступа : 11.09.2022.
- 3 Polymer sleepers [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [https://scholar.google.com/scholar?hl=ru&as\\_sdt=0%2C5&q=polymer+sleepers&btnG=](https://scholar.google.com/scholar?hl=ru&as_sdt=0%2C5&q=polymer+sleepers&btnG=). – Дата доступа : 11.09.2022.
- 4 Экологичные шпалы [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://sevputspb.ru/ekologichnyie-shpaly/>. – Дата доступа : 11.09.2022.
- 5 Ершова, Д. С. Перспективы применения полимерных шпал в железнодорожном строительстве / Д. С. Ершова, А. А. Лычковский // Молодой ученый [Электронный ресурс]. – 2019. – № 13 (251). – С. 73–75. – Режим доступа : <https://moluch.ru/archive/251/57687/>. – Дата доступа : 15.09.2022.

## ВАЖНЕЙШИЕ АСПЕКТЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ МАГИСТРАЛЕЙ

*А. А. ДЖУМАГАЛИЕВА, Л. И. МАТЮШКОВА*

*Самарский государственный университет путей сообщения, Российская Федерация*

Статья посвящена актуальной проблеме в отрасли железнодорожного транспорта – проектированию и внедрению в эксплуатацию высокоскоростных магистралей в Российской Федерации. Высокоскоростная железнодорожная магистраль (ВСМ) представляет собой железнодорожную линию, по всей длине которой обеспечивается движение подвижных составов со скоростью более 200 км/ч [3].

Основным преимуществом высокоскоростных железнодорожных магистралей является обеспечение комфорта и удобства для пассажиров, а также существенная экономия времени, которая достигается благодаря высокой скорости движения. К плюсам можно отнести и отсутствие необходимости в больших территориях в условиях стандартного пассажирооборота. Чрезвычайно важным считается и то, что ВСМ обладает самым низким удельным выбросом загрязнителей в окружающую среду по сравнению с другими видами транспорта.

Согласно актуальным данным самую большую протяженность эксплуатируемых ВСМ имеет Китай (31043 км), второе и третье места занимают Япония и Испания соответственно. Таким образом, Китай – это лидер по длине сети ВСМ на мировой арене. Также в Китае зарегистрирована рекордная скорость движения у поезда Фуцин (420 км/ч). В Европе скоростные линии носят название «Lignes Grande Vitesse» (LGV). Железные дороги LGV, построенные за последние 30–35 лет во Франции, Англии, Германии и Бельгии имеют проектную скорость линии около 300 км/ч. Сейчас в мире функционируют лишь две рентабельные линии ВСМ: Лион – Париж (Франция) и Токио – Осака (Япония). Однако по прогнозам аналитиков, с развитием общества в целом протяженность ВСМ будет расти.

Учеными были проведены исследования, в ходе которых выяснилось, что применение ВСМ в целях многочисленных пассажирских перевозок целесообразнее на расстояниях от 400 до 800 км. Анализ своеобразия развития системы высокоскоростных железнодорожных линий в различных странах мира позволил выявить следующую закономерность: скоростной железнодорожный транспорт создается в странах, где ВВП на душу населения не менее 20 тыс. дол. США.

Россия является большой страной, и проектирование ВСМ – одна из важнейших задач ее развития в ближайшем будущем, несмотря на то, что проекты по строительству ВСМ в настоящее время приостановлены ввиду сложившейся экономической ситуации.

Из Послания Президента РФ к Федеральному собранию 15 января 2020 года следует, что в планы России входит строительство ВСМ между Санкт-Петербургом и Москвой, запуск которой ориентировочно ожидается до 2036 года. Также в России производятся разработки проекта ВСМ в направлении Москва – Казань, а в настоящее время осуществляются действия по утверждению пассажирооборота и вычислению рентабельности.

На основании опыта стран Западной Европы и Японии видно, что проектирование высокоскоростных железнодорожных магистралей и внедрение их в эксплуатацию является дорогостоящим проектом.

На данном этапе развития основная часть государств проектирует и использует скоростные и высокоскоростные магистральные железные дороги на балластной призме и на плитном (безбалластном) основании. Максимальная длина высокоскоростных линий эксплуатируется на безбалластном пути, а достижение рекордной скорости в 574 км/ч во Франции установлено с применением пути на балласте.

Вопрос о том, какой путь всё же более эффективен для высокоскоростных железнодорожных магистралей, в настоящее время остается открытым.

В рамках изучения данного вопроса было проведено сравнение обеих конструкций пути для выявления преимуществ и недостатков каждой из них. Результаты сведены в таблицу 1.

Таблица 1

Наименование конструкции верхнего пути	Плюсы	Минусы
Балластный путь	<ol style="list-style-type: none"> <li>1 Невысокие расходы на проектирование и капитальный ремонт.</li> <li>2 Универсальность и элементарность ремонта.</li> <li>3 Длительный срок службы.</li> <li>4 Высокое шумопоглощение.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1 Основание – слабое место.</li> <li>2 Ограничения по устойчивости бесстыкового пути против температурного выброса.</li> <li>3 Неизбежное изменение пути в плане.</li> <li>4 Необходимо проведение мер по повышению сопротивления шпал поперечному сдвигу.</li> <li>5 Вынужденное использование гербицидов, несущих пагубные последствия с точки зрения экологии</li> </ol>
Безбалластный путь	<ol style="list-style-type: none"> <li>1 Удобство применения на ИССО.</li> <li>2 Устойчивость бесстыкового пути.</li> <li>3 значительно меньшие статические и динамические нагрузки на верхние слои земляного полотна.</li> <li>4 Более длительный срок эксплуатации</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1 Высокая стоимость.</li> <li>2 Высокие требования к соблюдению технологии строительства.</li> <li>3 Повышенный уровень шума и вибрации.</li> <li>4 Отсутствие возможности проектирования пути на «слабых» грунтах</li> </ol>

В результате сравнения можно сделать вывод, что путь на безбалластном основании имеет преимущества в плане практичности монтажа и применения на ИССО, а также предпочтителен в связи с низкими затратами на текущее содержание. Вместе с тем балластный путь не требует больших расходов на строительство, он более универсальный для разных условий эксплуатации и в процессе восстановления после сходов подвижного состава и аварий. Кроме того, такой путь обладает оптимальными свойствами, способствующими снижению шума и вибрации.

Самыми распространенными безбалластными системами в мире являются Bögl, Shinkansen, Rheda, LVT [4].

К примеру, проектирование и внедрение безбалластного пути Rheda Германии обходится дороже строительства обычного пути на 20–40 %. Тем не менее такое превышение уравнивается снижением затрат на использование безбалластного пути по сравнению с балластным в перспективе ближайших 20 лет [2].

Немаловажным фактором, оказывающим влияние на выбор наиболее соответствующей требованиям конструкции ВСМ, является зарубежный опыт, который накапливался на протяжении многих лет.

Несомненно, абсолютный перенос иностранного опыта в российских условиях будет неуместен, однако методом интегрирования общих тенденций можно достичь существенных результатов.

Так, на базе Экспериментального кольца АО «ВНИИЖТ» (г. Щербинка) были проведены сравнительные испытания четырех видов безбалластных конструкций верхнего строения железнодорожного пути: LVT (РЖДстрой, Россия), FFB (MaxBögl, Германия), NBT (Alstom, Франция), EBS (Tines, Польша). Испытания проведены в соответствии с программой и методикой, утвержденными ОАО «РЖД» [1].

Пропущенный тоннаж ресурсной полигонной проверки по экспериментальному участку составил 600 млн т брутто. Отсюда следует, что все опытные безбалластные конструкции выдержали испытания и соответствуют требованиям безопасности движения.

Вошедшая в проектную документацию ВСМ Москва – Казань конструкция безбалластного верхнего строения пути типа CRTS III Rus пришла к нам из Китая. Она доработана и испытана под российские климатические условия с диапазоном температур от +47 до –50 °С и технические параметры с шириной колеи 1520 мм на участке Харбин – Далянь и на сегодня является инновационной для России [5].

Данные исследования положили начало одному из ключевых этапов изучения возможности эксплуатации подобной конструкции в интеграции с климатическими и техническими условиями Российских железных дорог.

При проектировании ВСМ Россия учитывает опыт других стран, в то же время стремится к поиску самостоятельных решений. Строительство высокоскоростных магистралей является сейчас одним из приоритетных направлений в создании современной транспортной инфраструктуры.



## Список литературы

- 1 Результаты испытаний безбалластных конструкций пути на Экспериментальном кольце АО «ВНИИЖТ» / А. В. Савин // Вестник ВНИИЖТ. – 2017. – № 4. – С. 195–201.
- 2 Современные конструкции верхнего строения пути для строительства скоростных и высокоскоростных железнодорожных линий [Электронный ресурс]. – Режим доступа : file: sovremennye-konstruktsii-verhnego-stroeniya-puti-dlya-stroitelstva-skorostnyh-i-vysokoskorostnyh-zheleznodorozhnyh-liniiy.pdf. – Дата доступа : 10.04.2022.
- 3 Анализ мирового опыта высокоскоростного железнодорожного транспорта [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://moluch.ru/archive/110/26636/>. – Дата доступа : 11.04.2022.
- 4 Выбор конструкции пути для высокоскоростного движения [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [vbor-konstruktsii-puti-dlya-vysokoskorostnogo-dvizheniya.pdf](http://vbor-konstruktsii-puti-dlya-vysokoskorostnogo-dvizheniya.pdf). – Дата доступа : 11.04.2022.
- 5 Технологии – скоростные магистрали [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.hsrail.ru/Projects-vsm/technologies/>. – Дата доступа : 11.04.2022.

УДК 625.111

### ПОВЫШЕНИЕ ПРОВОЗНОЙ СПОСОБНОСТИ УЧАСТКА ст. ЛАХВА – ст. СИТНИЦА БЕЛОРУССКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

*Н. В. ДОВГЕЛЮК, В. С. ШАГУЛИН, А. М. ЕРОНИН*  
*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Участок пути ст. Лахва – ст. Ситница характеризуется высокой грузонапряженностью. На 2021 год она составила 30,3 млн. т·км брутто на км в год. На участке имеет место пассажирское (6 пар поездов региональных линий, 3 пары – межрегиональных линий, по воскресеньям назначены дополнительных поездов), а также интенсивное грузовое (13 пар поездов в сутки) движение поездов.

На участке располагаются следующие станции.

1 Лахва – промежуточная станция 5-го класса, закрытая для грузовых операций. Является разделительной станцией между двухпутным участком Лунинец – Лахва и однопутным Лахва – Микашевичи.

2 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 и Лахва, так как он уже функционирует на участке Лунинец – 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.

В перспективном плане развития строительной отрасли страны намечено строительство Ситницкого горно-обогатительного комбината (ГОК). Он будет состоять из трех технологических линий: шестой, седьмой и восьмой. Создание ГОК даст дополнительный объем выпускаемой продукции (до 9 млн тонн 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 и отправила 4510 поездов.

3 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.

4 Микашевичи – промежуточная станция 4-го класса. Выполняются работы по погрузке и выгрузке вагонов с различными грузами (лес, цемент, отсев и др.).

Пропускная способность двухпутного участка при параллельном графике движения поездов рассчитывается по формуле [3]

$$N = ((1440 - t_{\text{тех}}) / I) \cdot \alpha_{\text{над}},$$

где 1440 – количество минут в сутках;  $t_{\text{тех}}$  – продолжительность технологического окна, мин.;  $I$  – интервал движения поездов в пакете при полуавтоматике блокировки;  $\alpha_{\text{над}}$  – коэффициент надежности работы технических устройств.

На двухпутных линиях  $t_{\text{тех}} = 120$  мин,  $\alpha_{\text{над}} = 0,95$ ,  $I = 18$  мин.

$$N = ((1440 - 120) / 18) \cdot 0,95 = 69 \text{ пар поездов в сутки.}$$

При непараллельном графике учитывается съём грузовых поездов другими категориями поездов: пассажирскими, пригородными, сборными. Для данного участка коэффициенты съёма для всех перечисленных категорий поездов равны 1,0. Поэтому пропускная способность участка в парах грузовых поездов при непараллельном графике

$$N_{\text{непар}} = N - N_{\text{пасс}} - N_{\text{приг}} - N_{\text{сб.}}$$

$$N_{\text{непар}} = 69 - 6 - 4 - 1 = 58 \text{ пар грузовых поездов в сутки.}$$

Для электрифицированного однопутного участка

$$N = ((1440 - 75) / 28) \cdot 0,93 = 45 \text{ пар поездов в сутки.}$$

$$N_{\text{непар}} = 45 - 6 - 4 - 1 = 34 \text{ пар грузовых поездов в сутки.}$$

Стоимость строительства второго пути требует на 67,2 % больше капиталовложений по сравнению с электрификацией и составляет около 1800 тыс. дол. за 1 км против 590 тыс. дол. (32,8 %). 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 %. 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.

В связи с ростом перевозок гранитного щебня и контейнерных перевозок, ориентированных на восточное направление, заслуживает внимания вариант строительства второго пути [1, 2] на участке Лахва – Ситница с одновременным переводом данного участка или всего направления Барановичи – Лунинец – Калинковичи на электрическую тягу при поддержке государства или иных источников. Это позволит обеспечить высокую провозную способность наряду с низкой себестоимостью перевозок.

#### Список литературы

1 Государственная программа «Транспортный комплекс», подпрограмма «Железнодорожный транспорт» на 2021–2025 годы : постановление Совета Министров Респ. Беларусь № 165 от 23.03.2021 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=C22100165>. – Дата доступа : 16.09.2022.

2 Национальная стратегия устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2030 года: одобр. на заседании Президиума Совета Министров Респ. Беларусь (протокол от 2.05.2017, № 10). – Минск, 2017. – 148 с.

3 Турбин, И. В. Изыскания и проектирование железных дорог : учеб. для вузов / И. В. Турбин. – М. : Транспорт, 1989. – 479 с.

УДК 656.21

### К ВОПРОСУ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ ПЕЗДОВ НА ГОРНО-ПЕРЕВАЛЬНОМ УЧАСТКЕ

*А. Д. ДОМОЖИРОВА, Н. Ю. ГОНЧАРОВА, Р. Ю. УПЫРЬ*

*Иркутский государственный университет путей сообщения, Российская Федерация*

Согласно Стратегии развития железнодорожного транспорта до 2030 г. обеспечение безопасности движения является одной из приоритетных задач ОАО «РЖД». Так, в утвержденной правитель-

ством России стратегии развития отрасли говорится о том, что повышение уровня безопасности функционирования железнодорожного транспорта является важнейшим государственным приоритетом развития и модернизации отрасли, научных исследований и текущей эксплуатационной работы [1].

Под безопасностью движения поезда на железнодорожном транспорте понимается свойство движения поезда находиться в неопасном состоянии за расчетное время, когда отсутствует угроза сохранности жизней и здоровья пассажиров, технического персонала, населения, сохранности грузов, объектов хозяйствования, технических средств транспортной системы [2].

Увеличение интенсивности движения поездов, повышение мощности и скорости локомотивов, используемых для движения поездов – всё это факторы, способствующие увеличению вероятности наступления негативных последствий, нарушения безопасности. К примеру, вероятность и последствия схода с рельсов поезда или вагонов при скоростях движения 10 и 160 км/ч будут существенно отличаться, а пропуск в единицу времени большего количества поездов может привести к большему суммарному времени задержек поездов, вынужденно простаивающих из-за аварийной остановки одного поезда.

С другой стороны, современная потребность в грузоперевозках ставит задачу по повышению пропускной способности Байкало-Амурской и Транссибирской железнодорожных магистралей в 1,5 раза к 2024 году. Решение такой задачи усложняется наличием на Восточно-Сибирской железной дороге горно-перевального участка Большой Луг – Слюдянка, относящегося к числу грузонапряженных отрезков, профиль пути которого включает кривые малого радиуса, затяжные подъемы и спуски, являясь при этом одним из самых узких мест Транссиба. Движение поездов на данном участке осуществляется с минимальными интервалами 8–10 минут, а движение тяжеловесных поездов осуществляется с использованием подталкивающих локомотивов.

Увеличение пропускной способности железных дорог является сложной технико-экономической задачей, затрагивающей все стороны перевозочного процесса. В общепринятом представлении, пропускная способность отражает возможность удовлетворить потребности в перевозках заданных объемов грузов и является индикатором производительности системы железнодорожного транспорта. Потребность в бесперебойном продвижении поездопотоков остаётся ключевой на сегодняшний день, так как сохраняется высокий уровень погрузки.

Основными факторами, влияющими на пропускную способность, являются [3]:

- техническое оснащение и надёжность устройств станций, перегонов (количество станционных путей, средства автоматики и связи, схемные станционные решения, профиль пути, мощность локомотивного хозяйства и др.);

- организация технологии работы станций, диспетчерских участков, депо и др.;

- внешние факторы, не подлежащие корректировке (погодно-климатические условия);

- человеческий фактор (компетентность персонала, руководящего работой станции, участков).

Расчет пропускной способности осуществляется согласно действующим нормативным документам [4], согласно которым при определении наличной пропускной способности учитываются продолжительность суточного бюджета времени, а также коэффициент  $\alpha_n$ , учитывающий надежность работы технических средств: инфраструктуры и подвижного состава (на электрифицированных однопутных линиях 0,93, а при тепловозной тяге – 0,92; на двухпутных линиях величина коэффициента надежности принимается при электротяге – 0,96, а при тепловозной тяге – 0,95).

На наш взгляд, в предложенной методике расчета значения  $\alpha_n$  являются условно постоянными и не учитывают индивидуального технического состояния перегонов и станций.

Надежность работы технических устройств определяет качество и безопасность перевозочного процесса. Надежность есть важнейшая характеристика любого технического объекта, от которой зависит целесообразность его использования по назначению.

Надежность работы объектов железнодорожного транспорта (подвижной состав и инфраструктура) характеризуется безотказностью, продолжительностью или объемом выполненной работы (наработка) и работоспособностью.

На горно-перевальном участке Большой Луг – Слюдянка были рассчитаны значения коэффициентов надежности работы технических средств, определяемых как функции количества отказов, определена потребность в пропускной способности каждого перегона участка, установлены перегоны с самыми низкими коэффициентами надежности. Выявлены наиболее частые факторы причин возникновения отказов: неисправности изолирующих стыков; гибкого фиксатора контактной сети; дугогасительной камеры вакуумного выключателя, рамы токоприемника, якоря тягового двигателя

постоянного тока, силовых контактов электромагнитного контактора силовой цепи; тормозной магистральной грузовой вагона, резервуаров грузовой вагона, буксового узла грузовой вагона, воздухораспределителя грузовой вагона; линзового светофора, реле аппаратуры автоблокировки.

Проведенное исследование надежности работы горно-перевального участка Большой Луг – Слюдянка позволило сделать следующие выводы:

– анализ полученных значений позволяет выявить сильную статистическую взаимосвязь количества задержанных поездов от количества отказов согласно интерпретации значений коэффициента корреляции, составляющего 97 %;

– использование одного и того же значения коэффициента надежности – 0,96 для электрифицированных двухпутных линий не всегда приводит к точному расчету пропускной способности, а это, в свою очередь, не позволяет в полной мере оценить возможную мощность участка в продвижении поездопотоков. Согласно полученным данным, на исследуемом участке имеются перегоны с резервом пропускной способности, и перегоны с меньшими значениями пропускной способности по сравнению с расчетами (нормативным коэффициентом). В свою очередь, это приводит к некорректному соотношению наличной пропускной способности с потребной и, как следствие, вызывает неравномерность поездопотока;

– причина возникновения отказа имеет системный характер, и в совокупности может быть сопоставлена и определена некоторым уровнем нагрузки на инфраструктуру (грузонапряженностью линии).

Таким образом, обеспечение высокого уровня надежности работы технических устройств является непростой научно-технической проблемой. Комплексное изучение вопросов в этом направлении позволяет установить закономерности возникновения отказов и восстановления работоспособности; рассмотреть влияние внешних и внутренних факторов на работу отдельных объектов; разработать методы оценки надежности с учетом специфики работы системы; изыскать способы повышения надежности.

Техническое оснащение линии определяет уровень обеспечения безопасности, а также пропускной способности, массу и скорость движения поездов, а в конечном итоге и себестоимость перевозок. Повышение грузонапряженности линии может привести к увеличению потока отказов из-за повышения уровня нагрузок, воздействующих на инфраструктуру, которые ранее не учитывались. Для исследуемого горно-перевального участка, являющегося узким местом Восточного полигона, характерны ограничения пропускной способности ввиду сложного профиля. В этой связи на таких участках необходимо в разы увеличивать надежность технических средств по сравнению с другими участками с наиболее благоприятными профилями, поскольку цена отказа на участке Большой Луг – Слюдянка очень высока.

#### Список литературы

1 Стратегия развития железнодорожного транспорта до 2030 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://mintrans.gov.ru/documents/7/1010?type=>. – Дата доступа : 20.09.2022.

2 Обеспечение безопасности движения поездов [Электронный ресурс] : учеб. пособие. – М. : Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2016. – 148 с. – Режим доступа : <http://umczdt.ru/books/1194/30033/>. – Дата доступа : 20.09.2022.

3 Доможирова, А. Д. Основные факторы, влияющие на пропускную и провозную способности, в условиях современной системы организации вагонопотоков / А. Д. Доможирова // Молодая наука Сибири : электрон. науч. журн. [Электронный ресурс]. – 2019. – № 3 (5). – Режим доступа : <http://mnv.ircups.ru/toma/35-2019>. – Дата доступа : 16.09.2022.

4 Инструкция по расчету наличной пропускной способности железных дорог : утв. ОАО «РЖД». – 2010. – 289 с.

5 Доможирова, А. Д. Исследование надежности эксплуатационной работы железнодорожной линии на горно-перевальном участке / А. Д. Доможирова, Н. Ю. Гончарова, Р. Ю. Упырь // Транспорт: наука, техника, управление. – 2020. – № 6. – С. 24–27.

УДК 625.143.5

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ УКЛАДКИ РЕЛЬСОШПАЛЬНОЙ РЕШЕТКИ В КРИВЫХ УЧАСТКАХ ПУТИ МАЛОГО РАДИУСА

Я. В. ДОРОФЕЕВ

*Самарский государственный университет путей сообщения, Российская Федерация*

На железных дорогах Российской Федерации уложено порядка 4500 км кривых малого радиуса (до 350 м). Одной из проблем, связанных с такими кривыми, является укладка звеньев рельсошпальной решетки. В настоящее время отсутствует утвержденный технологический процесс укладки РШР в кривых малого радиуса, а работы выполняются без учета необходимости изгиба звена.

Цель работы являлось рассмотрение звена рельсошпальной решетки как упругой балки переменного сечения. Расчетным методом требовалось определить зависимость необходимого для изгиба звена РШР усилия от его жёсткости.

В результате получена зависимость необходимого усилия для изгиба РШР в разных точках от жёсткости звена. Таким образом, получена зависимость изменения усилия, необходимого для изгиба звена РШР при укладке его в кривой радиусом менее 350 м от усилия затяжки шурупов промежуточного рельсового скрепления.

При сборке звеньев РШР на звеносборочных базах путевых машинных станций необходимо производить дифференцированную затяжку шурупов промежуточных рельсовых скреплений для осуществления равномерного изгиба звеньев РШР при укладке их в путь и последующей затяжке до нормативного уровня. Это позволит снизить время на укладку пути в кривых малого радиуса и повысить качество выполнения работ.

#### Список литературы

1 Совершенствование технологии укладки рельсошпальной решетки в кривых малого радиуса / Д. В. Овчинников [и др.] // Путь и путевое хозяйство. – 2021. – № 11. – С. 14–17. – EDN ICJDNV.

2 Дорощеев, Я. В. Экспериментальное определение сил сопротивления промежуточных рельсовых скреплений / Я. В. Дорощеев, Д. В. Овчинников // Наука и образование транспорту. – 2021. – № 2. – С. 217–218. – EDN YAUIIE.

3 Дорощеев, Я. В. Укладка пути в кривых малого радиуса / Я. В. Дорощеев, В. А. Покацкий // Образование – наука – производство : материалы Всероссийской науч.-практ. конф. (Чита, 07–08 декабря 2018 г.) – Чита : Забайкальский институт железнодорожного транспорта – филиал ИрГУПС, 2018. – С. 101–104. – EDN VDJVHN.

4 Дорощеев, Я. В. Укладка рельсо-шпальной решетки в кривых малого радиуса / Я. В. Дорощеев, Д. В. Овчинников, В. А. Покацкий // Наука и образование транспорту. – 2018. – № 2. – С. 140–143. – EDN YWOMFF.

УДК 625.171

## МАРКИРОВКА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ РЕЛЬСОВ

*Я. В. ДОРОЩЕЕВ, А. С. ПЕЧОРИН*

*Самарский государственный университет путей сообщения, Российская Федерация*

Рельсы являются самым дорогостоящим и самым ответственным элементом железнодорожного пути. Именно рельсы непосредственно контактируют с колесными парами подвижного состава, воспринимают максимальную нагрузку, подлежат вертикальному и боковому износу. Поэтому рельсы подлежат поштучному учёту и контролю состояния. В течение жизненного цикла рельса на него наносится различная маркировка. С учетом современных тенденций к цифровизации производственных процессов необходимо разработать систему цифровой маркировки каждого рельса с возможностью вносить изменения и дополнения в течение жизненного цикла рельса.

В России рельсы для магистрального железнодорожного транспорта производятся на трех предприятиях: Новокузнецкий металлургический комбинат, Нижнетагильский металлургический комбинат и Челябинский металлургический комбинат. В процессе изготовления на новые рельсы наносится выпуклая наплавленная маркировка, в которой указываются год и месяц прокатки рельса, тип рельса и завод-изготовитель. Также вдавленными символами указывается номер плавки, по которому можно определить тип выплавки, химический состав стали и другие параметры выплавки.

Во время приемки рельса заказчиком на торце подошвы каждого рельса наносится приемочный знак службы технического контроля. Также наносится маркировка краской в зависимости от категории рельсов.

В процессе жизненного цикла на каждый рельс ведется запись в Рельсовой книге формы ПУ-2. В книгу заносятся данные о величине износов, выполнении работ по наплавке рельсовых концов, шлифовке рельсов, укладке и снятии рельса. Дополнительно ведется книга формы ПУ-2а «Журнал учета дефектных рельсов, лежащих в главных приемоотправочных железнодорожных путях», в которую заносятся данные о выявленных дефектах в рельсах и их параметрах.

Большая часть рельсов, уложенных на главных путях железных дорог Российской Федерации, свариваются в рельсовые плети. На шейке рельса на расстоянии 1 метр от торца рельса белой масляной краской наносится маркировка рельсовой плети, в которой указывается название сварочного

предприятия, номер в сварочной ведомости, номер плети и ее сторонность по проекту, дата и температура закрепления плети. Данная маркировка должна регулярно обновляться.

При снятии рельса из пути при капитальном ремонте или текущем содержании пути определяется ее группа годности для повторного использования и на рельс наносится маркировка старогоднего рельса белой масляной краской, в которой указываются боковой и вертикальный износ, пропущенный тоннаж и группа годности. При повторной укладке рельса в путь эти данные вносятся в рельсовую книгу.

Таким образом, в течение жизненного цикла рельс подвергается маркированию различными способами, при этом маркировка требует различного рода финансовых и временных затрат. Так, в месте нанесения вмятой маркировки запрещено сверлить болтовые отверстия, поскольку места нанесения символов могут создать концентраторы напряжений и стать причиной возникновения трещин. По той же причине при сверлении отверстий на участке рельса с выпуклой маркировкой она предварительно стачивается при помощи шлифовальной машинки. Нанесение и обновление маркировок масляной краской требует затрат на краску и времени работы монтеров пути или техников.

Для автоматизации и совершенствования процессов внесения и получения информации о рельсах предлагается вести персональные QR-коды, которые будут наноситься на пластинки нержавеющей стали и крепиться к шейке рельсов при помощи холодной сварки. Предполагается крепление данной пластины на этапе производстве рельса. Таким образом, любой работник железнодорожного транспорта сможет получить актуальную информацию о рельсе в режиме реального времени.

Данный комплекс будет сопровождаться приложением для мобильных устройств под управлением операционной системы Android. Для соблюдения корпоративного стиля компании, приложение будет создано согласно бренд буку. Перед тем как начать пользоваться приложением, в обязательном порядке необходимо пройти аутентификацию в системе, чтобы фиксировать действия пользователя. Ради упрощения использования при открытии приложения будет запускаться камера для считывания QR-кода. QR-код не будет содержать в себе какую-либо конфиденциальную информацию, только уникальный номер изделия, с помощью которого его можно будет идентифицировать в системе при помощи протокола REST. Использование данного протокола позволит беспрепятственно расширять функционал приложения, а также платформы, на которых его можно использовать. Так как протокол базируется на обработке запросов, которые поступают от клиента, это не обязует использовать исключительное мобильное, или web-приложение, а наоборот, создать целый комплекс программных средств, синергия которых может сократить трудозатраты и обеспечить сохранность и безопасность данных.

Считав QR-код, приложение отправляет на сервер запрос с уникальным номером изделия и данными пользователя для авторизации. После этого запрос обрабатывается и сервер подготавливает данные в соответствии с правами доступа. В ответном сообщении сервер возвращает запрашиваемую информацию, после чего она отображается на устройстве сотрудника в удобной для изучения форме. Одна из основных задач данного приложения – обеспечить простоту и удобство использования, чтобы сотрудники разных поколений не испытывали дискомфорт в использовании, и минимизировать сложности со взаимодействием с интерфейсом. Для этого проектирование UI/UX-составляющей приложения полностью ориентировано на минимализм и аскетичность. Выводиться информация будет посредством таблиц, которые имеют фильтрацию по определенным параметрам (дата, год, тип работ, конкретный параметр, и т. д.), что позволит не перегружать интерфейс не нужной сейчас информацией.

Права пользователя будут разбиты на несколько уровней, с помощью которых обеспечится распределение возможностей работы с приложением. Первый – самый простой уровень, он ограничен возможностью только просмотреть информацию об изделии. Пользователь со вторым уровнем доступа сможет вносить в базу данные «с поля». Вторым уровнем доступа должны получить бригадиры, мастера, начальники участков, которые непосредственно руководят работами и могут вносить информацию о наплавке, шлифовке, наличии дефектов и так далее. Третий уровень доступа получают инженеры производственно-технических отделов, вносящие данные о пропущенном тоннаже, и другие. Внесение информации будет занимать минимальное время. Выбрав конкретный тип работ, можно сразу заполнить шаблонную таблицу.

Таким образом приложение является только малой частью из всего спектра возможностей, которое предоставляет данный метод маркировки рельсов. Впоследствии собранные данные позво-

лят, при необходимости, визуализировать на геоинформационных системах их состояние и оповещать, например, о невыполнении плановых работ.

Из сказанного выше можно сделать следующие выводы.

1 Предлагаемая система позволит отказаться от нанесения всех существующих видов маркировки рельсов, что дает возможность снизить затраты на приобретение краски и освободит работников, занятых на обновлении и нанесении маркировки. Также появляется возможность отказаться от нанесения выпуклой и вдавленной маркировки на рельсах, что снизит стоимость их производства.

2 Использование мобильного приложения и QR-кода позволит автоматизировать и упростить процесс внесения изменений в учетные формы путевого хозяйства, а также повысит качество ведения технической документации.

3 Использование данной системы позволит хранить историю эксплуатации рельса в течение его жизненного цикла и исключить возможность получения некорректной информации о рельсе, что в конечном итоге повысит безопасность движения поездов.

#### Список литературы

1 ГОСТ Р 51685–2013. Рельсы железнодорожные новые. Общие технические условия Национальный стандарт Российской Федерации. – Введ. 2014-07-01 / Федеральное агентство по техническому регулированию : офиц. изд. – М. : Стандартинформ, 2014. – 101 с.

УДК 625.031.3

### ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПУТИ НА НАПРАВЛЕНИИ ЗЕЛЬВА – ВОЛКОВЫСК

*Т. А. ДУБРОВСКАЯ, А. В. БАКУШ, Д. И. РОМАНОВСКИЙ*  
*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Главной задачей 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. Железнодорожный транспорт обладает способностью «впитывать» последние достижения научно-технического прогресса, будь то лазерная техника или спутниковая связь, компьютерные системы, принципиально новые материалы. 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 – всё это влияет на качество перевозок.

Рассматриваемый участок Волковиск – Зельва в пределах 112–119 км имеет проблемные места: кривые малого радиуса, составные кривые, недостаточные прямые вставки, постоянное использование руководящего уклона, на всём протяжении участка существует затяжной подъем для грузового направления. Ввиду этих особенностей участка значительно ухудшается взаимодействие подвижного состава и рельсовой колеи. Из-за наличия руководящего уклона (9 ‰) и затяжного подъема скорость грузового движения в правильном направлении снижается до 25–20 км/ч. Для решения этой проблемы предусматриваются следующие мероприятия: реконструкция продольного профиля, увеличение радиуса кривой, переустройство составной кривой в однорадиусную кривую, изменение прямой вставки между кривыми, направленными в разные стороны, замена переезда с резиновым покрытием и деревянными шпалами на переезд с бетонным основанием.

К числу недостатков трассы существующих железных дорог относятся:

- наличие крутых уклонов;
- излишнее удлинение линии;
- наличие кривых малого радиуса;
- недостаточность длин переходных кривых и прямых вставок между кривыми.

Крутые уклоны ограничивают возможность увеличения массы поездов при заданной мощности локомотива. При следовании поезда в обратном направлении на спуск в пределах участка с крутыми уклонами существенно ограничивается скорость движения, поскольку требуется обеспечить длину тормозного пути не более нормативной величины. Кроме того, осложняется эксплуатация подвижного состава и пути.

В современных условиях, когда размеры перевозок многократно превышают величины, заложенные в проекте дороги, экономически выгодно спрямлять участки избыточного развития, что улучшает экономические показатели реконструируемой линии, а также план линии.

Кривые малого радиуса ограничивают скорости движения, увеличивают износ и повреждаемость пути и подвижного состава. При наличии на реконструируемой дороге участка, на котором расположена последовательность кривых малого радиуса, потребуется переустройство трассы на значительном протяжении. При отдельно расположенной кривой малого радиуса переустройство линии ограничивается локальными работами по увеличению радиуса этой кривой.

Переходные кривые и прямые вставки недостаточной длины ограничивают скорости движения поездов. Переустройство таких участков имеет комплексный характер и включает увеличение радиусов круговых кривых, длин переходных кривых и прямых вставок до нормативных значений, соответствующих установленному уровню скоростей движения поездов.

Параметры элементов плана и профиля железнодорожной линии доводятся до величин, установленных Строительно-техническими нормами, чтобы улучшить условия эксплуатации дороги (повысить скорости движения и массу поездов, снизить эксплуатационные расходы), а также обеспечить безопасность, бесперебойность, плавность и комфортабельность движения.

УДК 625.111

## ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ ПО ПЕРЕУСТРОЙСТВУ ПЛАНА ЛИНИИ

*Т. А. ДУБРОВСКАЯ, И. Н. КРАВЧЕНЯ, Д. С. ГУРИН*  
*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Современное состояние теории железнодорожного транспорта характеризуется наличием развитой системы математических моделей и алгоритмов анализа различных особенностей железнодорожных магистралей. Это открывает возможности для построения подхода к задачам поиска и оптимизации проектных решений на математической основе, с сокращением до минимума дорогостоящих и длительных процедур физического моделирования. Одной из основных задач, которые ставятся перед железнодорожным транспортом на ближайшую перспективу, является увеличение скорости движения поездов и сокращение времени в пути на существующих железнодорожных линиях с применением средств вычислительной техники (автоматизированного проектирования).

Использование информационных технологий позволяет обеспечить весь процесс принятия решений на всех стадиях разработки проекта реконструкции железнодорожной линии под высокие скорости. Реализация такой поддержки происходит с помощью организации управления источниками информации, выбора наилучших характеристик информационной модели и эффективного аппарата управления процессом проектирования.

Потребность в моделировании самого процесса проектирования реконструкции дорог возникает с целью обеспечения специалиста в области системного анализа средствами описания разрабатываемой технологии проектирования.

Задача определения оптимальных скоростей движения поездов различной категории в кривых может быть сформулирована следующим образом.

Пусть имеется участок железной дороги, на котором располагается  $m$  независимых (однорядных и составных) кривых и обращаются поезда  $j$ -й ( $j = \overline{1, n}$ ) категории.

Для каждой категории поездов известны:

$Q_j$  – масса поездов  $j$ -й категории, т;

$N_j$  – количество поездов  $j$ -й категории;

$a_j$  – непогашенное ускорение, м/с<sup>2</sup>.

Требуется определить скорости движения  $v_j$ , км/ч, поездов  $j$ -й ( $j = \overline{1, n}$ ) категории по кривой определенного радиуса  $R$ , м при оптимальном возвышении наружного рельса  $h$ , мм, соблюдении условия равнонагруженности рельсовых нитей, при которых время хода поездов по кривой длиной  $l$ , м, будет минимальным:

$$T = f(v_1, v_2, \dots, v_n) = l \sum_{j=1}^n \frac{N_j}{v_j} \rightarrow \min \quad (1)$$



при ограничениях:

– соблюдение условия равнонагруженности рельсовых нитей:

$$v_{av}^2 = \sum_{j=1}^n c_j v_j^2 = 3,6^2 \frac{ghR}{S}, \quad (2)$$

где  $v_{av}^2$  – средняя квадратическая скорость (км/ч);  $g = 9,81$  м/с<sup>2</sup> – ускорение свободного падения;

$S$  – ширина колеи между продольными осями рельсов, м;  $c_j = \frac{N_j Q_j}{\sum_{j=1}^n N_j Q_j}$  – весовой коэффициент поезда  $j$ -й категории.

Для решения поставленной задачи (1)–(2) целесообразно применить метод неопределенных множителей Лагранжа. Составим функцию Лагранжа:

$$L(v_1, v_2, \dots, v_n, \lambda) = l \sum_{j=1}^n \frac{N_j}{v_j} + \lambda \left( 3,6^2 \frac{ghR}{S} - \sum_{j=1}^n c_j v_j^2 \right). \quad (3)$$

Оптимальное решение задачи (1) – (2):

$$v_j = \left( \frac{3,6^2 ghR}{S \sum_{j=1}^n c_j^{\frac{1}{3}} N_j^{\frac{2}{3}}} \right)^{\frac{1}{2}} \left( \frac{N_j}{c_j} \right)^{\frac{1}{3}}, \quad (j = \overline{1, n}); \quad T = l \sum_{j=1}^n N_j \left[ \left( \frac{3,6^2 ghR}{S \sum_{j=1}^n c_j^{\frac{1}{3}} N_j^{\frac{2}{3}}} \right)^{\frac{1}{2}} \left( \frac{N_j}{c_j} \right)^{\frac{1}{3}} \right]^{-1}. \quad (4)$$

Пример применения компьютерной оптимизации представлен для линии Гомель – Минск в пределах Гомельской дистанции пути. Все расчёты проведём с помощью математического модуля Mathcad. Результаты представлены на рисунке 1.

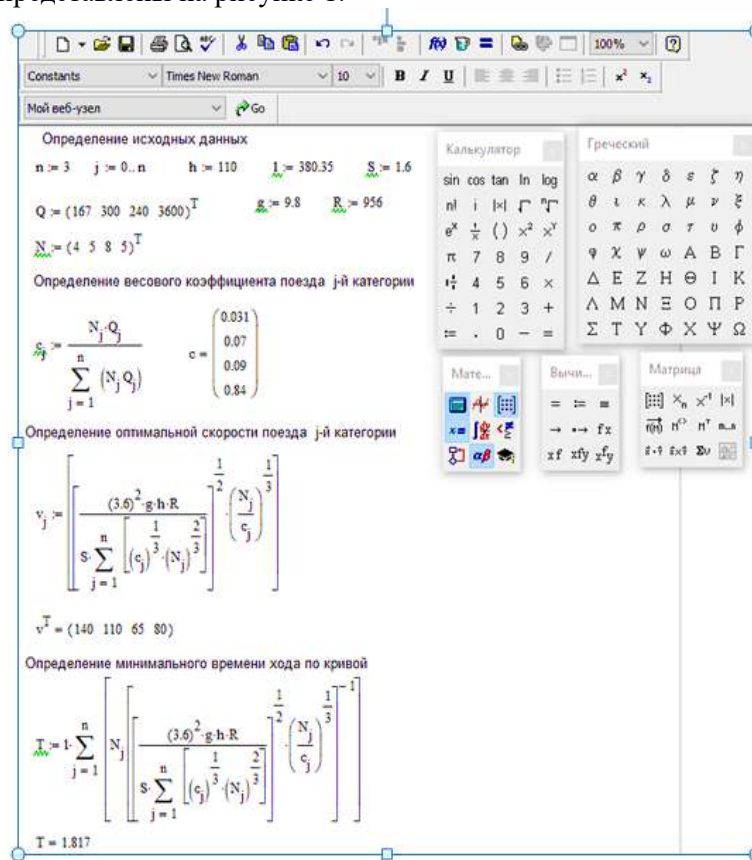


Рисунок 1 – Результаты расчётов с помощью математического модуля Mathcad

Применение методов компьютерной оптимизации при реконструкции скоростных и высокоскоростных железнодорожных линий позволит осуществлять поиск оптимальных решений в случае постановки задачи без значительных материальных затрат, которые в настоящее время являются одним из важнейших критериев каждого исследования.

УДК 625.11

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ИНЖЕНЕРНЫХ САПР ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

*Т. А. ДУБРОВСКАЯ, А. А. КУЗЬМИЧЁВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В настоящий момент на белорусском рынке программного обеспечения для разработки имеется обширное количество инженерных программных комплексов, позволяющих разрабатывать проектную рабочую документацию объектов капитального строительства. Среди основных геоинженерных САПР можно выделить следующие: AutoCAD Civil 3D (Autodesk, США); GeoniCS (CSoft, Россия); NanoCAD Геоника (Нанософт, Россия); ПК Геониум (ВИМ-проект, Россия); CREDO (Кредо-диалог, Россия); Топоматик Robur (Топоматик, Россия); ТороCAD (Adtollo AB, Швеция); Pythagoras (Pythagoras, Бельгия).

Данные программы имеют огромное количество функций, позволяющих вести разработку для специалистов различного профиля, среди которых геодезисты, инженеры-проектировщики, геологи, картографы, экологи, гидрологи и ландшафтные архитекторы.

Актуальность выражена в выделении одной из многих САПР, подходящей для комфортного проектирования и удовлетворяющей ценовой политике предприятия, а также возможности в массовом использовании либо при обучении персонала пользованию данным ПК.

Каждый программный комплекс является в своем роде уникальным, хоть и многие из них обладают схожим интерфейсом либо функционалом. Каждый производитель рекомендует именно свой продукт как самый уникальный и эффективный в данной сфере деятельности. Из предложенного списка выделим программы, которые имеют узконаправленный функционал, а именно проектирование плана железнодорожного пути.

AutoCAD Civil 3D является одной из самых распространенных систем автоматического проектирования в Беларуси. Американская компания-разработчик Autodesk давно завоевала сердца пользователей своими программными продуктами благодаря их интуитивно понятному интерфейсу и мощнейшему функционалу, позволяющему выполнить разработку проектов любой сложности.

Программный комплекс GeoniCS от компании CSoft также пользуется спросом на рынке геоинженерных САПР благодаря интуитивному интерфейсу и обширным возможностям программы. Программный продукт GeoniCS Топоплан-Генплан-Сети-Трассы-Сечения-Геомодель 2015 состоит из шести модулей: топоплан, генплан, сети, трассы, сечения, геомодель. Изучение данных программных комплексов можно свести в таблицу 1.

Таблица 1 – Сравнительная характеристика САПР «GeoniCS» и «AutoCAD»

Функционал	GeoniCS	AutoCAD
<b>Построение прямых участков пути</b>		
По двум точкам	+	+
От конца объекта	+	+ – Нет возможности создать прямую от конца криволинейной
По оптимальному расположению	+	–
По двум объектам	+	–
Под углом к объекту	+	+
Касательная к объекту	+	+
Перпендикуляр к объекту	+	+

Окончание таблицы 1

Функционал	GeoniCS	AutoCAD
<b>Построение кривых участков пути</b>		
Длина кривой	+	+
Тангенс	+	+
Хорда	+	+
Угол	+	+
Домер	+	–
Точка	+	–
Между кривой и прямой	+	–
Между двумя кривыми	+	+
От конца объекта	+	+– Нет возможности создать кривую от конца клотоиды
Оптимальное расположение	+	–
Касательная к объекту	+	+
<i>Построение клотоид и переходных кривых</i>		
Сопряжение:		
Прямая – Прямая	+	+
Прямая – Кривая	+	–
Кривая – Кривая	+	+
От конца объекта	+	+

Оба программных комплекса имеют большой модуль «Трассы». Функционал практически одинаковый. В обоих можно построить трассу линии, добавлять вершины, сопрягать их кривыми. Однако в GeoniCS имеется очень важная функция – динамическое изменение геометрии плана пути. Можно тянуть за вершину кривой, и вместе с ней изменяются длины прямых участков пути до начала кривой и после. Вся трасса работает как одно целое – изменив один элемент плана, автоматически изменяются и все остальные элементы, которые от него зависели. Благодаря этому ускоряется процесс проектирования.

Подводя итоги, можно сказать, что оба программных комплекса имеют обширный функционал, с помощью которого есть возможность проектировать план линии железной дороги. С точки зрения раздела «Пути железнодорожные», разрабатывать проект плана пути в GeoniCS получается намного быстрее и качественнее благодаря многочисленным функциям, которых нет в Civil 3D.

УДК 625.115

## ОСОБЕННОСТИ ПОВЫШЕНИЯ СКОРОСТЕЙ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ НА БЕЛОРУССКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГЕ

*Т. А. ДУБРОВСКАЯ, А. И. СТРИЖАК, А. Д. ПИЛИПЁНОК*  
*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

*Е. В. НИКИТИН*  
*Белорусская железная дорога, г. Гомель*

Проблема повышения скоростей движения поездов на железной дороге является важной задачей, стоящей перед Белорусской железной дорогой. Реконструктивные мероприятия для повышения скоростей движения на железной дороге должны проектироваться так, чтобы были гарантированы безопасность и бесперебойность движения поездов, сократилось время пассажиров в пути при обеспечении потребных размеров перевозок и наименьших строительно-эксплуатационных затратах.

При скоростном движении для обеспечения комфортабельности езды пассажиров предъявляются более жесткие требования к плану линии: кривых малых радиусов, длины прямых вставок и пе-

реходных кривых увеличиваются для стабилизации подвижного состава на концах круговых кривых, пересечения с автодорогами осуществляются в разных уровнях, заменяются стрелочные переводы, переустраиваются пассажирские платформы. Кроме того, модернизируются устройства системы центральной блокировки и связи, усиливаются контактная сеть и тяговые подстанции, принимаются меры по защите окружающей среды. Рассмотрим основные этапы повышения скорости движения.

Введение более мощных локомотивов значительно повышает пропускную способность. Однако переход к новым средствам тяги требует больших капиталовложений как на приобретение самих локомотивов, так и на переустройство деповского хозяйства, экипировочных устройств, удлинение станционных путей, усиление пути и искусственных сооружений и т. д. Таким образом, внедрение более мощных локомотивов должно быть обосновано технико-экономическими расчётами путем сопоставления требуемых затрат с ожидаемым эффектом.

При проходе подвижного состава по кривым возникают центробежные силы, стремящиеся опрокинуть экипаж наружу кривой. Это может произойти лишь в исключительных случаях. Однако центробежная сила неблагоприятно действует на пассажиров, вызывает боковое воздействие на путь, перераспределение вертикальных давлений на рельсы обеих нитей и перегруз наружной нити, что приводит к усиленному боковому износу рельсов и гребней колес. Кроме того, возможны раскантировка рельсов, уширение колеи или поперечный сдвиг рельсошпальной решетки, т.е. расстройство положения пути в плане. Во избежание указанных явлений устраивают возвышение наружной рельсовой нити над внутренней, при этом нормативное значение непогашенного ускорения ограничено в пределах до  $0,7 \text{ м/с}^2$ .

Повысив величину допустимого непогашенного ускорения до  $0,9 \text{ м/с}^2$ , можно добиться увеличения скорости в среднем на 15 %. Применение подвижного состава с наклоном кузова типа Talgo (Стриж) позволяет увеличить скорость прохождения криволинейных участков на 8–12 % при составных кривых и малых радиусах и около 20 % – при одиночных кривых.

Прямые и криволинейные участки во избежание внезапного возникновения центробежной силы плавно сопрягают с помощью переходных кривых. Основное назначение переходных кривых заключается в обеспечении плавного изменения центробежных сил при входе и выходе экипажа из круговой кривой (КК). На их протяжении осуществляются плавные отводы, вызванные наружной рельсовой нитью и уширением колеи в круговой кривой.

Радиусы кривых необходимо увеличивать для обеспечения более высоких скоростей движения поездов.

Рассмотрим более подробно особенности, которые сдерживают повышение скорости движения поездов на направлении Гомель – Минск. Железнодорожное направление Гомель – Минск двухпутное, электрифицированное, длина рассматриваемого участка составляет 300 км, а также характеризуется достаточной грузонапряженностью. Существуют проблемные участки: кривые малого радиуса, составные кривые, разность уклонов в профиле, превышающая 4 ‰, просроченный восстановительный ремонт. Решение этой проблемы предусматривает реконструкция. К реконструкции железнодорожного пути относятся работы, приводящие к изменению категории пути, а также к увеличению грузоподъемности искусственных сооружений, возможности пути и искусственных сооружений нести повышенные осевые и погонные нагрузки, изменению пространственных характеристик (плана и профиля пути, геометрии балластной призмы, земляного полотна, негабаритных мест), изменению конструкции пути с устройством новых водоотводных, защитных и укрепительных сооружений. Для решения поставленной задачи необходимо провести комплексное исследование участка и назначить мероприятия по улучшению «проблемных» мест.

Участок Гомель – Минск является частью IX транспортного коридора, по которому осуществляются важнейшие транспортные связи. На сегодняшний день скорость движения по участку для грузовых поездов – 80 км/ч, для пассажирских поездов – 140 км/ч. Запланировано повышение установленных скоростей движения грузовых поездов до 100 км/ч и установление скоростей движения пассажирских поездов на уровне 141–160 км/ч.

Существующее состояние плана линии направления Гомель – Минск характеризуется достаточно большой протяженностью прямых участков пути, составляющих 79,39 % от всей длины линии. В результате этого можно предположить, что ограничений скорости, обусловленных состоянием плана линии, будет не много. Об этом же свидетельствует и общая длина кривых с  $R < 1200 \text{ м}$ , которая составляет 21,133 км, или 7,05 %.

Анализ ограничений скорости показал, что наиболее распространенными являются ограничения скорости по станциям, где марка стрелочного перевода не соответствует уровню скорости при расположении стрелочного перевода в кривой, а также ограничения, связанные с недостаточным повышением наружного рельса в кривых.

#### Список литературы

- 1 **Ерофеев, А. А.** Проблемы повышения скорости движения поездов на существующих железнодорожных линиях / А. А. Ерофеев, П. В. Ковтун, Т. А. Дубровская // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2018. – № 2. – С. 57–59.
- 2 **Ковтун, П. В.** Анализ основных технических решений, направленных на повышение скоростей движения поездов в Республике Беларусь / П. В. Ковтун, Т. А. Дубровская, А. И. Стрижак // Вестник СГУПС. – 2022. – № 2 (61). – С. 16–23. – DOI: 10.52170/1815-9265\_2022\_61\_16.

УДК 004.891.3+656

## **ИНФОРМАЦИОННЫЕ ПЛАТФОРМЫ КОМПЛЕКСНОЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ АНАЛИТИКИ ДАННЫХ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ПЕРЕВОЗОЧНОГО ПРОЦЕССА И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫХ АВАРИЙ И КАТАСТРОФ**

*Д. В. ЕФАНОВ*

*Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва*

Системы управления, в том числе на транспорте, развиваются стремительно [1]. На смену разработанным еще в прошлом столетии системам с «ограниченной» логикой [2] приходят высокоинтеллектуальные системы, позволяющие не только реализовывать надежно и безопасно заложенные в них алгоритмы по управлению перевозочным процессом, но и снабжать участников движения широким спектром информационных услуг [3]. Такие системы включают в себя множество взаимосвязанных подсистем и на самом верхнем уровне предоставляют пользователям различных категорий соответствующие инфокоммуникационные сервисы [4]. При этом как пользователи, так и сами сервисы ранжируются таким образом, чтобы получаемая информация могла быть использована наиболее эффективно. Заказчики перевозки должны получать максимально удобные и комфортные услуги, а эксплуатационный персонал – оперативную информацию о техническом состоянии транспортного комплекса, включая все инженерные системы и сооружения, для своевременного восстановления их рабочих характеристик в случае каких-либо критических отклонений параметров от допустимых пределов. Реализация таких систем управления невозможна без применения информационных платформ комплексной интеллектуальной аналитики данных. При этом их использование вполне позволяет управлять рисками нарушения надежности и безопасности перевозочного процесса в транспортной системе целых регионов и стран, ведь незначительное влияние на компоненты системы может оказать существенное изменение в каком-либо из ее отдаленных узлов (так называемый «эффект бабочки»). Наличие полной информации о взаимодействующих объектах в инфраструктурном комплексе и о самих транспортных средствах позволяет достигать возможности контроля остаточного ресурса технических объектов и сооружений, а также управления этим пресловутым «эффектом бабочки», снимая тем самым неопределенность.

В качестве систем, являющихся основными звеньями в получении оперативной информации, выступают системы автоматизированного и автоматического сбора диагностических данных о взаимосвязанных объектах. Ведь для формирования полной картины о состоянии некоторого технического объекта или инженерного сооружения недостаточно проведения периодических измерений и контроля с привлечением специализированных лабораторий и эксплуатационного персонала. Это понятно, так как в этом случае получается только частная составляющая как одна из деталей огромного пазла, которым и является любой объект, созданный человеком. Ведь этот объект существует не сам по себе, а помещен в определенную среду и взаимодействует с вполне определенными другими объектами, включая человека. Знание о состоянии и его возможных изменениях для некоторого объекта без привязки к знаниям о состояниях иных взаимодействующих объектов находится в некотором информационном вакууме – ряд возможных событий не может быть установлен

или спрогнозирован. Такие системы повсеместно используются на транспорте, к примеру, системы мониторинга инженерных конструкций и сооружений, представляющие собой, фактически, гигантские средства накопления данных, которые затем анализируются вручную [5–7]. Следующий же шаг в развитии подобных систем – качественный скачок к интеллектуальному комплексу аналитики получаемых данных, качественной классификации событий и созданию не только информационных систем, но и систем, в которых в цепях обратной связи используются данные объективного контроля [8].

Научно-технический прогресс в сфере электроники, информационных и компьютерных технологий к настоящему времени позволяет перейти от ручных измерительных процедур к автоматизированным и автоматическим с последующей интерпретацией данных в комплексе и с созданием киберфизических интеллектуальных систем. Объекты, созданные человеком, и объекты природной среды снабжаются набором датчиков для получения первичной информации о них, конечно же, с предварительным анализом экспертами множества необходимых параметров для получения полной и ясной картины об объекте. Далее информация с этих датчиков «цифровизируется» и представляется уже в виде данных в компьютерной системе, фактически, облачаясь в многообразие нулей и единиц, используемой бинарной логики в применяемой в современных вычислительных системах архитектуре фон Неймана (Принстонской архитектуре). Информация от разных объектов и разных датчиков кодируется, синхронизируется и представляется в программных средствах в виде целых массивов данных, подготовленных к дальнейшей обработке. Именно здесь начинается использование получаемых «сырых» диагностических данных об объектах мониторинга в целях формирования «цифровых двойников» отдельных «объектов-деталей» огромного пазла и самой картины об объекте, погруженном в конкретную среду функционирования.

Следующий шаг развития технологий мониторинга – это использование платформ комплексной интеллектуальной аналитики больших объемов разнородных данных, которые будут получать информацию от разнообразных подсистем сбора данных от объектов различной физической и химической природы. «Зародыши» таких платформ уже появляются в отдельных предприятиях, например, железнодорожного транспорта [9]. Важно далее грамотно настроить потоки информации от взаимодействующих объектов транспортных систем, сформировать принципы достоверной, надежной и безопасной обработки данных с представлением пользователям полных данных о конкретных объектах, процессах, событиях, в том числе, с указанием прогнозных показателей.

Сегодня «цифровые двойники» весьма статичны и не обладают всей «мощью» своих «физических братьев», однако могут в дальнейшем развиваться и наращивать свой информационный потенциал, подобно тому, как с течением времени учится и совершенствуется человек. Для этого необходима концентрация знаний и умений взаимодействия с конкретными объектами природного хозяйства, техническими средствами и сооружениями. Перевод этих знаний в цифровой вид и формирование так называемых диагностических моделей с разнообразными (в том числе, пополняемыми) инцидентами (событиями), фиксация и прогнозирование которых целесообразны и важны для решения глобальных задач управления ресурсами объектов транспорта и, в конечном итоге, цифровой экономикой регионов и целых стран с предупреждением развития природно-техногенных опасностей, аварий и катастроф.

#### Список литературы

- 1 Белов, М. В. Управление жизненными циклами организационно-технических систем / М. В. Белов, Д. А. Новиков. – М. : ЛЕНАНД, 2020. – 384 с.
- 2 Сапожников, Вл. В. Синтез систем управления движением поездов на железнодорожных станциях с исключением опасных отказов / Вл. В. Сапожников. – М. : Наука, 2021. – 229 с.
- 3 ИТС на автомобильном транспорте. Технологии, методы и практика применения / Б. Д. Кьяра [и др.]. – М. : Типография Парадиз, 2014. – 532 с.
- 4 Евстигнеев, И. А. Инфокоммуникационные сервисы на автомобильных дорогах / И. А. Евстигнеев, В. В. Шмытинский // Транспорт Российской Федерации. – 2021. – № 5–6. – С. 38–42.
- 5 Development of Automation Systems at Transport Objects of Megacity / A. Belyi [et al.] // Proceedings of 17th IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2019), Batumi, Georgia, September 13–16. – 2019. – P. 201–206, – DOI: 10.1109/EWDTS.2019.8884382.
- 6 Система структурированного мониторинга на автодорожном мосту через реку Обь вблизи Сургута / И. А. Аганов [и др.] // Мир дорог. – 2021. – № 139. – С. 108–110.

7 Review of Bridge Structural Health Monitoring Aided by Big Data and Artificial Intelligence: From Condition Assessment to Damage Detection / D. L. Sun [et al.] // Journal of Structural Engineering. – 2020. – 146 (5): 04020073. – DOI: 10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0002535.

8 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.

9 Ефанов, Д. В. Функциональный контроль и мониторинг устройств железнодорожной автоматики и телемеханики / Д. В. Ефанов. – СПб. : ПГУПС, 2016. – 171 с.

УДК 625.7/.8

## ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ С НЕЖЕСТКИМИ ДОРОЖНЫМИ ОДЕЖДАМИ

*Е. М. ЖУКОВСКИЙ*

*Белорусский национальный технический университет, г. Минск*

В процессе эксплуатации нежестких дорожных одежд процесс их разрушения происходит неравномерно по ширине проезжей части. Наибольшему и интенсивному разрушению подвержены первые полосы движения многополосных дорог и правые полосы наката двухполосных.

Неравномерное разрушение конструкций дорожных одежд вызывается совместным воздействием транспортной нагрузки и особенностями влияния водно-теплового режима на работоспособность земляного полотна, при этом баланс влияния указанных факторов изменяется на различных стадиях жизненного цикла[1–5].

На начальной стадии эксплуатации автомобильной дороги формирование коррозионных и усталостных дефектов преимущественно определяется уровнем транспортной нагрузки.

При больших сроках эксплуатации объекта определяющим фактором в накоплении дефектности является водно-тепловой режим (рисунок 1).

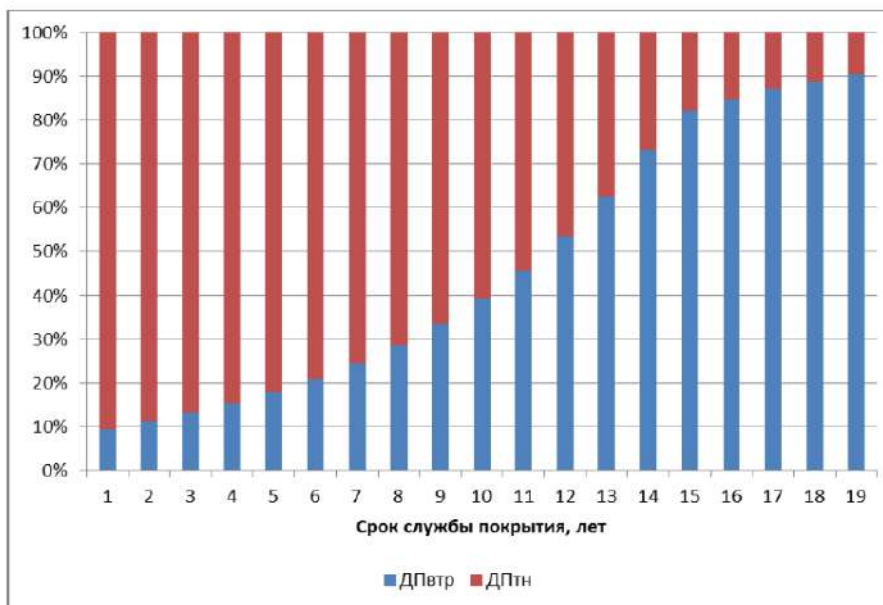


Рисунок 1 – Соотношение дефектностей покрытия от воздействия водно-теплового режима дорожной конструкции ДП ВТР и от воздействия транспортной нагрузки ДП ТН

Транспортная нагрузка распределяется неравномерно в пределах проезжей части многополосных автомобильных дорог. На первые полосы приходится основное число расчетных автомобилей, так как они преимущественно заняты большегрузными транспортными средствами.

Разрушение дорожных конструкций под воздействием погодно-климатических факторов происходит вследствие нестабильности водно-теплового режима земляного полотна.

Источниками увлажнения земляного полотна являются: поверхностные воды, поступающие в виде осадков через трещины в покрытии; поверхностные воды, поступающие в виде осадков через обочины; поверхностные воды, поступающие к дороге с прилегающей местности через откосы и кюветы; грунтовые воды, поступающие вследствие капиллярного поднятия воды с уровня грунтовых вод.

Наибольшему увлажнению подвержены конструктивные слои дорожной одежды и грунты земляного полотна, находящиеся под правой полосой наката.

Увлажнение за счет поверхностных вод, поступающих через обочины, зависит от принятых конструктивных решений и фактического значения параметра гидроизоляции  $Y$ , который представляет собой суммарную ширину элементов дорожной конструкции, выполняющих роль гидроизоляции слоев дорожной одежды и земляного полотна (укрепленные полосы обочин, остановочные полосы, полосы движения, гидроизоляционные прослойки на обочинах), которая исчисляется от правого края рассматриваемой полосы движения в направлении бровки обочины.

Увлажнение, за счёт поверхностных вод, поступающих через трещины в покрытии, увеличивается со сроком службы дороги.

При устройстве земляного полотна и дорожных конструкций по требованиям СН 3.03.04, ТКП 200, ТКП 45-3.03-112 увлажнение конструктивных слоев и грунтов земляного полотна поверхностными водами, поступающими с прилегающей местности, и грунтовыми водами, поступающими вследствие капиллярного поднятия воды, сводится к минимальному.

Для снижения неравномерного воздействия транспортной нагрузки и водно-тепловых факторов применяются различных конструктивных решений.

Снижение влияния неравномерного разрушающего воздействия транспортной нагрузки достигается применением следующих мероприятий [6]:

- применение асфальтобетонных смесей различной плотности в пределах первых полос;
- устройство армирующих прослоек из геосинтетических материалов в пределах правых полос;
- устройство слоев основания переменной толщины.

Снижение воздействия погодно-климатических факторов осуществляется путем достижения требуемого параметра гидроизоляции  $Y$ .

Данные конструкции получили название «разнопрочные». Выбор разнопрочной конструкции будет рациональным, если выполняется одно из условий:

- 1) при одинаковом сроке службы конструкции до капитального ремонта  $T_{сл}$  будет обеспечена меньшая стоимость дорожной одежды;
- 2) при одинаковой стоимости конструкции будет обеспечено увеличение расчетного срока службы на 2 года и более.

#### Список литературы

- 1 Жуковский, Е. М. Оценка эксплуатационного состояния дорожных покрытий по ширине проезжей части / Е. М. Жуковский, А. В. Корончик // Дорожное строительство и его инженерное обеспечение : материалы Междунар. науч.-техн. конф. / редкол.: С. Е. Кравченко (гл. ред.) [и др.] ; сост. В. А. Ходяков. – Минск : БНТУ, 2021. – С. 65–71.
- 2 Жуковский, Е. М. Анализ воздействия транспортной нагрузки на неравномерное разрушение по ширине жестких дорожных одежд / Е. М. Жуковский // Дорожное строительство и его инженерное обеспечение : материалы Междунар. науч.-техн. конф. / редкол. : С. Е. Кравченко (гл. ред.) [и др.] ; сост. В. А. Ходяков. – Минск : БНТУ, 2021. – С. 48–53.
- 3 Факторы, определяющие характер напряженно-деформированного состояния дорожной конструкции на различных полосах движения транспорта / Е. М. Жуковский [и др.] // Автомобильные дороги и мосты. – 2021. – № 2. – С. 14–23.
- 4 Тришин, Г. Г. Прочность многополосных дорог / Г. Г. Тришин, Р. З. Порицкий, В. П. Корюков // Автомобильные дороги. – 1978. – № 9. – С. 22–23.
- 5 Влияние укрепленных элементов обочин на изменение дефектности по ширине дорожных покрытий / Е. М. Жуковский [и др.] // Автомобильные дороги и мосты. – 2022. – № 1. – С. 19–27.
- 6 Жуковский, Е. М. Особенности воздействия транспорта на конструкции жестких дорожных одежд и их учет при проектировании конструкций / Е. М. Жуковский, А. В. Корончик, С. Е. Кравченко // Каспий и глобальные вызовы : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Астрахань, 23–24 мая 2022 года / сост. : О. В. Новиченко [и др.]. – Астрахань : Астраханский государственный университет, 2022. – С. 888–893.



## СОВРЕМЕННАЯ ДИАГНОСТИКА РЕЛЬСОВОГО ХОЗЯЙСТВА И РЕМОНТНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ УСТРАНЕНИЯ ДЕФЕКТОВ

С. С. ЗЕЛЕНЬ, А. Б. КАПИТОНЕЦ  
Белорусская железная дорога, г. Минск

В. В. РОМАНЕНКО  
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Рельсы являются самым дорогостоящим элементом верхнего строения пути (ВСП), который непосредственно обеспечивает надежность работы системы «колесо – рельс», а также определены одним из основных критериев для назначения восстановительного ремонта пути. Восстановительный ремонт это вид работ, предусматривающий замену рельсошпальной решетки, и, согласно действующей на Белорусской железной дороге (БЖД) системе ведения путевого хозяйства [1], выполняется двух видов: на новых и на старогодных материалах. Ввиду высокой стоимости восстановительного ремонта в ряде случаев нет возможности его своевременного проведения, так, по состоянию на начало 2021 и 2022 годов протяженность путей, где ремонт был просрочен, составила 694 и 545 км соответственно, или 9,6 и 7,5 % от протяженности всех главных путей.

Своевременное невыполнение восстановительного ремонта создает угрозу безопасному пропуску движения поездов, а ликвидация существующей просроченности ремонтов превышает финансовые и технические возможности БЖД, поэтому службой пути постоянно разрабатываются и внедряются различные ресурсосберегающие программы, связанные с диагностикой и ремонтом элементов ВСП. Подобные технологии позволяют продлить сроки службы элементов ВСП как наиболее значимой части эксплуатационных расходов ремонтной программы БЖД.

Диагностика и мониторинг рельсов и металлических частей стрелочных переводов предполагает систему различных видов контроля с целью обнаружения дефектов:

- визуальный;
- инструментальный;
- с применением мобильных средств неразрушающего контроля рельсов (НКР) с электромагнитными и ультразвуковыми методами обнаружения дефектов.

К мобильным средствам контроля относятся вагоны-дефектоскопы (магнитные, ультразвуковые, совмещенные, вагоны-дефектоскопы, предназначенные для скоростного контроля рельсов), а также одностичные, двухстичные, переносные ультразвуковые дефектоскопы.

Каждый месяц при проверках рельсового хозяйства вагонами-дефектоскопами обнаруживаются дефектные рельсы (рисунок 1), значительное количество со временем может перейти в разряд остродефектных, которые будут подлежать немедленному изъятию из пути и замене на бездефектный. Такое положение еще больше усиливает нагрузку на финансовые расходы путевого хозяйства.

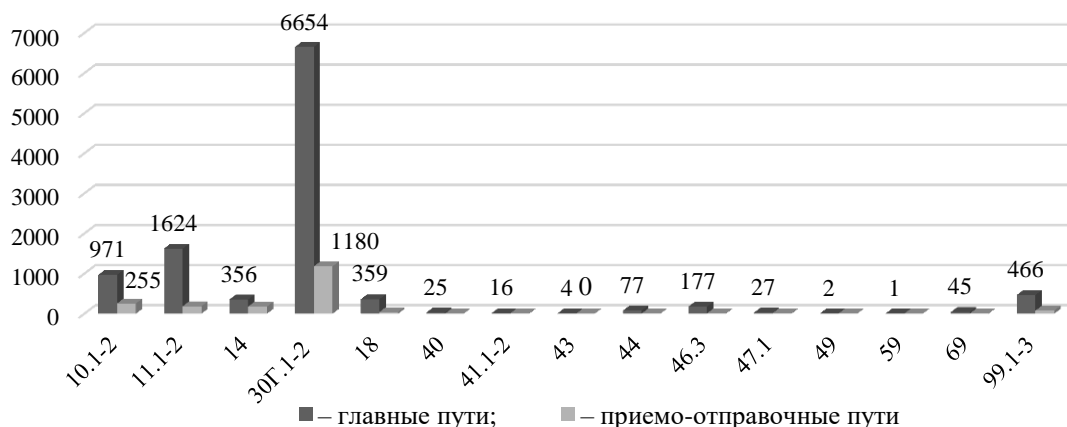


Рисунок 1 – Количество дефектных рельсов с распределением по кодам

Как видно из диаграммы (см. рисунок 1), самые распространенные виды дефектов рельсов – по кодам 10.2, 11.2, 14, 30Г.1–2 и 99.1–3. Недопущение дальнейшего развития дефектов возможно посредством выполнения их ремонта. В настоящее время ремонтными технологиями, которые позволяют продлить срок службы рельсов, являются наплавка рельсов сварным комплексом Translamic и алюминотермитная наплавка по технологии TNR фирмы Elektro-Termit.

Рельсы, имеющие дефекты кодов 14, 17.1-2, 18, 41.1-2, а также имеющие повреждения в виде выкрашиваний, отслоений, смятия и вертикального износа, расположенные на поверхности катания головки, ремонтируются автоматической электродуговой наплавкой сварным комплексом Translamic. Допускается проводить восстановление рельсов, имеющих в исходном состоянии дефекты длиной не более 70 мм, глубиной не более 6,0 и 8,0 мм соответственно вне стыка и в стыке. Ремонт рельсов производится в пути без перерыва движения поездов, но с ограничением скорости движения в период производства работ не более 40 км/ч или в технологические «окна», что существенно не влияет на пропускную способность.

Алюминотермитной наплавкой ремонтируют дефекты головки рельсов кодов 10.2, 11.2, 14, 17.2, 30Г.2, глубина и протяженность вдоль рельса которых не превышает 25 и 90 мм соответственно, а также с боковым износом не более 15 мм и не расположенных в зоне сварного или болтового стыка. Основные работы выполняются на закрытом для движения поездов перегоне в «окно», продолжительность которого для выполнения всех технологических операций составляет 105 минут.

Сравнения коды дефектов, подлежащих ремонту, с представленными на рисунке 1 данными, можно сделать вывод, что наиболее распространенные коды дефектов возможно устранить заблаговременно, не допуская перехода их к острым (таблица 1).

Таблица 1 – Количество ремонтируемых дефектов

Вид ремонта	Распределение по кодам					
	10.2	11.2	14	18	30Г	41.1-2
Наплавка сварным комплексом Translamic	–	–	356	359	–	16
Алюминотермитная наплавка	971	1624		–	6654	–

Ликвидация дефекта позволит избежать его дальнейшего развитие, а следовательно, замены всего рельса, что позволит существенно снизить потребность в рельсах для оборота материалов ВСП в дистанции пути.

За 2020 и 2021 годы было восстановлено либо устранено наплавочными комплексами, соответственно 2634 и 2350 концов рельсов, 562 и 644 крестовины, 856 и 985 дефектных рельсов.

За 2021 год устранено алюминотермитной наплавкой 212 дефектов (до 2021 года технология не применялась).

Учитывая значительное количество дефектных рельсов, а также значимость применения ремонтных мероприятий службой пути планируется в течение 2022 года восстановить либо устранить дефектов:

- наплавочными комплексами – 2300 концов рельсов, 1400 дефектных рельсов, 450 крестовин;
- алюминотермитной наплавкой – 1900 дефектов в рельсовых плетях.

Устранение дефектов в плетях бесстыкового пути снизит количество мест временного восстановления, что, в свою очередь, исключит необходимость дополнительных работ по вырезке кусков дефектных рельсов и последующей сварке рельса без дефекта с плетью машиной типа ПРСМ.

На основании вышеизложенного можно сделать выводы об эффективности применении методов ремонта рельсов. Отремонтированные алюминотермитной наплавкой дефекты не были выявлены вагоном-дефектоскопом, из чего можно заключить, что при выполнении работ обеспечивается высокий уровень надежности эксплуатации рельсов. Алюминотермитную и автоматическую электродуговую наплавки можно рассматривать как ресурсосберегающие технологии, которые позволяют снизить расходы на содержание верхнего строения пути.

#### Список литературы

1 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 № 370 НЗ. – Введ. 20.06.22. – Минск : Белорусская железная дорога, 2022. – 30 с.

2 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. 28.12.21. – Минск : Белорусская железная дорога, 2021. – 16 с.

## ПРИМЕНЕНИЕ СТУПЕНЧАТОГО КОНТРОЛЯ РЕЛЬСОВ СРЕДСТВАМИ НКР ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ДЕФЕКТОВ

С. С. ЗЕЛЕНЬ, М. А. КРАСНОВ  
Белорусская железная дорога, г. Минск

В. В. РОМАНЕНКО  
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Обеспечение и выполнение диагностических работ по неразрушающему контролю рельсов (НКР), сварных стыков плети и элементов стрелочных переводов на Белорусской железной дороге возлагается на участки дефектоскопии и вагоны-дефектоскопы. Для НКР применяют мобильные, ручные и съемные средства диагностики.

Контроль железнодорожных рельсов мобильными средствами дефектоскопии осуществляет Центр диагностики объектов инфраструктуры, в составе которого имеются 3 ультразвуковых, магнитных вагона-дефектоскопа [1]. Цеха дефектоскопии дистанций пути (ПЧ) оснащены ультразвуковыми дефектоскопами: УДС2-РДМ-22 – 164 шт., УДС2-РДМ-33 – 64 шт., УДС2М-35 – 10 шт., УДС1-РДМ-1М1 – 16 шт., УДС2-РДМ-23 – 15 шт. Также в ПЧ с декабря 2021 года эксплуатируются ультразвуковые дефектоскопы АВИКОН-31 по одному в каждой дистанции.

Диагностика рельсового хозяйства предполагает контроль всеми средствами с определенной периодичностью, приведенной в таблице 1.

Таблица 1 – Периодичность контроля рельсов главных путей

Расчетный выход ОДР шт./км	Пропущенный тоннаж, млн т брутто	Периодичность проверки, раз в год, при грузонапряженности, млн т·км брутто/км в год							
		0,1 и менее		более 0,1 до 2,0 вкл.		более 2 до 5 вкл.		более 5	
		УЗД	СВД	УЗД	СВД	УЗД	СВД	УЗД	СВД
0,3 и менее	250 и менее	4	1	6	4	12	6	12	12
	Более 251 до 700 вкл.	4	1	6	4	12	6	24	12
	Более 700	4	1	6	4	12	6	24	12
Более 0,3 до 2,0 вкл.	250 и менее	4	1	6	4	12	6	12	12
	Более 251 до 700 вкл.	4	1	12	4	12	6	24	12
	Более 700	4	1	12	4	12	6	36	12
Более 2,0	250 и менее	4	1	12	4	12	6	24	12
	Более 251 до 700 вкл.	4	1	12	4	12	6	36	12
	Более 700	4	1	12	4	12	6	48	12

ОДР – остродефектный рельс;  
УЗД – ультразвуковой дефектоскоп;  
СВД – совмещенный вагон-дефектоскоп.

В ряде случаев при проверке рельсов СВД требуется проведение вторичного контроля дорожной лабораторией дефектоскопии, для чего проводится выборочный сравнительный анализ фрагментов дефектограмм остродефектных рельсов, обнаруженных в пути. Анализ проводится путем сравнения зарегистрированных сигналов на фрагментах дефектограмм СВД и УЗД сплошного контроля дистанции пути. Так, количество мест, выданных дистанциям пути, а также подтвержденных дефектных и остродефектных рельсов вторичным контролем за 2022 год составляет соответственно 164 и 15977 шт.

На дефектограмме контроля СВД на 659 км ПК 1 (рисунок 1) присутствуют сигналы во всех каналах, контролирующих головку рельса, что указывает на наличие повреждения поверхности катания и возможное наличие дефекта в виде поперечной трещины.

На дефектограмме контроля дефектоскопа УДС2-РДМ-22 (УЗД) присутствуют два локальных участка с повреждением поверхности катания, протяженность которых по результатам измерения разрыва линии донного сигнала составляет 103 и 58 мм соответственно. Глубина повреждений находится в диапазоне от 5 до 8 мм.

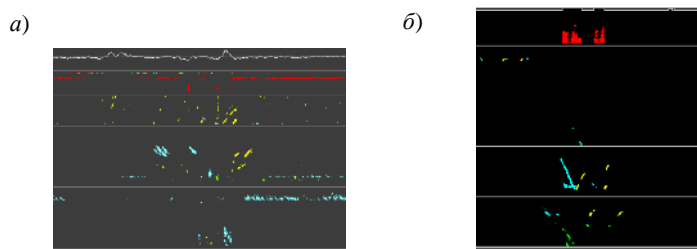


Рисунок 1 – Фрагменты дефектограмм: *a* – СВД № 005; *б* – УДС2-РДМ-22

Наличие сигналов в каналах наклонных преобразователей, контролирующих головку рельса, указывает на возможное наличие дефекта в виде поперечной трещины, располагающегося под повреждением поверхности катания. Таким образом, наличие дефекта подтверждено, результат вторичного контроля – дефект сварного стыка 26.3.

По рассматриваемой координате на дефектограмме СВД на 157 км ПК 2 (рисунок 2) сигналов от дефекта не зарегистрировано. Отсутствует донный сигнал в канале прямого преобразователя.

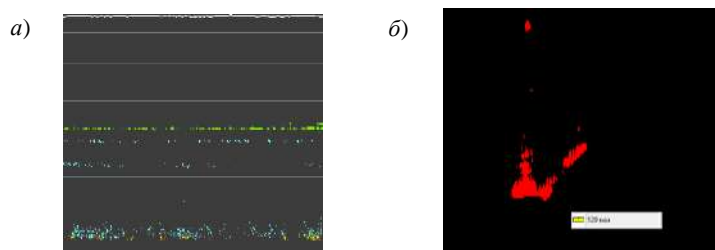


Рисунок 2 – Фрагменты дефектограмм СВД № 005 (*a*) и УДС2-РДМ-22 (*б*)

На дефектограмме дефектоскопа УДС2-РДМ-22 присутствуют сигналы, явно указывающие на наличие дефекта в виде трещины, дислоцированной в шейке рельса. Результат вторичного контроля – дефект 55.

На дефектограмме СВД на 228 км ПК 5 (рисунок 3) стык не зарегистрирован, сигналы от типовых отражателей отсутствуют.

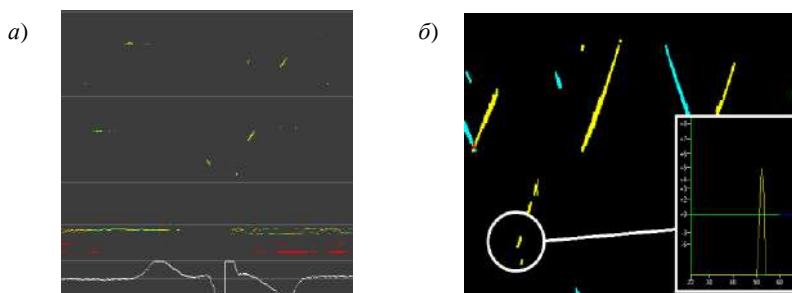


Рисунок 3 – Фрагменты дефектограмм СВД № 005 (*a*) и УДС2-РДМ-22 (*б*)

На дефектограмме дефектоскопа УЗД в канале преобразователя с углом ввода ультразвука  $42^\circ$  на глубине 50 мм присутствует сигнал, указывающий на возможное наличие дефекта в виде трещины, дислоцированной в отдающем по ходу километров торце рельса. Результат вторичного контроля – дефект 52.1.

Таким образом, из анализа представленных остродефектных мест можно сделать вывод, что СВД на вторичный контроль выдаются места, вызывающие сомнения, которые либо подтверждают первоначальный дефект, либо его изменяют. В ряде случаев при вторичном контроле на исследуемых местах сигналы от дефектных мест отсутствуют, что объясняется некачественной записью.

#### Список литературы

1 СТП 38.397–2019. Специально-технические вагоны Центра диагностики объектов инфраструктуры. Порядок планирования и организации работ : утв. приказом зам. Нач. Бел. ж. д. от 19.03.2019 № 281 НЗ. – Минск, 2019. – 12 с.

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИВЕДЕНИЯ КРИВЫХ В ПРОЕКТНОЕ ПОЛОЖЕНИЕ

*А. Б. КАПИТОНЕЦ, В. А. СОЛОМОНОВ, М. А. КРАСНОВ*  
*Белорусская железная дорога, г. Минск*

*В. В. РОМАНЕНКО*  
*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В процессе эксплуатации пути для выполнения рихтовочных работ применяются выправочные машины, которые с целью экономии времени в «окна» работают без предварительных измерительных поездок и определения сдвижек в фиксированных точках. После подобных выправок путь на всех направлениях часто бывает «зарихтован», и, как следствие, параметры плана по проекту сильно отличаются от фактического положения. Одним из условий приемки пути после ремонта является приведение кривых в проектное положение, однако не всегда получается этого достигнуть [1]. Для выявления факторов, которые могут ограничить возможность приведения кривой в проектное положение рассмотрим три криволинейных участка.

На участке *Степянка – Минск-Восточный* расположена в I главном пути трехпутного участка однорядная кривая.

Анализ геометрического положения фактической и проектной кривых, согласно технической документации дистанции пути, показал:

- несовпадение начала (НК) и конца (КК) фактической и проектной кривых составляет 4 м (НК<sub>ф</sub> отстает от НК<sub>пр</sub>) и 5 м (КК<sub>ф</sub> отстает от КК<sub>пр</sub>) соответственно;
- разница длин фактической и проектной кривых составляет 1 м;
- несовпадение начала (НКК) и конца (ККК) фактической и проектной кривых составляет 8 м (НКК<sub>ф</sub> отстает от НКК<sub>пр</sub>) и 4 м (ККК<sub>ф</sub> отстает от ККК<sub>пр</sub>) соответственно;
- разница длин фактической и проектной круговых кривых составляет 4 м;
- средний радиус фактической круговой кривой  $R_{ср} = 612$  м на 1 % меньше радиуса проектной кривой  $R_{пр} = 616$  м;
- средняя величина возвышения наружного рельса  $h_{ср} = 90$  мм на 5 мм больше возвышения проектной кривой  $h_{пр} = 95$  мм;

Так как на участке отсутствуют какие-либо устройства, а геометрические параметры не имеют значительных отклонений от проектных, то данную кривую возможно привести в проектное положение, при этом необходимо:

- длину 1-й переходной уменьшить на 4 м, длину 2-й уменьшить на 1 м;
- совместить обе переходные кривые по кривизне и уровню, таким образом, чтобы изменение длин переходных кривых происходило в их пределах и не уменьшало длину круговой кривой, а также не затрагивало прямые участки;
- реализовать проектный радиус  $R_{пр} = 616$  м.

Устройство отвода в пределах переходных кривых, а также изменение радиуса, выполняется в результате выправки пути машиной типа ВПР, изменение радиуса с фактического на проектный существенно не изменит положение пути в плане, что подтверждает возможность приведения фактической кривой в проектное положение.

На участке *Минск – Негорелое*, станция Койданово, во II главном пути расположена двухрядная кривая, причем в пределах 2-й элементарной кривой расположена посадочная платформа.

Анализ геометрического положения фактической и проектной кривых, согласно технической документации дистанции пути, показал:

- несовпадение НК и КК фактической и проектной кривых (включая 1-ю и 2-ю элементарные кривые) составляет 4 м (НК<sub>ф</sub> опережает НК<sub>пр</sub>) и 6 м (КК<sub>ф</sub> отстает от КК<sub>пр</sub>) соответственно;
- разница длин фактической и проектной кривых составляет 10 м;
- длины фактических элементарных кривых не совпадают с проектными, место изменения фактической кривизны (с  $R_{ср1} = 1013$  м на  $R_{ср2} = 635$  м) на 30 м не совпадает с проектным (с  $R_{пр1} = 1050$  м на  $R_{ср2} = 670$  м);

- разница длин фактической и проектной круговых кривых составляет 29 м;
- средняя величина возвышения наружного рельса 1-й элементарной кривой  $h_{cp1} = 77$  мм на 7 мм больше проектного возвышения  $h_{np} = 70$  мм; 2-й элементарной кривой  $h_{cp2} = 71$  мм на 1 мм больше проектного возвышения  $h_{np} = 70$  мм.

В этом случае необходимо учесть, что наличие посадочной платформы может ограничить величину сдвижки по предельному значению габарита подвижного состава, с одной стороны, и ширине междупутья – с другой. Для приведения переходных кривых в проектное положение необходимо длину 1-й переходной уменьшить на 14 м, длину 2-й увеличить на 11 м, что вызовет незначительные уменьшения круговой кривой, но не затронет прямые участки.

Чтобы реализовать проектный радиус  $R = 670$  м ( $f = 50000 : 670 = 75$  мм) необходима сдвижка участка пути в плане. Максимальная величина сдвижки в области  $R_{min} = 585$  м ( $f = 50000 : 585 = 85$  мм) составит  $85 - 75 = 10$  мм, что, в свою очередь, не вызовет серьезных изменений положения оси кривой и не нарушит габарит приближения строений по отношению к посадочной платформе.

Таким образом, несмотря на наличие ограничений данную кривую также возможно привести в проектное положение.

На участке *Минск – Негорелое*, перегон Койданово – Негорелое, во II главном пути расположена двухрадиусная кривая, причем в пределах 2-й элементарной кривой расположен переезд.

Анализ геометрического положения фактической и проектной кривых, согласно технической документации дистанции пути, показал:

- несовпадение НК и КК фактической и проектной кривых (включая 1-ю и 2-ю элементарные кривые) составляет 4 м (НК<sub>ф</sub> опережает НК<sub>пр</sub>) и 30 м (КК<sub>ф</sub> отстает от КК<sub>пр</sub>) соответственно;
- разница длин фактической и проектной кривых составляет 34 м;
- длины фактических элементарных кривых не совпадают с проектными, изменение фактической кривизны (с  $R_{cp1} = 1136$  м на  $R_{cp2} = 888$  м) на 21 м не совпадает с проектным (с  $R_{np1} = 1150$  м на  $R_{np2} = 870$  м);
- разница длин фактической и проектной круговых кривых составляет 29 м;
- средний радиус фактической круговой кривой 1-й элементарной кривой  $R_{cp1} = 1136$  м на 1 % меньше радиуса проектной кривой  $R_{np1} = 1150$  м, 2-й элементарной кривой  $R_{cp2} = 888$  м на 2 % больше радиуса проектной кривой  $R_{np2} = 870$  м; кроме этого, проектная кривизна изменяется еще и с  $R_{np2} = 870$  м на  $R_{np3} = 1220$  м (на 27 % больше фактического радиуса), показывая таким образом, что согласно проекту она трехрадиусная;
- несовпадение начала (НКК) и конца (ККК) фактической и проектной кривых составляет 19 м (НКК<sub>ф</sub> отстает от НКК<sub>пр</sub>) и 71 м (ККК<sub>ф</sub> отстает от ККК<sub>пр</sub>) соответственно;
- разница длин фактической и проектной круговых кривых составляет 90 м;
- средняя величина возвышения наружного рельса 1-й элементарной кривой  $h_{cp1} = 77$  мм на 7 мм больше проектного возвышения  $h_{np} = 70$  мм, 2-й элементарной кривой  $h_{cp2} = 71$  мм на 1 мм больше проектного возвышения  $h_{np} = 70$  мм.

В данном случае наличие переезда сильно затруднит изменение радиуса второй элементарной кривой, так как вызовет дополнительные объемы работ, связанные с его переустройством, поэтому данную кривую рационально не приводить к проектному положению, а паспортизировать фактическое положение, то есть внести изменения в документацию.

Для приведения в паспортизируемое положение необходимо увеличить длины 1-й и 2-й переходных кривых соответственно на 31 и на 7 м, а также совместить обе круговые кривые в плане и по уровню, ориентируясь на фактическое положение кривой в плане.

Таким образом, в ряде случаев приводить кривые в проектное положение невозможно либо рационально ввиду больших объемов дополнительных работ. Практически всегда таким препятствием выступает переезд, поэтому при принятии окончательного решения об изменении геометрического положения кривой кроме документации необходимо учитывать ситуацию на участке.

#### Список литературы

- 1 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 № 370 НЗ. – Введ. 20.06.22. – Минск : Белорусская железная дорога, 2022. – 30 с.
- 2 Методика по оценке фактических параметров устройства кривых участков пути мобильными диагностическими средствами для их паспортизации : офиц. издание : утв. приказом от 02.11.2020 № 838 НЗ. – Введ. в действие 06.11.2020. – Минск, 2020. – 10 с.

## СРАВНЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ АВАРИЙНОСТИ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПЕРЕЕЗДАХ И ПУТЕПРОВОДАХ

*С. Н. КАРАСЕВИЧ, Т. О. ЧЕРНЯК*

*Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва*

Проблема одноуровневых железнодорожно-автомобильных пересечений является крайне актуальной как для России, так и для всех промышленно-развитых стран. Пересечения железных дорог с автомобильными дорогами и улицами в одном уровне влияют на организацию транспортной работы и эффективность функционирования городских транспортных систем, на загрузку улично-дорожной сети (УДС) городов, что связано с высокой интенсивностью движения транспортных средств (ТС), наличием разных видов движения (пассажирское, грузовое, пешеходное), социальной ориентацией городской транспортной системы, ориентированной на обеспечение устойчивой мобильности населения, экологической нагрузкой разных видов транспорта на городскую среду и другими факторами. При этом в ряде случаев пересечения железных дорог с автомобильными дорогами в одном уровне остаются наиболее оправданным решением в силу влияния экономических соображений и других объективных факторов и условий.

Большую часть железнодорожных путей сообщения в черте городов составляют подъездные пути необщего пользования, которые зачастую являются малодеятельными, и одноуровневое пересечение дорог удовлетворительно функционирует. Однако, несмотря на их малодеятельность по сравнению с железнодорожными путями общего пользования, потери, связанные с наличием на них пересечений с городскими улицами и дорогами, иногда оказываются большими, что говорит о том, что и в этом случае востребовано технико-экономическое обоснование устройства пересечений в разных уровнях с оценкой аварийных рисков и потерь. Решения о реализации проектов по открытию, либо ликвидации одноуровневых пересечений автомобильных дорог с железными дорогами, как правило, принимаются с учетом мониторинга изменения интенсивности движения автомобильного и железнодорожного трафика, повышения аварийности, изменения прогноза грузопотоков.

Мировой опыт говорит о том, что в современных условиях открывать новые ЖДП отдельных категорий возможно при условии, что иные варианты устройства пересечения с железной дорогой (в разных уровнях) экономически нецелесообразны и (или) технически сложны. Открытие нового ЖДП, как и его ликвидация, должно учитывать общественную безопасность, необходимость, доступность транспортных связей и экономику. Кроме того, объективным фактом является то, что тотальной замене пересечений в одном уровне транспортными развязками в разных уровнях препятствуют необходимость привлечения больших капитальных вложений и значительные сроки реализации таких мероприятий. При этом сложность и высокая стоимость строительства транспортных развязок в разных уровнях зачастую диктует необходимость отказа от развития УДС, что приводит к ухудшению связности городов, увеличению заторов и ухудшению экологической ситуации.

В последние годы решение проблемы ЖДП в России отчасти получает путем строительства платных путепроводов. Однако следует заметить, что сооружением путепроводов (эстакад, тоннелей) вместо действующих ЖДП не гарантируется полная БДД и по-прежнему существуют риски возникновения ДТП.

Проведенные исследования аварийности до и после внедрения типовых решений и мероприятий по повышению безопасности дорожного движения (БДД) позволили во многих странах, включая Российскую Федерацию, накопить статистический материал о влиянии этих решений и мероприятий на уровень дорожно-транспортной аварийности, который представлен в виде специальных таблиц.

В методических рекомендациях по назначению мероприятий для повышения БДД на участках концентрации ДТП, утвержденных Распоряжением Росавтодора от 30.03.2000 г. № 65-р, и рекомендациях по обеспечению БДД на участках концентрации ДТП на автомобильных дорогах общего пользования, утвержденных приказом Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь от 27.03.2001 г. № 43, приводятся показатели снижения аварийности в долях от единицы при строительстве развязки в разных уровнях: 0,8 ДТП с пострадавшими и 0,86 всех ДТП.

По данным статистических исследований аварийности, проведенных в странах Евросоюза, переход от ЖДП к развязке в разных уровнях приводит к снижению числа аварий с пострадавшими в долях единицы – 0,64. В США ожидаемое снижение аварийности при строительстве путепровода взамен ЖДП оценивается показателями 0,97 для всех аварий, 0,2 – для аварий с пострадавшими и 0,27 – для аварий с материальным ущербом.

В соответствии с Методическими рекомендациями по проведению мероприятий по улучшению условий дорожного движения и повышению БДД в целях ликвидации мест концентрации ДТП, включающие типовые решения (утв. протоколом заседания проектного комитета по национальному проекту «Безопасные и качественные автомобильные дороги» от 31.07.2019 года № 5) путепроводы, эстакады и мосты, равно как и ЖДП, следует относить к характерным опасным участкам дорог и улиц с высоким риском возникновения ДТП.

Сооружением транспортных развязок в разных уровнях вместо действующих ЖДП не гарантируется абсолютная безопасность и по-прежнему сохраняются риски возникновения ДТП, что подтверждается статистикой аварийности на этих объектах УДС. На путепроводах, эстакадах и мостах, как и на ЖДП, ежегодно с относительной периодичностью как в России, так и за рубежом фиксируются факты ДТП, в том числе с особо тяжкими последствиями.

Основой для оценки степени обеспеченности безопасности движения на ЖДП и путепроводах, эстакадах, мостах послужили статистические данные по ДТП с пострадавшими и тяжести их последствий, собранные с официальных сайтов Госавтоинспекции МВД России (<https://гибдд.рф>) и Федеральной службы государственной статистики России (<https://rosstat.gov.ru>) Были выгружены и обработаны детализированные карточки по ДТП, зарегистрированным на исследуемых объектах УДС за 2006–2021 годы.

Анализ показал, что ДТП на ЖДП и на путепроводах, мостах и эстакадах имеют невысокий удельный вес в общей структуре аварийности. Доля ДТП с пострадавшими на ЖДП ежегодно составляет менее 0,2 % от всех ДТП, зарегистрированных на территории России. Доля ДТП на путепроводах, мостах и эстакадах ежегодно составляет около 2 % всех ДТП с пострадавшими.

Рассчитанные показатели относительной аварийности для ЖДП, мостов, путепроводов и эстакад свидетельствуют о том, что для ЖДП на 100 объектов приходится 1,62 случаев ДТП с пострадавшими, а для путепроводов, мостов и эстакад – 4,1 ДТП на 100 объектов. Относительное число погибших на 100 объектов имеет близкие значения и для ЖДП составляет 0,6, а для путепроводов, мостов и эстакад – 0,52. При этом относительное количество раненых в ДТП людей на 100 объектов для путепроводов, эстакад и мостов значительно превышает аналогичный показатель для ЖДП. На 100 ЖДП приходится 1,91 раненных, на 100 путепроводов, эстакад и мостов – 5,59.

На основе проведенного сопоставительного анализа статистических данных сделаны выводы о том, что эксплуатация путепроводов, эстакад, мостов сопряжена с относительно высокими рисками возникновения ДТП на них. В частности, количество ДТП с пострадавшими, зарегистрированных на мостах, путепроводах и эстакадах на территории Российской Федерации в 2021 году в 10 раз превышает число ДТП, зарегистрированных на ЖДП. Более высокое количество случаев ДТП на путепроводах объясняется меньшим общим количеством ЖДП на УДС по сравнению с общим числом путепроводов, эстакад и мостов. Говорить о том, что сооружением путепроводов вместо действующих ЖДП обеспечивается абсолютная БДД и аварийные потери отсутствуют, не приходится. Более того, проведенный анализ показал, что ДТП на путепроводах, эстакадах и мостах отличаются высокой тяжестью последствий, которая в отдельных случаях сопоставима с последствиями ДТП на ЖДП и иногда даже превосходит их.

Как на ЖДП, так и на путепроводах (эстакадах и мостах) происходят ДТП с высокой тяжестью последствий, которые причиняют значительный материальный и социальный ущерб в результате гибели или ранения людей, повреждения ТС, дорожного обустройства, простоя подвижного состава железных дорог и нарушения графика движения, вызывающего несвоевременную доставку перевозимых грузов и пассажиров. Суммарные прямые потери от одного ДТП на ЖДП и путепроводах нередко измеряются десятками миллионов рублей. Задержки в доставке грузов и пассажиров негативно сказываются на эффективности функционирования многих предприятий. Поэтому аварийность на рассматриваемых объектах УДС приводит к экономическим потерям в различных сферах практической деятельности.

В ходе выработки решений по проектированию УДС и повышению БДД следует учитывать вышеуказанные обстоятельства.



## РЕКОНСТРУКЦИЯ МОСТОВ НА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГАХ – ОСНОВА ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

*П. А. КАЦУБО, Я. В. ШУТОВ, А. А. ЦАРЕНКОВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В составе сети автомобильных дорог общего пользования функционируют более 5200 мостов и путепроводов общей протяженностью свыше 185,0 тыс. пог. м. В среднем на каждые 7 км автомобильных дорог приходится одно искусственное сооружение – мост, путепровод или водопропускная труба [1]. Текущее состояние многих из них не в полной мере удовлетворяет нормативным требованиям. Не соответствуют нормативным требованиям грузоподъемности и (или) габариту немного менее 25 % от общего количества мостовых сооружений на республиканских автомобильных дорогах и около 45 % мостов, расположенных на местной сети [2]. Улучшение их транспортно-эксплуатационного состояния для удовлетворения потребностей экономики и общества в непрерывных транспортных связях является важной и в то же время сложной задачей.

В настоящее время выделяется более 20 групп опасностей по безопасности дорожного движения при эксплуатации мостовых сооружений, например, износ железобетона, усталостные повреждения, коррозия и др. Основная доля при этом приходится на причины, связанные с превышением грузоподъемности – 18 % в общем количестве опасностей, паводком – 17 %, халатностью при проведении работ – 9 %, ошибками проектирования – 9 %, коррозией – 6 %, ударом от транспортных средств под мостом – 6 % [3].

Удобство и безопасность при проезде мостовых сооружений и их позиционирование в качестве стратегически важных объектов транспортной инфраструктуры при обеспечении национальной безопасности достигается в результате проведения непрерывной системной работы по многим направлениям: исследование, измерение основных геометрических размеров мостового сооружения, его конструкций, элементов, сечений элементов; проектирование; обследование технического состояния сооружений, выявление дефектов и повреждений; испытания мостов и материалов для их возведения; проверка соответствия нормативным требованиям габаритов приближения, геометрических размеров, уклонов и др. Особо следует отметить важность функционирования в данной системе проактивных обратных связей, позволяющих разрабатывать и реализовывать мероприятия по управлению рисками в эксплуатации мостов, на основе прогнозирования возникновения дефектов. Среди наиболее распространенных дефектов мостового полотна следует выделить разрушение плиты проезда или балочной клетки от воздействия осевой нагрузки, срез от воздействия поперечной силы насадки опоры, разрушения и провалы переходных плит, разрушение тел опор от эксплуатационных нагрузок, разрушение балок от воздействия изгибающего момента, сдвиги и крен опор и опорных частей и др.

В результате воздействия многих факторов со временем снижаются прочность и эксплуатационная надежность мостовых сооружений, происходят их физический износ и «моральное старение», обусловленные не только увеличением транспортных нагрузок и скоростей движения, но и разработкой новых конструктивных и архитектурно-планировочных решений.

Проведение реконструкции чаще всего направлено на решение следующих задач:

- изменение основных конструкций и грузоподъемности мостов;
- изменение эксплуатационных условий для автомобильной дороги или водной артерии.

Как правило, при реконструкции моста производится замена пролетных строений. Это возможно как с установкой дополнительных опор, так и с небольшой реконструкцией. Исходя из грузовой способности пролетов вычисляется соответствующая грузоподъемность моста. Опорные конструкции обладают достаточно высокой способностью к нагрузке, поэтому необходимость их масштабных изменений появляется нечасто. Выделяется два основных направления работ с пролетными строениями мостов, если они не обладают достаточными показателями: полная замена или установка усилителей. Выбор варианта решения основан на учете объемов ремонтных работ,

типа осуществления операций по улучшению грузоподъемности, параметров объекта, текущего состояния (раскрытие трещин, уровень влияния коррозии, прочие неисправности), прогнозируемых перспектив использования объекта.

При усилении мостов может быть применена установка в опасных зонах дополнительной арматуры из листовой стали, которая объединяется с существующей арматурой и бетоном с помощью полимеррастворов на основе различных видов смол. Равномерное включение приклеенной арматуры в зону бетонного сечения обеспечивается за счет более развитой площади контакта в сравнении со стрежневой арматурой.

Долговечность и стойкость сооружений при усилении мостов может быть обеспечена, благодаря применению полимеров, которые обладают повышенной клеящей способностью к стали и бетону. Растворы на основе полимеров широко используются также для устранения и других дефектов существующих конструкций.

С положительной стороны можно охарактеризовать применение стеклофибробетонных конструкций из-за малого процента армирования и снижения трудоемкости за счет отсутствия арматурных работ. Благодаря высокой прочности на истираемость, стеклофибробетон целесообразно использовать при устройстве накладной плиты проезжей части.

Своевременно проведены усиление и реконструкция мостовых сооружений позволяют увеличить сроки службы и обеспечить бесперебойность и безопасность транспортного сообщения. Считается, что для автодорожных мостов моральный износ в современных условиях развития транспорта наступает через 30 лет, физический износ для железобетонных монолитных мостов и сборных – через 60–70 и 40–50 лет соответственно [4]. Выбор сроков проведения реконструкции мостов основан на технико-экономическом обосновании целесообразности их эксплуатации с новыми параметрами по сравнению с другими возможными вариантами. Реконструкция целесообразна, если эксплуатируемый мост в существующих параметрах не может обеспечить требуемого объема перевозок, а также если затраты на его содержание и ремонт, включая перенаправление транспортных потоков на объездные дороги и мосты с большей грузоподъемностью, превышают затраты на проведение работ по его реконструкции. Критерием выбора эффективного решения является минимальная суммарная величина дисконтированных инвестиций и последующих транспортно-эксплуатационных затрат в пределах принятого расчетного периода сравнения вариантов. После принятия решения о реконструкции целесообразно соизмерить затраты при осуществлении работ разными способами, отличающимися не только техническими параметрами, но и продолжительностью выполнения работ, окупаемостью, социально-экономическими последствиями.

Важной особенностью мостов является то, что их реконструкция осуществляется, как правило, в стесненных условиях, которые характеризуются ограниченными размерами строительных площадок (необходимых для размещения мостовых конструкций, укрупнённой их сборки, производства в небольших количествах полуфабрикатов, складирования деталей и материалов). Это приводит к необходимости выполнения работ по монтажу пролетных строений и опор моста «с колес», что в свою очередь требует создания специальных подъездных путей к месту их производства. Поэтому повышение эффективности реконструкции мостов во многом зависит от организации транспортного процесса в период его осуществления.

#### Список литературы

1 Отраслевая мостовая лаборатория // Белорусский дорожный научно-исследовательский институт «БелдорНИИ» [Электронный ресурс] : офиц. сайт. – Режим доступа : <http://www.beldornii.by/subdivisions/bridges>. – Дата доступа : 02.09.2022.

2 О Государственной программе «Дороги Беларуси» на 2021–2025 годы [Электронный ресурс] : постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 8 апр. 2021 г., № 212 // Нац. правовой интернет-портал Респ. Беларусь. – Режим доступа : <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=C22100212>. – Дата доступа : 07.09.2022.

3 Сырков, А. В. Методы повышения надежности мостов на основе анализа статистики отказов / А. В. Сырков, А. С. Сизиков // Дороги. Инновации в строительстве. – 2019. – № 79. – С. 32–38.

4 Дементьев, В. А. Усиление и реконструкция мостов на автомобильных дорогах : учеб. пособие / В. А. Дементьев, В. П. Волокитин, Н. А. Анисимова ; под общ. ред. В. А. Дементьева. – Воронеж : Воронеж. гос. арх.-строит. ун-т, 2006. – 117 с.

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ВЕДЕНИЯ ПУТЕВОГО ХОЗЯЙСТВА НА БЕЛОРУССКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГЕ

*С. В. КОРИК*

*Белорусская железная дорога, г. Минск*

*В. И. МАТВЕЦОВ, П. В. КОВТУН, Н. Н. КРАВЧЕНКО, К. Д. САКАЛОВСКИЙ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Путевое хозяйство является одним из наиболее важных хозяйств на Белорусской железной дороге. От его технического состояния в значительной степени зависят пропускная способность железнодорожных участков, безопасность движения поездов и оперативность предоставления услуг.

На долю путевого хозяйства приходится более четверти стоимости основных фондов Белорусской железной дороги, около 20 % эксплуатационных расходов, в нем занята шестая часть работников железнодорожного транспорта.

Система ведения путевого хозяйства в современных условиях базируется на перспективном развитии, в основе которого лежит совершенствование конструкции верхнего строения пути; повышение долговременной стабильности пути в результате использования прогрессивных конструкций и материалов, перехода на выполнение объемов работ современными комплексами путевых машин; оптимизация технологий ремонта и текущего содержания пути и доведение годовой выработки машинных комплексов до их проектной мощности.

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.

Одним из факторов является поддержание конкурентоспособности и привлекательности железнодорожных перевозок за счет сокращения времени доставки грузов и времени нахождения пассажиров в пути следования, что влечет повышение скоростей движения пассажирских и грузовых поездов и во многом определяет качество транспортного обслуживания.

Также не менее важное влияние на текущее содержание железнодорожного пути оказывает нехватка кадров, это вызвано изменениями в тенденциях на рынке труда, так как современное поколение всё меньше склоняется к работе, связанной с ручным трудом, отдавая предпочтение в работе IT-сфере, сфере услуг и т. д.

На сегодняшний день из-за дефицита персонала 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.

Решать эту задачу можно путем самого широкого применения при текущем содержании железнодорожного пути высокопроизводительных путевых машин. Внедрение их в работах сплошного характера с определенной периодичностью позволит выйти на новый технический и организационный уровень, а также максимально заменить тяжелый ручной труд.

Основой ведения путевого хозяйства является текущее содержание железнодорожного пути и своевременный его ремонт, при котором работы выполняются высокопроизводительными путевыми машинами в специально отведенные «окна», что позволит увеличить объемы и качество выполняемых работ; тем самым улучшить состояние железнодорожного пути и повысить его надежность, обеспечит рост производительности труда, снижение трудоемкости выполняемых работ; продлит жизненный цикл железнодорожного пути; улучшить состояние промышленной безопасности и охраны труда.

Перевооружение путевого хозяйства предусматривает оптимизацию расходов за счет совершенствования технологических процессов, применения ресурсосберегающих технологий, позволяющих при безусловном обеспечении безопасности движения поездов, снизить трудо- и ресурсоемкость содержания железнодорожных путей.

С целью приведения в соответствие современным требованиям эксплуатации железнодорожного пути и снижения затрат на его содержание требуется переход на новую систему административного деления.

На ряде дорог ОАО «РЖД» произошел отказ от устаревшего околоточного метода ведения путевого хозяйства и переход на более современные формы. При переходе на новый метод задача сводится к выбору вариантных схем технического обслуживания пути и практически полного отказа от текущего содержания малочисленными бригадами. В связи с этим необходим пересмотр (совершенствование) подходов к расчету численности работников, занятых текущим содержанием железнодорожного пути и искусственных сооружений, так как на сегодняшний день средняя штатная численность рабочего отделения не соответствует действующим технологиям путевых работ, порядку обеспечения безопасности движения поездов при их производстве, нормам и требованиям охраны труда.

Для реализации этих задач приказом Начальника Белорусской железной дороги была утверждена Концепция развития путевого хозяйства Белорусской железной дороги на 2022–2030 годы, 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 [2], в частности, 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 скажутся 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.

#### Список литературы

1 Концепция развития путевого хозяйства Белорусской железной дороги на 2022–2030 годы : приказ Белорусской железной дороги от 28.12.2021 № 404Н. – Минск, 2022.

2 СТП БЧ 56.388–2022. Положение о системе ведения путевого хозяйства Белорусской железной дороги : приказ Белорусской железной дороги от 14.05.2022 № 370 НЗ. – Минск, 2022.

УДК 621.318

## ПЛАТФОРМА НА МАГНИТНОЙ ПОДУШКЕ

*И. А. КОНОВАЛОВ, Д. И. ПОНАМАРЕНКО*

*Самарский государственный университет путей сообщения, Российская Федерация*

Множество компаний начинают набирать обороты и стараются как можно быстрее выйти на рынок по производству и эксплуатации маглева, но в этой сфере конкуренция уже очень высока [1]. На данный момент рынок по производству платформы на магнитной подушке еще не занят и аналогов не имеет, поэтому и востребованность данной разработки велика.

Идея проекта заключается в создании магнитной платформы и пути, по которому она будет передвигаться.

Путь, показанный на рисунке 1, будет состоять из металлоконструкции, где будут закреплены магниты, по которым будет проходить ток, создавая магнитное поле. Платформа, показанная на рисунке 2, будет состоять из композитных материалов и сплава алюминия.

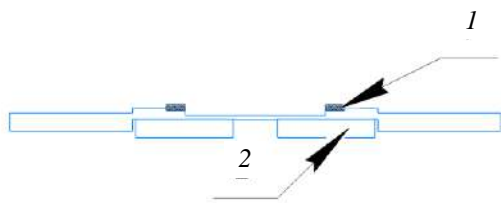


Рисунок 1 – Путь:  
1 – резиновые накладки; 2 – магниты

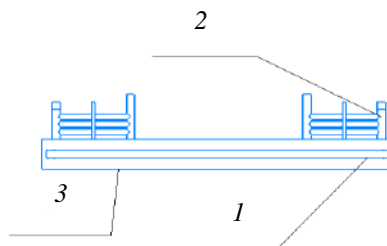


Рисунок 2 – Платформа на магнитной подушке:  
1 – рукоять; 2 – ограждения; 3 – магниты

Принцип работы платформы на магнитной подушке показан на рисунке 3.

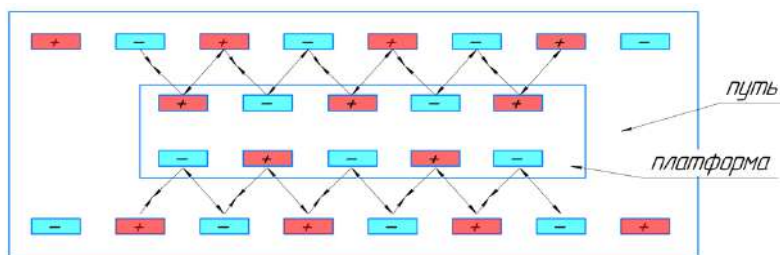


Рисунок 3 – Принцип работы магнитного поля

Проведем динамический расчет в среде SolidWorks Simulation. Соберем платформу в реальных размерах. Установим материал – сплав алюминия, установим в креплениях упругое основание (рисунок 4). Запустим частотный анализ на частоте 5 Гц.

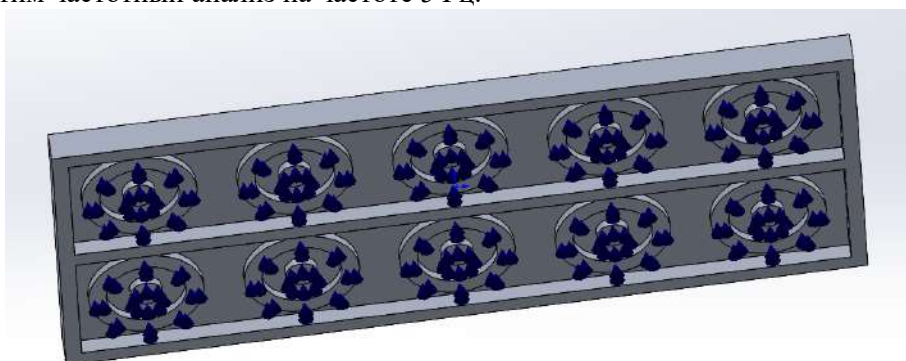


Рисунок 4 – Платформа (вид снизу)

Проверим массовое участие. В данном расчете 5 Гц оказалось достаточно, как видно из рисунка 5, участие по всем осям составляет 1, это значит, увеличивать частоту нет необходимости.

Запустим динамический анализ. Выбираем «Линейная динамика», «Временная модальная история». Устанавливаем в крепления ползун, так как считаем, что платформа может совершать перемещения вдоль оси Y. Устанавливаем возбуждение основания – «g» и запускаем наш расчет.

Проверим график отклика. Видно, что график не плавный. Это означает, что нам необходимо увеличить шаг по времени минимум в 5 раз. После выполнения данной операции график должен быть более плавным. Это говорит о том, что мы правильно можем оценить необходимые нам результаты (рисунок 6).

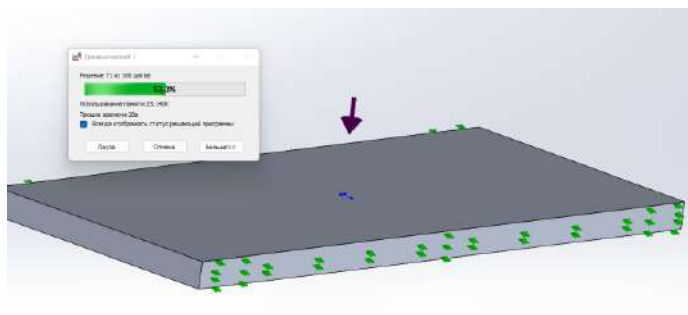


Рисунок 5 – Выполнение программы

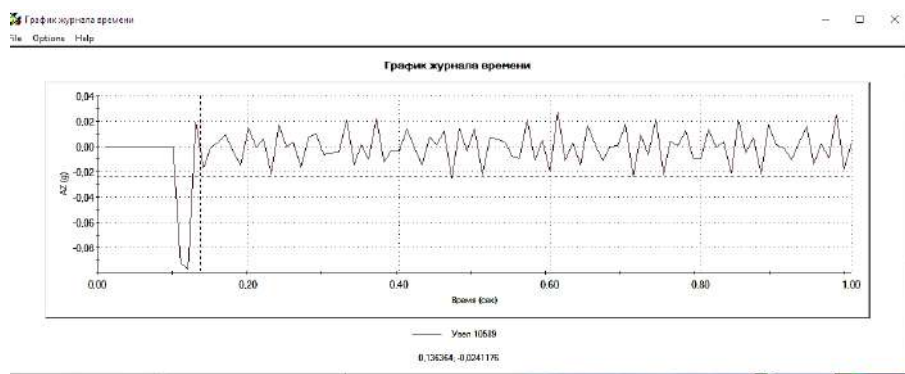


Рисунок 6 – График отклика

По графику (рисунок 7) видно, что платформа полностью за 1 секунду не затухает. Для этого необходимо будет увеличить время расчета и увеличить шаг. Мы же оставим все настройки по умолчанию, так как необходимо учесть большее число параметров, что в данном случае не является нашей целью.

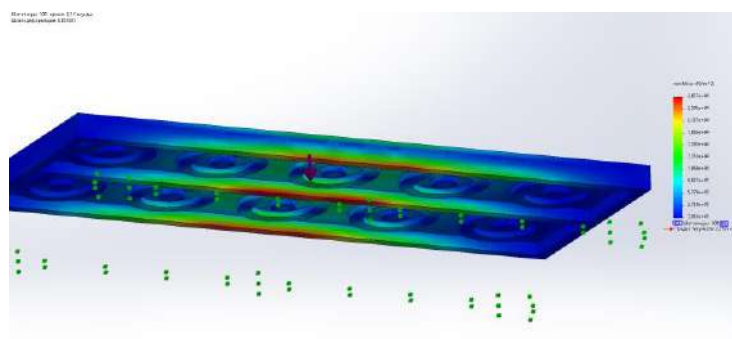


Рисунок 7 – Результаты динамического расчета

По результатам видно, что платформа нуждается в дополнительном армировании ее серединной части, что стоит учесть при проектировании. Благодаря данной платформе можно будет уменьшить потерю времени и сил для погрузочно-разгрузочных работ при занятости всего одного рабочего.

#### Список литературы

- 1 Коновалов, И. А. Платформа на магнитной подушке / И. А. Коновалов, Д. И. Понамаренко // Наука и образование транспорту. – 2021. – № 2. – С. 223–225. – EDN CVIFUM.
- 2 Дроздова, Т. Е. Теоретические основы прогрессивных технологий / Т. Е. Дроздова. – М. : МГОУ, 2001. – 212 с.
- 3 Основы технологий важнейших отраслей промышленности : учеб. для вузов / под ред. И. А. Сидорова. – М. : Высш. шк., 2003. – 396 с.

УДК 656.212.5

### О БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РОСПУСКЕ ОПАСНЫХ ГРУЗОВ В АВТОМАТИЗИРОВАННОМ РЕЖИМЕ

*К. И. КОРНИЕНКО, И. А. ОЛЬГЕЙЗЕР, В. Н. СОКОЛОВ*  
*Ростовский филиал НИИАС, Российская Федерация*

Одной из задач по повышению производительности сортировочных горок является автоматизация процесса роспуска определенных категорий опасных грузов. На сегодняшний день роспуск опасных грузов запрещен Правилами технической эксплуатации [1, 2]. Пропуск вагонов с данными грузами осуществляется путем съема с помощью горочного локомотива. Данная операция требует значительных временных затрат, что приводит к снижению перерабатывающей способности, особенно на горках с большим количеством данных грузов.

В 2017 году утверждена «Методика аттестации железнодорожных станций с автоматизированными горками с позиции обеспечения безопасности при роспуске вагонов-цистерн для перевозки опасных грузов 2-го класса опасности (пропанобутановые смеси)» [3]. В данной методике прописаны основные требования, которым должна соответствовать сортировочная горка, для возможности роспуска на ней отцепов с вагонами, предназначенными для перевозки грузов 2-го класса опасности (далее – отцепы с опасными грузами). Кроме трех тормозных позиций, оборудованных балочными вагонными замедлителями, на путях сортировочного парка должны размещаться точечные домкратовидные замедлители. Задачей точечных домкратовидных замедлителей является обеспечение скорости объединения отцепов со скоростями не более 3 км/ч согласно ПТЭ.

Технология роспуска отцепов с вагонами, предназначенными для перевозки грузов 2-го класса, по сравнению с роспуском обычных грузов, также подверглась значительным изменениям. Подробно предлагаемая технология рассмотрена в работе [4]. В настоящее время специалистами НИИАС разрабатывается интегрированный комплекс роспуска опасных грузов ИКАР ОГ [5]. Структурная схема Комплекса приведена на рисунке 1. Работа Комплекса предполагается во взаимодействии с комплексной системой автоматизации управления сортировочным процессом КСАУ СП.

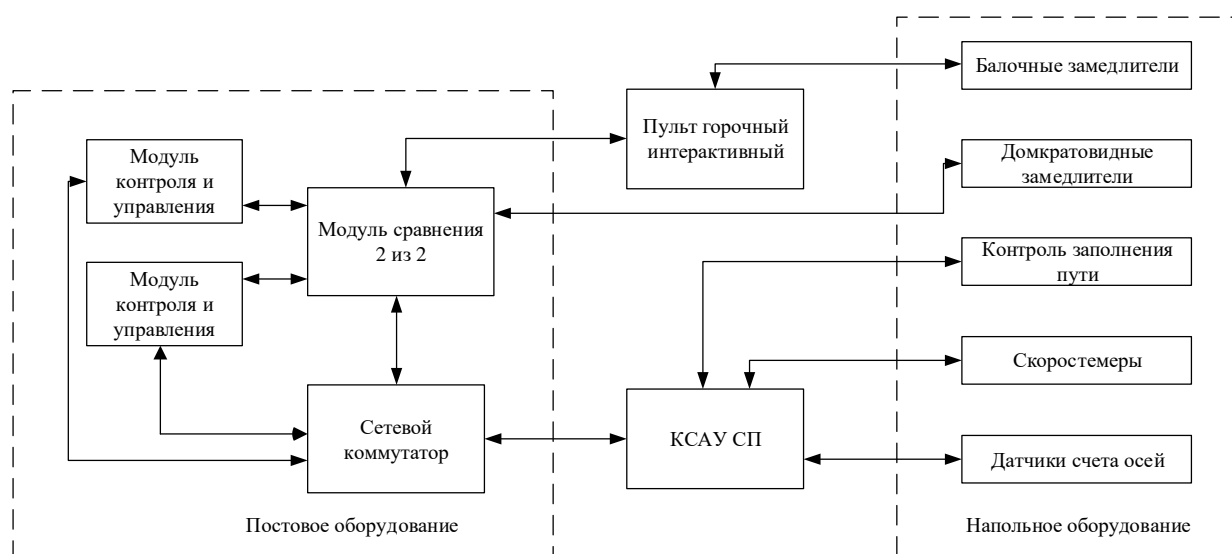


Рисунок 1 – Структурная схема ИКАР ОГ

При роспуске опасных грузов управление процессом роспуска передается ИКАР ОГ. При этом применяется ряд организационных и технических мер. Кроме организационных мер, описанных в утвержденной Методике, особое внимание уделяется изменению роли тормозных позиций.

Первая тормозная позиция выполняет функцию контроля тормозного воздействия отцепа. На данной позиции после воздействия на отцеп с помощью замедлителя просчитываются тормозные свойства отцепа. За счет этой функции можно заранее предугадать поведение отцепа при следующих торможениях. При наличии на колесах отцепа веществ, снижающих трение, тормозное воздействие будет малым, а значит, на следующих тормозных позициях ступень торможения будет выше.

Вторая позиция используется для прицельного вытормаживания отцепа. Скорость выхода отцепа с данной тормозной позиции зависит от необходимого расстояния, которое отцеп должен проехать в сортировочном парке, и от ходовых свойств отцепа. В отличие от нормального роспуска, где вторая тормозная позиция выполняет интервально-прицельное торможение, при роспуске опасных грузов скорость, с которой отцеп выходит с этой тормозной позиции, будет намного ниже.

Третья позиция используется для контроля скорости. В том случае если отцеп едет с большей скоростью, чем рассчитано, на данной тормозной позиции будет производиться торможение до необходимой скорости. Если отцеп движется с необходимой скоростью, на данной тормозной позиции, изменения скорости не произойдет.

Учеными Российского университета транспорта был произведен предварительный расчет вероятности соударения отцепов с опасными грузами со скоростью, превышающей допустимую. В ходе

расчетов было выявлено, что при существующих устройствах сортировочной горки интенсивность опасных отказов в год составляет  $4,6 \cdot 10^{-6} \cdot 1/\text{ч}$ . В то же время оборудование путей сортировочного парка дополнительными устройствами торможения (домкратовидными замедлителями) снижает интенсивность отказов до  $2,9 \cdot 10^{-9} \cdot 1/\text{ч}$ , что почти в тысячу раз меньше. Исходя из задачи максимальной безопасности ИКАР ОГ было принято решение добавить как одно из условий домкратовидные замедлители на всех путях, где должен производиться роспуск опасных грузов. Домкратовидные замедлители также позволят снизить влияние продольного профиля сортировочного парка на скорость движения отцепа.

При движении отцепа его ходовые свойства будут контролироваться большим количеством датчиков по маршруту скатывания и модель движения будет корректироваться ежесекундно.

Тормозные позиции спускной части горки (первая, вторая и третья, если имеется) в типовом исполнении состоят из следующих элементов (рисунок 2):

- два пневматических вагонных замедлителя (1 ЗП и 2 ЗП) с электронной быстродействующей управляющей аппаратурой. Управляющая аппаратура должна иметь не менее 8 ступеней управления для плавного вытормаживания отцепа;
- счетные точки (1ИД, 2ИД и 3ИД). Каждая счетная точка содержит по 2 устройства фиксации прохождения осей. Счетные точки находятся до, между и после замедлителей. Благодаря счетным точкам организуются путевые участки ПУ;
- кроме ПУ на замедлителях также организуются нормально-разомкнутые рельсовые цепи, которые ограничиваются с помощью изолирующих стыков;
- скорость движения отцепа определяется с помощью РИС-ВЗМ (2ЭС).

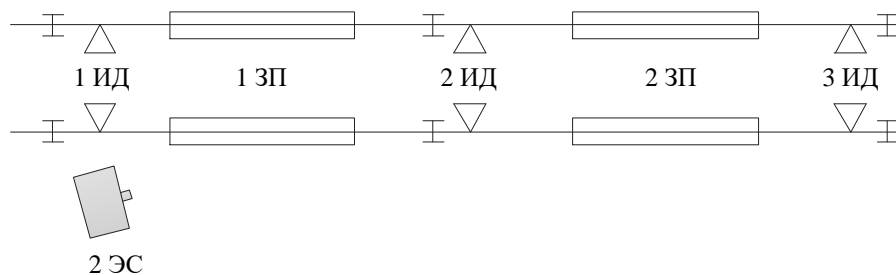


Рисунок 2 – Схема расположения напольного оборудования на тормозной позиции спускной части горки

Среди основных опасностей, которые могут возникнуть на тормозной позиции, можно выделить следующие (далее представлена опасность и способ ее решения в ИКАР ОГ).

1 Низкое тормозное воздействие на подвижной состав. Здесь можно выделить проблемы, связанные с колесами, и проблемы, относящиеся к замедлителю. Проблемы, связанные с колесной парой – это в основном нахождение на колесной паре смазки, снижающей трение. Данная проблема должна решаться организационными мерами – осмотром вагонов с ОГ, предназначенных к роспуску с отметкой в журнале осмотра об отсутствии загрязнителей на боковой поверхности колеса. Также для дополнительного выявления данной опасности применяется первая тормозная позиция, на которой производится контрольное торможение. Степень торможения на второй позиции будет выбираться с учетом того, как отцеп повел себя на первой тормозной позиции. Проблемы, связанные с замедлителем, гораздо обширнее. Самая первая опасность – это полный отказ одного из замедлителей. Управления замедлителями производится с помощью двух аппаратур управления, которые друг друга дублируют. Торможение отцепа всегда должно производиться на первом замедлителе, если отцеп не достиг нужной скорости, подключается второй. И первый, и второй замедлители находятся при подъезде отцепа в заторможенном состоянии. Это позволяет исключить время на взведение замедлителя. В том случае если первый замедлитель отказал, вторая тормозная позиция должна будет вытормозить отцеп до необходимой скорости. Вторая опасность – низкое тормозное воздействие шин. Это может быть как попадание на шины смазки (от предыдущих отцепов), так и низкое давление из-за разрегулировки. Алгоритмы КСАУ СП фиксируют тормозное воздействие замедлителей на отцепы. В случае если отцепы будут проезжать с меньшим тормозным воздействием, информация об этом будет передаваться электромеханику. Проезд опасных грузов через такой замедлитель будет запрещен.



2 Не меньшую опасность представляет и неправильный контроль скорости. Проверка скорости отцепя будет производиться через замер скорости с помощью РИС-ВЗМ и с помощью датчиков счета осей. Датчики счета осей позволяют рассчитывать скорость по одной колесной паре, следовательно, даже при проезде одновагонного отцепя скорость будет рассчитываться на каждом датчике по четыре раза. Несовпадение скоростей приведет к защитному отказу: замедлители приведутся в заторможенное состояние, и отцеп через замедлители не проедет. Окончание торможения будет производиться только после того, как полученная скорость будет меньше рассчитанной.

3 За определение местоположения отцепя отвечают рельсовые цепи и датчики счета оси. Благодаря этому можно будет точно выяснить, когда отцеп въезжает в замедлитель и выезжает. Ложная свобода или ложная занятость также приводят к защитному отказу.

4 Еще одной опасностью, которую можно отнести сюда, является опасность того, что отцеп был выпущен на неаттестованный путь. Перед началом роспуска ИКАР ОГ проверяет состояние всех стрелок, при несоответствии маршрута роспуск не начнется. После этого блокируются возможность ручного или автоматического перевода всех стрелок. Если ИКАР ОГ получает данные о занятии другой рельсовой цепи на сортировочной горке (не относящейся к данному отцепу), то также будет производиться защитный отказ.

Разработка ИКАР ОГ является сложной задачей с точки зрения обеспечения безопасности движения. Как видно из приведенного выше, на сортировочных горках уже существует оборудование, позволяющее распускать опасные грузы. Задачей разработчиков на сегодняшний день является правильное описание опасных ситуаций, которые могут возникнуть на сортировочной горке, и разработка мероприятий их недопущения. Мероприятия, не допускающие опасных ситуаций, делятся на технические и технологические. Технические мероприятия заключаются в оборудовании станции дополнительными управляемыми домкратовидными замедлителями и другими устройствами в соответствии с Методикой аттестации станций. Технологические мероприятия заключаются в организации действий при роспуске опасных грузов, последовательно исключающих возможность нарушения заданного технологического процесса. Все эти действия позволят доказать безопасность работы ИКАР ОГ при заданных условиях эксплуатации.

#### Список литературы

1 Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации : утв. приказом Минтранса России от 23 июля 2022 г. № 250 (ПТЭ) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://docs.cntd.ru/document/351240235?marker=6560Ю>. – Дата доступа : 06.09.2022.

2 Правила перевозок опасных грузов по железным дорогам (утв. СЖТ СНГ, протокол от 05.04.1996 № 15) (ред. от 19.05.2017) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [https://www.rw.by/upload/iblock/075/dangerous\\_cargo\\_transportation\\_rules.pdf](https://www.rw.by/upload/iblock/075/dangerous_cargo_transportation_rules.pdf). – Дата доступа : 06.09.2022.

3 Методика аттестации железнодорожных станций с позиции обеспечения безопасности при роспуске вагонов-цистерн для перевозки опасных грузов 2-го класса опасности (пропан-бутановые смеси) : утв. ОАО «РЖД» 15 декабря 2017 г. № 1339

4 Саврухин, А. В. Условия реализации автоматического роспуска с горки вагонов-цистерн для перевозки грузов 2-го класса опасности / А. В. Саврухин, Н. А. Коваленко, Р. А. Ефимов // Железнодорожный транспорт. – 2021. – № 9. – С. 27–33.

5 Интегрированный программно-аппаратный модуль для роспуска опасных грузов / А. Е. Хатламаджян [и др.] // Железнодорожный транспорт. – 2021. – № 12. – С. 35–37.

УДК 625.03

### ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ КАК СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ПУТЕВОГО ХОЗЯЙСТВА

*М. А. КРАСНОВ, В. А. СОЛОМОНОВ,  
Белорусская железная дорога, г. Гомель*

*С. С. ЗЕЛЕНЬ  
Белорусская железная дорога, г. Минск*

*В. В. РОМАНЕНКО  
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

С целью оптимизации расходов путевого хозяйства за счет совершенствования технологических процессов, применения ресурсосберегающих технологий, снижения трудо- и ресурсоемкости содержания железнодорожных путей службой пути Белорусской железной дороги разработана Кон-

цепция развития путевого хозяйства (далее – Концепция). Концепция предусматривает внедрение мер, направленных на повышение эффективности работы путевого хозяйства с учетом ряда факторов, которые на сегодняшний день оказывают существенное влияние на его работу.

Одним из направлений Концепции является проведение мероприятий, позволяющих перейти на механизированное текущее содержание объектов инфраструктуры и максимально заменив при этом долю ручного труда при производстве путевых работ.

Существующая на сегодняшний день система административного деления дистанции пути предполагает деление на участки, каждый из которых делится на околотки, функциями которых является систематическое проведение осмотров и управление техническим состоянием железнодорожного пути и устройств. Каждый околоток включает несколько рабочих отделений, значительная доля которых на сегодняшний день не укомплектована монтерами пути. Кроме того, ряд околотков имеют значительные особенности, которые делают затруднительным обеспечение равнозначной нагрузки на руководителей среднего звена.

Планируемые изменения в административной системе деления дистанции пути предусматривают изменения подходов к расчету численности рабочих отделений по текущему содержанию пути при делении околотков на узловые, линейные и смешанные, а также изменения в системе проведения периодических осмотров и проверок железнодорожного пути с введением должности контролера состояния железнодорожного пути. Вид околотка будет определяться в зависимости от характеристики участка: перегонные пути, промежуточные станции, узловые станции и т. п.

На сети Российских железных дорог подобные изменения уже нашли отражение в ряде дистанций пути, например, в Брянск-Льговской дистанции, которая является структурным подразделением Московской дирекции инфраструктуры – структурного подразделения Центральной дирекции инфраструктуры – филиала открытого акционерного общества «Российские железные дороги».

Брянск-Льговская дистанция осуществляет свою деятельность в сфере транспортных услуг, ее функциями являются:

- текущее содержание железнодорожного пути и искусственных сооружений в пределах установленных норм и допусков;
- своевременное выявление и предупреждение неисправностей, устранение причин их появления;
- выполнение систематического контроля за состоянием пути и сооружений, стрелочных переводов, искусственных сооружений, земляного полотна, переездов и путевых устройств, рельсовых цепей в соответствии с установленной периодичностью путем проведения периодических осмотров пути силами начальников участков, дорожных мастеров, контролеров состояния железнодорожного пути;
- обеспечение выполнения плана капитального ремонта основных фондов путевого хозяйства.

Основным подразделением дистанции пути является эксплуатационный участок, которым руководит начальник участка пути (ПЧУ). В состав Брянск-Льговской дистанции пути входит 5 эксплуатационных участков. ПЧУ осуществляет руководство участком, планирует совместно с мастерами плановые, первоочередные и неотложные работы, организывает и контролирует качественное их выполнение. ПЧУ руководит работами в пределах своей компетенции в соответствии с действующими нормативными документами.

Эксплуатационный участок пути делится на линейные участки, протяженность которых определяется в соответствии с приведенной длиной и грузонапряженностью. В состав Брянск-Льговской дистанции пути входит 16 линейных участков (околотков), примерная схема организации текущего содержания представлена на рисунке 1.

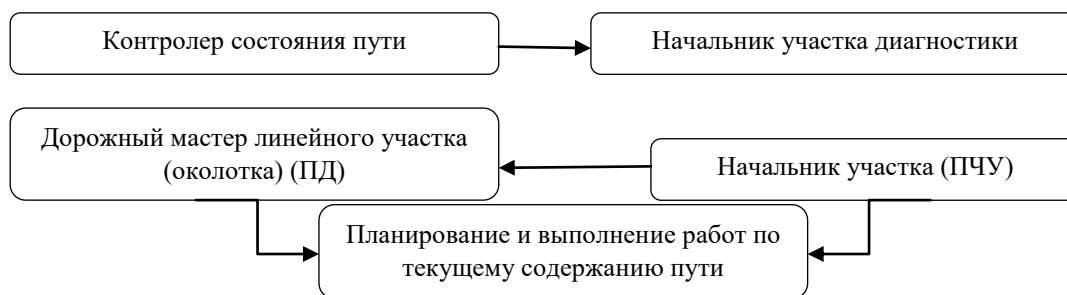


Рисунок 1 – Схема организации текущего содержания пути

Реальные схемы участков пути отражают характеристику участков, которые эти околотки обслуживают. Так, участок пути ПЧУ-1, включающий три околотка (ПД-1.1, ПД-1.2 и ПД-1.3), обслуживает участки перегонов и станцию Брянск-Льговский, поэтому в его составе кроме мастера (ПД) и бригадиров по обслуживанию пути (ПДБн) предусмотрены бригады по обслуживанию стрелочных переводов ПДБстр (рисунок 2). Участок пути ПЧУ-4 (четыре околотка: ПД-1.1–ПД-1.4) обслуживает только пути перегона.

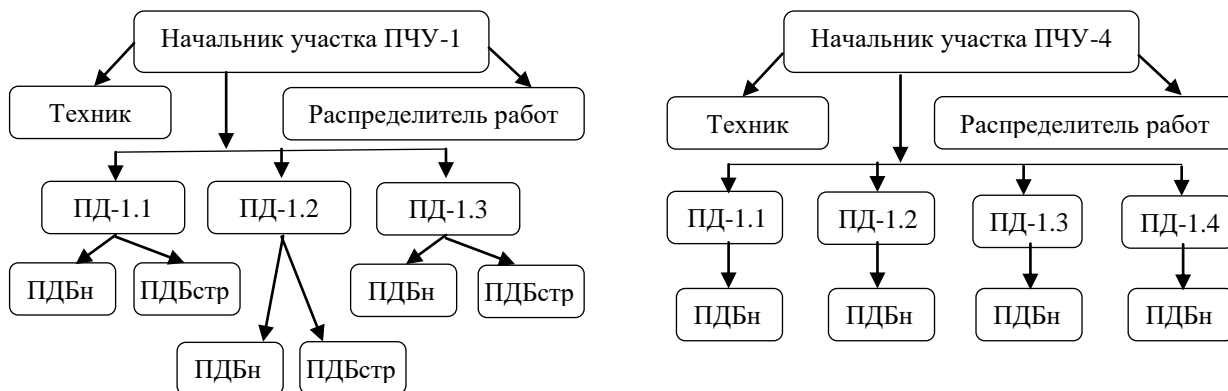


Рисунок 2 – Структурные схемы участков пути ПЧУ-1 и ПЧУ-4

Переход на действующую систему текущего содержания пути был выполнен с целью:

- разделения функций контроля и содержания пути, т. е. при переходе на участковую систему функции контроля за текущим содержанием пути перешли в подчинение начальника участка диагностики и перестали зависеть от начальника участка;
- повышения уровня планирования и рационального распределения ресурсов, при котором мастера закрепили за конкретными околотками с четкими границами обслуживания;
- планирования и организации работ мастером совместно с начальником участка.

#### 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. 28.12.21. – Минск : Белорусская железная дорога, 2021. – 16 с.
- 2 Положение об участковой системе текущего содержания пути : утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 13.12.2013 г. № 2758р ЦЗ. – М., 2013.
- 3 Положение об организации комплексного обслуживания объектов инфраструктуры хозяйства пути и сооружений : утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 19.11.2019 г. № 2675р ЦЗ-ЦС. – М., 2019.

УДК 625.14

## ВЛИЯНИЕ ЛЕГИРУЮЩИХ ДОБАВОК НА СВОЙСТВА РЕЛЬСОВОЙ СТАЛИ

*Л. С. КУЩЕНКОВА*

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

Современный мир трудно представить без железнодорожного сообщения. Рельсы применяются, прежде всего, для строительства железных дорог, но также различают крановые и промышленные пути. В кинематографе камера тоже движется по специальной рельсовой дорожке.

В древних государствах (Египте, Риме и Греции) пытались найти способ, который помог бы перемещать тяжелые грузы с меньшими трудозатратами. Для этого строили каменные дороги с колесами, мостки для подъема материалов и провизии на возвышения. По таким путям перевозили морские корабли на смазанных жиром полозьях.

В XVI веке при добыче камня и угля широко использовали деревянные лежни, они позволяли лошадям за 1 подход перевозить вес, в 4 раза больший, чем при обычной транспортировке. Позже они были заменены на чугунные пластины. В XVIII столетии такие конструкции строили в основ-

ном для промышленных нужд, но стали появляться участки для пассажирских перевозок на конной тяге.

Современные поезда могут перевозить многотонные грузы и перемещаться на больших скоростях. Форма профиля рельсы почти не изменилась, зато увеличился вес. В сравнении с 1880-ми годами с 22 кг он вырос до 70–75 на каждый погонный метр. Легкие конструкции до сих пор применяются для узкоколейных дорог и малонагруженных участков. Одновременно возросли требования к производству рельсовой стали.

Существует несколько типов железнодорожных рельс: Р50; 1 м = 50 кг; Р65; 1 м = 65 кг; Р65К (для наружных нитей и кривых участков пути); 1 м = 65 кг; Р75; 1 м = 75 кг;

Для изготовления рельс применяются марки легированной углеродистой стали, которая должна обладать следующими свойствами:

1 Способность нести вертикальные и боковые циклические нагрузки, оказываемые на рельс при передвижении техники соответствующего типа.

2 Устойчивость к износу и деформации на протяжении срока эксплуатации.

3 Хорошая температурная и умеренная коррозионная стойкость, в том числе и при контакте с горюче-смазочными материалами.

4 Пластичность и ударная вязкость не менее 2,5 г/см<sup>2</sup>.

Рельс представляет собой продукт массового производства, поэтому использование дорогостоящих высоколегированных сплавов в этом случае будет экономически нецелесообразным.

Полуфабрикатом для производства рельсов служат изготовленные по технологии непрерывного литья или горячего проката слитки продолговатой формы (блюмы). После нагрева и приобретения пластичности заготовкам придается требуемая форма в процессе прокатки на сортовых линейных или универсальных рельсобалочных станах. В настоящее время на смену традиционным линейным станам приходят более производительные и экономичные универсальные, отличающиеся рядным ступенчатым расположением клетей. В зависимости от специфики применения готовая продукция может поставляться без дополнительной обработки или в термически упрочненном состоянии.

Все виды рельсовой стали содержат в своем составе примеси как легирующие, повышающие их эксплуатационные характеристики, так и остаточные, негативно сказывающиеся на свойствах сплава. В составе металла присутствуют такие элементы.

**Углерод.** Массовая доля этого элемента может составлять от 0,71 до 0,82 %, и от его процентного содержания напрямую зависит прочность сплава и его устойчивость к воздействию высоких температур.

**Марганец.** Доля в рельсовой стали составляет от 0,25 до 1,05 %. Свойства элемента позволяют повысить характеристики ударной вязкости сплава на 20–30 %.

**Кремний.** Благодаря присутствию в составе 0,18–0,40 % понижается процентное содержание кислорода.

**Ванадий.** Даже небольшое, в пределах 0,012–0,08 %, содержание этого элемента способствует повышению контактной прочности и предела выносливости.

**Азот.** Относится к вредным примесям, и его содержание в сплаве не должно превышать 0,07 %, так как его химические свойства препятствуют образованию карбидов ванадия, в результате чего результат от присутствия этого легирующего элемента сводится к нулю, а механические свойства сплава ухудшаются.

**Фосфор.** Допустимое содержание – не более 0,035 %, так как при большей массовой доле сохраняется твердость, но существенно возрастает хрупкость материала.

**Сера.** В случае присутствия в составе сплава более 0,045 % этой примеси возможно растрескивание металла даже при незначительной нагрузке.

В зависимости от процентного содержания серы и фосфора вся продукция разделяется на две группы. В первом случае раскисление (удаление нежелательных примесей) выполняется с применением ферросилиция или ферромарганца. Такой способ способствует снижению себестоимости конечного продукта, однако не позволяет добиться высокой чистоты сплава. Во втором случае удаление кислорода, серы и фосфора осуществляют с применением алюминия – благодаря высокой степени очистки такую продукцию обычно используют при прокладке железнодорожных путей на сложных или несущих повышенную нагрузку участках.

В таблице 1 дано описание наиболее востребованных марок рельсовой стали.

Таблица 1

Марка стали	Описание
76	Применяется для изготовления рельс Р50, Р65, Р75 и других типов для укладки ширококолейных путей, а их суммарная доля составляет до 75 % от общего объема проката этого вида. Максимальное содержание углерода в сплаве может достигать 0,82 %, кремния 0,45 % и марганца 1,05 %. Присутствие серы и фосфора ограничивается 0,04 и 0,035 %. Основные особенности рельсовой стали марки 76 – доступность и универсальность применения. Относительным недостатком является плохая свариваемость
76Ф	Основным отличием от предыдущей марки является присутствие в составе до 0,1 % ванадия. Такой сплав приобретает более высокие механические свойства, а изготовленные из него рельсы способны выдерживать высокие нагрузки и могут применяться при укладке путей, предназначенных для перемещения промышленного транспорта
М54	Обогащение марганцем существенно повышает ударную вязкость. Буква «М» указывает на мартеновский способ выплавки стали
К63	Содержит меньше углерода, но добавки никеля и хрома (до 0,3 %) повышают коррозионную стойкость и механическую выносливость. Способ выплавки стали – конверторный
К63Ф	Легирование ванадием позволяет таким рельсам переносить критические нагрузки

Российские рельсы – одни из лучших в мире. Однако японские, французские, шведские и канадские рельсы имеют значительно более низкий уровень собственных напряжений и большую чистоту рельсовой стали, а также прямолинейность. Поэтому для участков скоростного движения российских железных дорог рельсы закупаются.

#### Список литературы

1 Какой металл используют для рельсов [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [https://kzmc.kz/articles/kakoj\\_metal\\_l\\_ispolzujut\\_dlja\\_relsov/](https://kzmc.kz/articles/kakoj_metal_l_ispolzujut_dlja_relsov/). – Дата доступа : 07.02.2022.

2 Из какой стали делают рельсы [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://e-metall.ru/blog/svoystva-relsovoystali/>. – Дата доступа : 07.02.2022.

УДК 625.12:004.5

## ПРИМЕНЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ПРОГРАММЫ «GEO5 2022 – УСТОЙЧИВОСТЬ ОТКОСА» ДЛЯ РАСЧЕТА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ НАСЫПЕЙ

*А. С. ЛАПУШКИН*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В учебном и производственном процессах возникают задачи определения коэффициента устойчивости насыпей на подходах к мостам и путепроводам. Ручной расчет по методам, предложенным Г. М. Шахунянцем и другими учеными в данной области, имеет очень большую трудоемкость. Поэтому в области проведения данных расчетов было бы уместно использование программного обеспечения, которое позволило бы в автоматизированном режиме проводить данные процедуры с наименьшими затратами труда. На основании проведенного мониторинга можно полагать, что такой программой может выступать «GEO5 2022 – устойчивость откоса».

Таким образом, была протестирована демонстрационная версия «GEO5 2022». Такая версия имеет ограничения в выводе файла на печать и сохранении полученных результатов. Ограничения по функционалу программы в плане инженерных расчетов отсутствуют, что позволяет использовать данную программу в качестве вспомогательной единицы.

Работа в программе начинается с установки режима 2D – основного режима проектирования, на основании которого производится разбиение на участки поперечного профиля насыпи, участкам присваиваются определенные характеристики грунтов, задаются поездные нагрузки и нагрузки от веса верхнего строения железнодорожного пути, уровень поднятия воды и кривая обрушения.

Перед производством расчетов необходимо подготовить САД-файл для его импорта в среду автоматизированной программы и создания на его основании эскиза (эскиз может быть очерчен и внутренними инструментами программы без внедрения САД-файла), с которым планируется дальнейшая работа.

В качестве среды для создания CAD-файла была выбрана программа AutoCAD 2019. Рабочее окно программы «GEO5 2022 – устойчивость откоса» с загруженным CAD файлом представлено на рисунке 1.

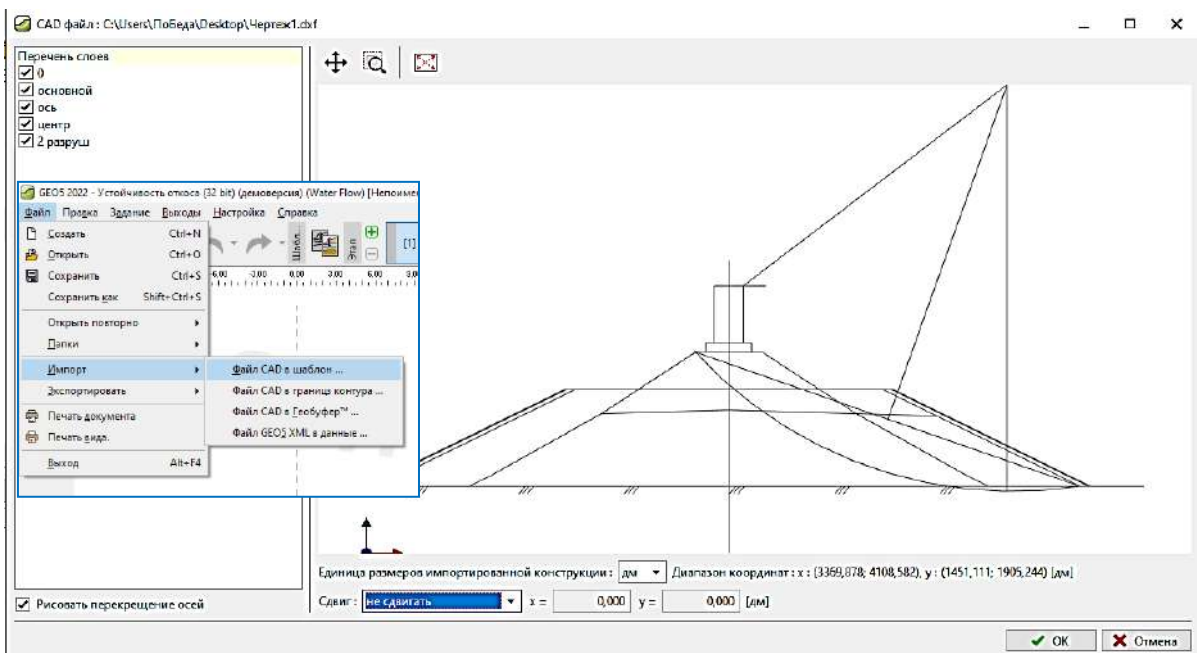


Рисунок 1 – Процедура загрузки CAD-файла

Далее в CAD-файле устанавливаются диапазоны и добавляются границы контура. При определении границ контура применяется встроенная функция отметки и закрепления точек, через которые должна проходить обозначаемая граница. После подтверждения процедуры добавления границ контура контур автоматически разбивается на области. Эти области нумеруются с использованием встроенного счетчика областей. Ввод и правка данных характеристик производятся в диалоговом окне «Грунты». Для этого для каждого наименования грунта тела насыпи вводятся название и параметры. За базовые вводимые данные принимаются удельный вес, напряженное состояние, угол внутреннего трения и удельное сцепление грунта.

После привязки грунтов к областям поперечного профиля насыпи необходимо создать условия нагружения весом верхнего строения железнодорожного пути и подвижного состава, обращающегося по заданному участку с учетом динамики его движения. Процедура нагружения представлена на рисунке 2.

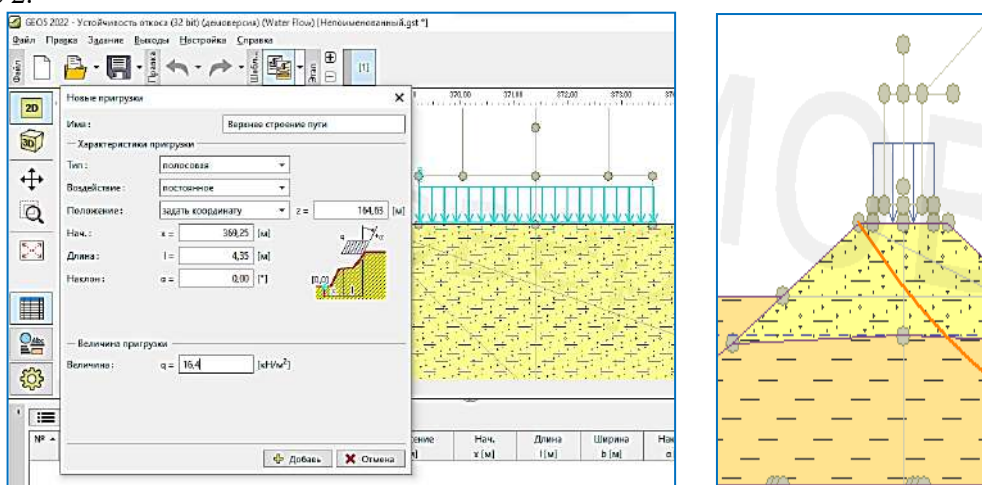


Рисунок 2 – Диалоговое окно ввода характеристик нагружения весом верхнего строения железнодорожного пути и подвижного состава

На основании всех введенных данных был произведен расчет тела насыпи с реальными характеристиками при увеличении поездной нагрузки от 23 до 30 т/ось. Графическое представление результатов расчета тела насыпи по методу Г. М. Шахунянца под нагрузкой 23 т/ось приведено на рисунке 3.

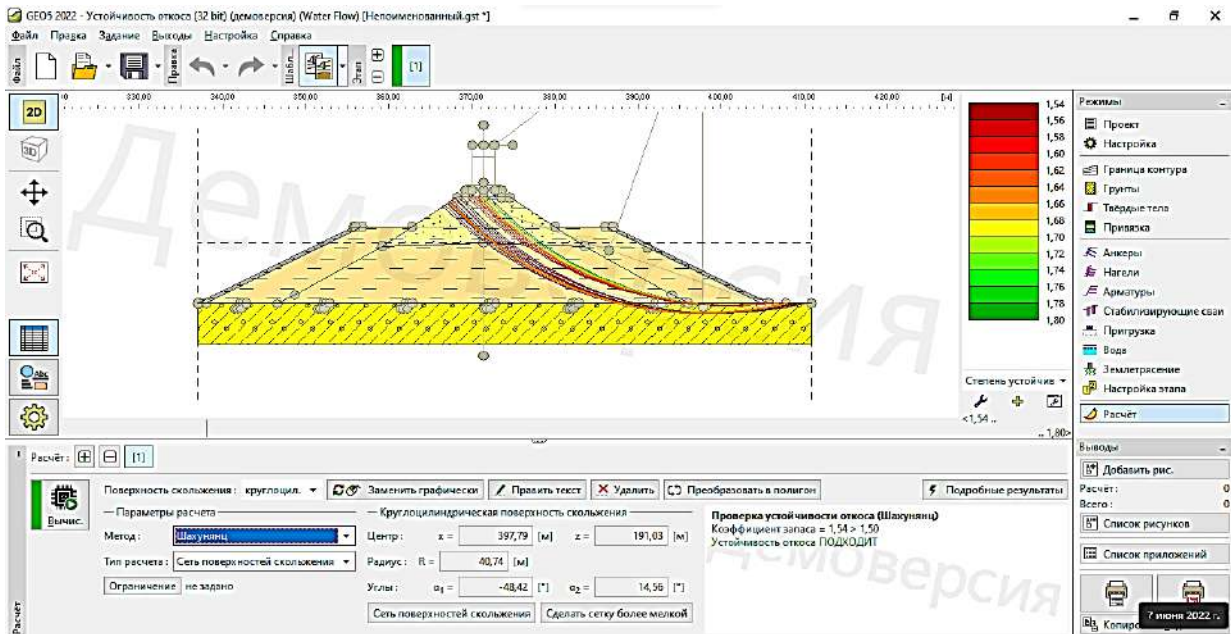


Рисунок 3 – Расчет коэффициента устойчивости насыпи при воздействии поездной нагрузки 23 т/ось

На основании полученных данных можно построить диаграмму зависимости коэффициента устойчивости от поездной нагрузки (рисунок 4).

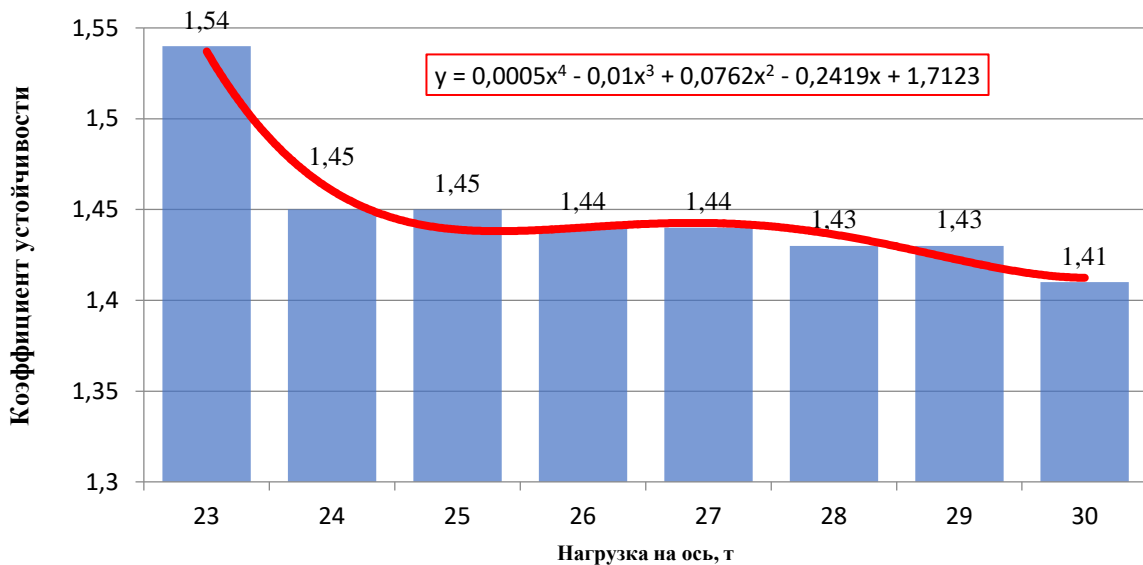


Рисунок 4 – Функция, описывающая зависимость коэффициента устойчивости от повышения поездной нагрузки

Анализ полученной зависимости показывает, что снижение коэффициента устойчивости происходит при повышении осевых нагрузок. Также была выведена функция, показывающая зависимость коэффициента устойчивости от повышения осевой нагрузки на основании изменения параметра «Интенсивность поездной нагрузки».

Можно сделать вывод о том, что метод, включающий в себя построение 2D модели поперечного профиля земляного полотна пойменной насыпи на подходах к мостам и путепроводам в программе AutoCAD 2019 может быть использован в совокупности с возможностями автоматизированной

программы «GEO5 2022 – устойчивость откоса». При этом можно достичь эффективности в учебном и производственном процессах за счет повышения автоматизации построений и расчетов, а также за счет снижения трудоемкости. Таким образом, высвобождается время инженерного работника на решение других прикладных задач и снижается влияние человеческого фактора на полученные результаты.

УДК 625.033.37

## ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ РАЗМЕРОВ НА НАДЕЖНОСТЬ РАБОТЫ ПРУЖИННЫХ ПРУТКОВЫХ КЛЕММ В СОСТАВЕ УЗЛА РЕЛЬСОВОГО СКРЕПЛЕНИЯ

*А. С. ЛАПУШКИН, В. В. КОМИССАРОВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Пружинные прутковые клеммы являются важным элементом в обеспечении стабильности рельсовой колеи при прохождении подвижного состава и воздействии температурных факторов в плетях бесстыкового пути. Качественную упругую работу клемм обеспечивают их геометрическая форма и размеры, а также такие показатели, как жесткость, твердость, химический состав и микроструктура материала. Немаловажной является оценка качества поверхности, поскольку некоторые повреждения на этапе производства могут приводить к зарождению усталостных трещин и, как следствие, к изломам клемм. Стоит отметить, что помимо всех перечисленных факторов работа клемм напрямую зависит от правильно выполненного монтажа и исходного состояния. Согласно нормативной документации клеммы не должны иметь остаточной деформации более 2 мм, однако любая остаточная деформация, проявившаяся относительно первоначальной геометрической формы клеммы, влияет на значение усилия прижатия. Например, увеличение размеров в вертикальной плоскости приводит к снижению усилия прижатия, так как в данной плоскости происходит подъем прижимающей части клеммы в монтажное положение. Изменение размеров в горизонтальной плоскости приводит к усложнению процедуры съема-установки с увеличением напряжений в металле, что является предпосылкой появления опасных сечений. При дальнейшей эксплуатации это может существенно снизить срок службы элемента, при том, что на участок железнодорожного пути длиной 100 м устанавливается 736 или 800 клемм в зависимости от количества шпал на 1 км пути 1840 или 2000 шт. соответственно. При этом частая смена клемм на новые увеличивает затраты на текущее содержание железнодорожных путей, поскольку сюда включается стоимость материала и работ по монтажу и демонтажу. Исходя из всех вышеперечисленных обстоятельств вывод о разработке первичных методов прогнозирования работоспособного состояния клемм очевиден.

В спектр показателей по определению работоспособности следует включить показатели напряженно-деформируемого состояния, вибрационные показатели, геометрические параметры и условия монтажа.

В процессе эксплуатации в первую очередь важно контролировать геометрические размеры клемм (рисунок 1). При этом, чтобы учесть влияние остаточной деформации, важно контролировать первоначальный размер Б (размер от базовой поверхности до рабочей поверхности прижимающей части), от которого зависит усилие прижатия.

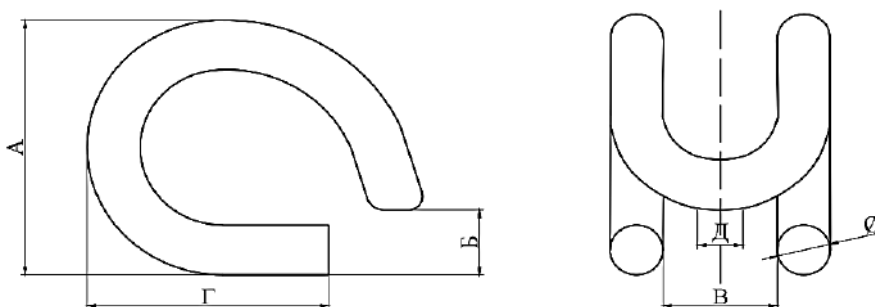


Рисунок 1 – Основные геометрические размеры пружинной прутковой клеммы



Зависимость усилия прижатия от размера Б в зоне монтажного прижатия для клемм представлена в виде графика (рисунок 2). Зависимость построена по результатам расчетно-экспериментального анализа клемм, снятых с путей Белорусской железной дороги.

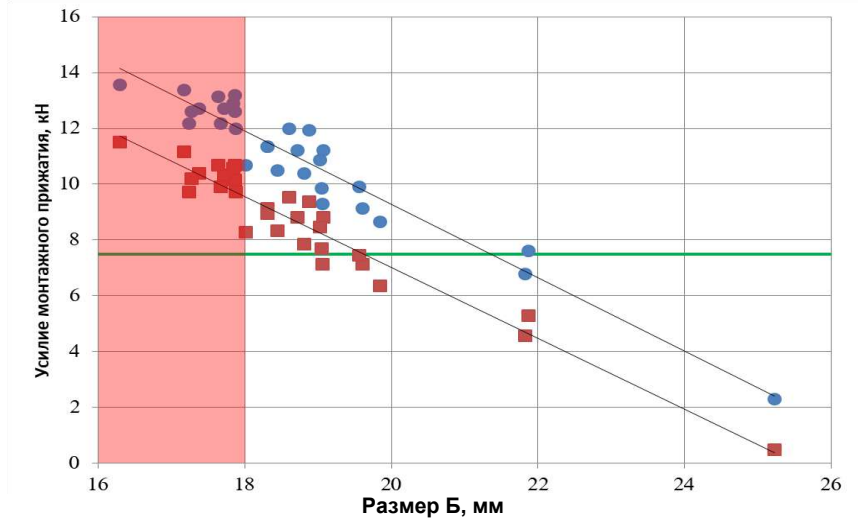


Рисунок 2 – Зависимость усилия прижатия клемм от размера Б

Анализ полученных зависимостей показывает, что в случае обеспечения нахождения размера Б в соответствующем требуемом конструкторской документацией диапазоне (16–18 мм, выделенная зона на рисунке 2) усилие монтажного прижатия будет выше нормативного значения вне зависимости от срока эксплуатации клемм. Видно также, что критичным является размер Б порядка 19 мм, после превышения которого (в случае использования обычного изолятора) уже происходит снижение нормируемого усилия прижатия.

Зависимость усилия прижатия от пропущенного тоннажа в случае использования широкого изолятора, построенная по результатам выполненного расчетно-экспериментального анализа, представлена на рисунке 3.

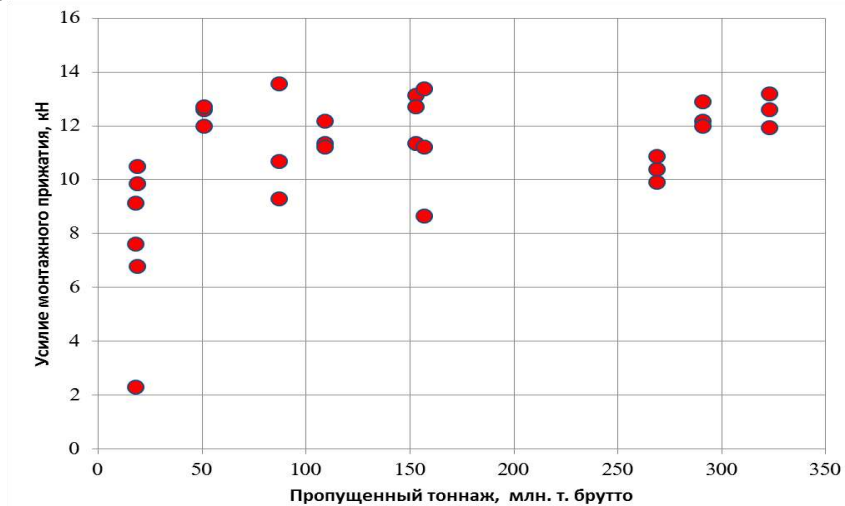


Рисунок 3 – Зависимость усилия прижатия от пропущенного тоннажа

Из рисунка 3 видно, что усилия прижатия находятся, как правило, в диапазоне 8–14 кН. Зависимость снижения усилия прижатия при увеличении пропущенного тоннажа на данном этапе исследований не выявлена. Однако снижение усилия прижатия наблюдается у клемм с малой наработкой. Это, по-видимому, обусловлено выборкой образцов клемм как из «дышащих» участков рельсовых плетей, так и из середины, а также проводимой процедурой монтажа-демонтажа при производстве сезонных путевых работ по текущему содержанию железнодорожного пути.

## ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАБОТЫ СЛУЖБ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЛЕТОВ С ЦЕЛЬЮ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ АВИАЦИОННЫХ ПРОИСШЕСТВИЙ

*А. С. ЛЮЕВ, М. Н. МАНУЙЛОВ*

*Белорусская государственная академия авиации, г. Минск*

Подготовку средств наземного обслуживания общего применения к работе, проверку технического состояния, укомплектование оборудованием, приборами, средствами пожаротушения, инструментом, расходным материалом, проведение регламентных и других видов работ, контрольных осмотров и оформление документации проводит личный состав авиационной базы.

О подготовке и допуске к применению средств, топлива, масла, специальных жидкостей и газов на авиационной технике должностные лица авиационной базы делают отметку в путевом листе, журнале учета работы средств, паспорте и контрольном талоне.

Проверку паспортных данных качества и пригодности кислорода проводят начальник автомобильной и электрогазовой службы и начальник медицинской службы авиационной базы.

Подаваемые для обслуживания авиационной техники (на полеты, для выполнения регламентных и других видов работ и проверок) средства подвергаются аэродромному контролю инженерно-технической службой.

В авиационной базе контроль качества и допуск к заправке воздушного судна горючим, маслами, специальными жидкостями и газами производится заместителем командира авиационно-технической части, начальником (помощником) службы горючего и смазочных материалов, начальником склада горючего, начальником лаборатории горючего и смазочных материалов, начальником (помощником) автомобильной и электрогазовой службы, начальником кислорододобывающей станции, начальником группы газообеспечения.

Заправка воздушного судна производится после того, как техник воздушного судна убедится, что в контрольном талоне есть письменное разрешение должностных лиц согласно требованиям служебных документов на заправку, и проверит заземление самолета, заземление заправщика, заземление пистолета включением штыря с тросом в заземляющее гнездо воздушного судна.

Наиболее характерными опасными факторами в инженерно-авиационном обеспечении являются:

- несоответствие организационно-штатной структуры инженерно-авиационной службы некоторых подразделений, частей, соединений и объединений объему и сложности решаемых задач;
- неудовлетворительное обеспечение запасными частями и агрегатами, что приводит к значительному возрастанию количества монтажно-демонтажных работ в связи с необходимостью использования для восстановления исправности АТ агрегатов, снятых с простаивающих самолетов;
- сворачивание работ по выполнению доработок авиационной техники, направленных на повышение ее надежности по причине отсутствия финансирования;
- отвлечение специалистов инженерно-авиационной службы на выполнение работ по хранению сверхштатной авиационной техники, а также на выполнение задач, не связанных с эксплуатацией авиатехники;
- критическое снижение запаса ресурса (срока службы) некоторых типов авиационной техники, что обуславливает определенную степень риска в оценке технического состояния воздушного судна и т. д.

К основным общим мероприятиям по предупреждению ошибочных (неправильных) действий инженерно-технического состава относятся:

- изучение психофизиологических особенностей труда специалистов инженерно-авиационной службы, причин допускаемых ими ошибок, отработка и реализация мероприятий по их предотвращению;
- изучение конструкции и правил эксплуатации авиационной техники, наиболее опасных и часто повторяющихся конструктивных и производственных недостатков, методов предотвращения отказов авиационной техники;
- изучение эргономических недостатков эксплуатируемой авиатехники и реализация мер по устранению их влияния на качество работ;
- постоянное совершенствование системы контроля полноты и качества выполнения работ на авиационной технике;
- жесткий контроль за использованием при эксплуатации авиационной техники только исправной контрольно-проверочной аппаратуры и инструмента, а также применением предусмотренных эксплуатационной документацией расходных и горюче-смазочных материалов;

- обеспечение соответствия объема и сложности выполняемых на авиатехнике работ имеющимся силам, средствам, а также уровню профессиональной подготовки инженерно-технического состава;
- использование средств объективного контроля для оценки полноты и качества подготовки авиационной техники к полетам с документированием и анализом результатов;
- оперативное и объективное информирование авиаспециалистов при проведении специальных занятий об опасных факторах, выявленных в других частях на однотипной авиационной технике, а также недостатках в организации ее эксплуатации, выработка и реализация эффективных мероприятий по их устранению.

Наиболее часто повторяющимися опасными факторами в аэродромно-техническом обеспечении полетов являются:

- неудовлетворительное содержание и подготовка взлетно-посадочных полос (далее – ВПП), рулежных дорожек, централизованных заправок, мест стоянок и других объектов аэродромов к полетам;
- нарушения в организации приема, хранения и контроля качества материальных средств, прежде всего, горючего и смазочных материалов;
- недостатки в эксплуатации средств аэродромно-технического обслуживания воздушных судов и в работе зарядно-аккумуляторных станций;
- повреждения (поломки) воздушных судов в результате движения и маневрирования на аэродроме средств наземного обеспечения полетов;
- дорожно-транспортные происшествия на аэродроме по вине личного состава;
- отказы в электроснабжении аэродрома в процессе полетов.

Предотвращение указанных опасных факторов осуществляется:

- своевременным и качественным ремонтом искусственных покрытий ВПП, рулежных дорожек, мест стоянок и грунтовой части летной полосы;
- выполнением маркировки элементов летного поля и полос воздушных подходов;
- строгим контролем за содержанием боковых и концевых полос безопасности, технической исправности и правильности размещения аэродромных аварийных тормозных установок и состояния площадок аварийного торможения за ними;
- соблюдением методики подготовки и приема аэродрома к полетам;
- выполнением аэродромного контроля (проверка состояния средств заправки и фильтрования, слива отстоя, контроль чистоты горючего и документальная проверка его качества);
- соблюдением технологической схемы обеспечения чистоты авиационного горючего на складах; исключением случаев подачи к заправке воздушных судов некондиционных топлива, масел, спецжидкостей и газов;
- соблюдением технологии дозирования противокристаллизационных жидкостей в топливо, правил приготовления маслосмесей, технологии контроля их качества перед заправкой воздушного судна;
- исключением случаев нарушения технологии регламентных работ на бортовых авиационных аккумуляторах на зарядно-аккумуляторных станциях, а также порядка приема и выдачи их с зарядно-аккумуляторных станций;
- знанием и соблюдением маршрутов движения личного состава и техники по летному полю аэродрома, правил подъезда, маневрирования, буксировки и установки средств наземного обеспечения у воздушных судов.

УДК 656.2

## **К ВОПРОСУ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ НАХОЖДЕНИЯ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА НА СТАЦИОННЫХ ПУТЯХ**

*Н. Н. МАЗЬКО, Я. А. НЕЧАЕВА*

*Самарский государственный университет путей сообщения, Российская Федерация*

Достижение высокого уровня безопасности движения, который соответствует статусу холдинга, занимающего лидирующую позицию среди железных дорог мира в части безопасности предоставляемых услуг инфраструктуры, безопасности и надежности всех процессов – стратегическая цель ОАО «Российские железные дороги».

Одним из наиболее важных вопросов, связанных с безопасностью движения поездов на железнодорожном транспорте, является обеспечение надежного закрепления подвижного состава для предотвращения его самопроизвольного выхода со станционных путей.

На данный момент все существующие устройства для закрепления подвижного состава делят на три группы. Первая – использование специального вогнутого трехэлементного профиля станционных путей (с противоклонами 1,5–2,5 ‰). Вторая – тормозные башмаки и упоры. Данная группа устанавливается вручную. Третья – стационарные устройства, которые приводят в действие с помощью механизмов.

Самый простой и распространенный способ закрепления вагонов – ручные тормозные башмаки, укладываемые под колеса стоящего вагона. Основной недостаток данного метода – необходимость применения ручного труда. Башмак устанавливается методом наката. В момент наезда колеса на полз составитель по радиосвязи дает команду машинисту на остановку. Если не отработать эту задачу с должным вниманием, не произведя в нужный момент торможение, возможен перекаат колесной пары через башмак и сход с рельсов.

Механизированные устройства закрепления подвижного состава на путях значительно эффективнее ручных устройств. Их использование дает наибольший экономический и социальный эффект. Основными требованиями, предъявляемыми к таким устройствам, являются надежность работы, возможность организации местного или дистанционного управления, сравнительно небольшая стоимость и простота монтажа в пути.

На станции Кряж, которая является грузовой станцией Куйбышевской железной дороги 1-го класса, основной проблемой являются значительные уклоны на приемо-отправочных путях. Закрепление составов поездов на путях производится большим количеством тормозных башмаков. С целью снижения времени на закрепление подвижного состава, обеспечения безопасности работы на станции возможна установка закрепляющих устройств на приемо-отправочных путях.

В устройстве ЗУБР (заграждающее устройство балочное рычажное) основным исполнительным элементом являются пружинные блоки, закрепленные на балках, которые приводятся в рабочее положение электрогидравлическим приводом. Данное устройство было протестировано в 2011 году на станции Елец Юго-Восточной железной дороги. Отсутствие риска выдавливания колесных пар порожних вагонов из устройства позволило существенно повысить усилие удержания, которое превышает 5 т/с на одну тележку. Срок службы ЗУБР составляет не менее 12 лет. Устройства оказывают силовое воздействие на колеса подвижного состава изнутри колеи, в конструкции отсутствуют механические детали между колесом и рельсом.

Применение заграждающих и закрепляющих устройств снижает количество персонала, находящегося в зоне маневровых работ. Это уменьшает риск травматизма, исключает влияние человеческого фактора на ритмичность работы, снижает затраты на содержание персонала и организацию необходимых условий труда.

Наличие системы контроля положения и автоматической системы управления позволяет использовать устройства в проектах цифровых автоматизированных станций.

Работа ЗУБР не зависит от погодных условий, рабочие значения температуры наружного воздуха – от минус 45 до плюс 40 °С. Устройства имеют системы дистанционного управления и контроля положения, благодаря чему могут быть интегрированы в цифровую автоматизированную систему управления станцией.

Конструкция ЗУБР очень проста, устройства малообслуживаемы. После перевода в рабочее положение устройство выполняет работу, не потребляя энергии. При отсутствии электропитания или неисправности гидростанции устройство переводится из закрытого в открытое положение при помощи ручного насоса. Имеется аварийный механический привод [1, 2].

Область применения заграждающих и закрепляющих устройств не ограничивается станционными путями. Они могут применяться для предотвращения несанкционированного выхода подвижного состава за территорию предприятий, в том числе на железнодорожные переезды автомобильных дорог, на магистральные пути, для предотвращения аварий, связанных с уходом вагонов на естественных уклонах путей на территории предприятий и во многих других ситуациях.

Удерживающее весовое устройство (УВУ), основанное на весовом принципе работы, было разработано СЗАО «Электромеханический завод» для приемо-отправочных (сортировочно-отправочных) путей.

Управление устройством возможно осуществлять как вручную со шкафа управления, расположенного рядом с устройством в междупутье, так и с пульта оператора или дежурного по парку. Поскольку всей аппаратурой управляет контроллер, это позволяет интегрировать управление в имеющуюся централизацию парка или всей станции и осуществлять автоматическое управление.

В связи с наличием весового принципа работы перед монтажом устройства УВУ необходима подготовка небольшого котлована с укладкой железобетонных ригелей по ширине колеи, чтобы неподвижные элементы, образующие опорную часть, не проседали в балласте.

УВУ способен обеспечивать минимально допустимые перепады высот и безопасность проезда поездов по стыкам. Для повышения надежности поднятого положения ходовых рельсов устройства гидравлические цилиндры через один подключены к двум гидравлическим линиям. При повреждении или утечке в одной линии или отказе одного гидроцилиндра работать будут соседние и далее через один. Срок службы – не менее 15 лет [3].

Сравнивая характеристики, можно отметить, что усилие удержания, приходящееся на одну тележку вагона, у УВУ значительно больше, чем у ЗУБР – 15 тс против 6 тс. Также УВУ является более долговечным механизмом.

Для оснащения приемо-отправочных путей станции Кряж устройствами ЗУБР необходимо в общей сложности установить 15 устройств, а устройств УВУ достаточно и девяти.

Ввод в эксплуатацию закрепляющих устройств, вместо башмаков, позволит снизить вероятность возникновения рисков ухода подвижного состава с путей станции и возникновения соответствующих расходов по устранению последствий столкновений подвижного состава, крушений и сходов.

Экономический эффект достигается за счет возможности применения закрепляющего устройства на железнодорожных путях любого типа, при механизации и автоматизации процесса закрепления, а также исключения человеческого фактора и снижения аварийности на железнодорожном транспорте.

#### Список литературы

1 Пат. № 2674287 С1 Российская Федерация, МПК В61К 7/16, В61К 7/02, В61К 7/08. Заграждающее устройство балочное рычажное (ЗУБР) / В. А. Тиссен, А. А. Коротковских ; заявитель ООО «Машзавод» : № 2018110003 : заявл. 21.03.2018 ; опубл. 06.12.2018

2 Пат. № 2757509 С1 Российская Федерация, МПК В61К 7/02, В61К 7/08, В61Н 7/12. Заграждающее устройство балочное рычажное весовое (зубр весовой) / В. А. Тиссен, В. П. Чаевский, А. Г. Сахаров, А. А. Коротковских ; заявитель ООО «Машзавод» : № 2021107662 ; заявл. 23.03.2021 ; опубл. 18.10.2021

3 **Негрей, В. Я.** Современные подходы к обеспечению безопасности нахождения подвижного состава на станционных путях / В. Я. Негрей, С. А. Пожидаев, Е. А. Филатов // Проблемы безопасности на транспорте : материалы VII Международ. науч.-практ. конф. (Гомель, 26–27 ноября 2015 г.). – Гомель : БелГУТ, 2015. – С. 146–148.

УДК 625.143.543

## ПРЕДПОСЫЛКИ МОДЕРНИЗАЦИИ ЗВЕНОСБОРОЧНОЙ ЛИНИИ КБ03 ДЛЯ СБОРКИ РЕЛЬСОШПАЛЬНОЙ РЕШЕТКИ С ПРОМЕЖУТОЧНЫМ РЕЛЬСОВЫМ СКРЕПЛЕНИЕМ ТИПА PANDROL И VOSSLOH

*С. А. МАКАРУК*

*Путевая машинная станция Барановичи – структурное подразделение  
РУП «Ремпуть Белорусской железной дороги»*

*А. С. ЛАПУШКИН*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В связи с особенностями строительства и эксплуатации железных дорог в странах постсоветского пространства принята звеньевая технология сборки и укладки рельсошпальной решетки (далее – РШР) (с применением укладочных кранов УК-25/9-18, УК-25СП, КЖДЭ и др.), при этом на участках производства работ ведутся только монтажные и выправочно-отделочные работы. Доставка со-

бранных звеньев РШР к месту работ производится на специальном подвижном составе [1]. Работы по сборке, демонтажу и ремонту звеньев РШР вынесены с фронтов производства работ на стационарные производственные базы путевых машинных станций.

С развитием путевого хозяйства значительно возросла потребность в росте производственных мощностей ПМС, в том числе в количестве собираемых звеньев РШР. Для повышения производительности труда и уровня механизации сборки РШР специализированными конструкторскими предприятиями стали разрабатываться и внедряться в производство звеносборочные линии. В 2012 году в структурном подразделении Путевая машинная станция Барановичи РУП «Ремпуть Белорусской железной дороги» была построена и введена в эксплуатацию полуавтоматическая поточная звеносборочная линия КБ03, предназначенная для сборки РШР колеи 1520 мм на железобетонных шпалах на рельсах типов Р65/Р50 со скреплением типа СБ-3/КБ и эпюрой 1840/2000 шпал/км [2].

В настоящее время на Белорусской железной дороге восстановительный ремонт железнодорожных путей на новых материалах осуществляется преимущественно на скреплении типа СБ-3, поскольку оно имеет ряд преимуществ: состоит из малого числа деталей, позволяет пропускать поезда с установленными скоростями, удобно в использовании.

Ввиду того, что современная стратегия развития путевого хозяйства диктует потребность в повышении скоростей движения поездов и массы перевозимых грузов, вопрос использования новых типов скреплений в конструкции железнодорожного полотна, позволяющих решить поставленные задачи, становится всё более актуальным.

Анализ современных типов рельсовых скреплений показал, что для решения поставленных задач наиболее рациональным решением является использование рельсовых скреплений Pandrol Fastclip (Пандрол Фастклип) (рисунок 1) и Vossloh (Фоссло) (рисунок 2).

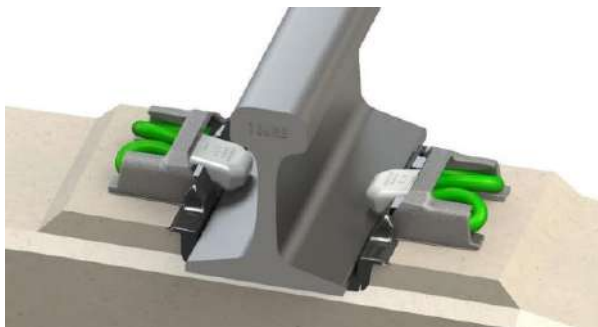


Рисунок 1 – Рельсовое скрепление Pandrol



Рисунок 2 – Рельсовое скрепление Vossloh

Основные достоинства данных рельсовых скреплений следующие: не имеют резьбовых соединений, что исключает необходимость в смазке и подтяжке (снижаются затраты на текущее содержание), имеют меньшую металлоемкость, высокую динамическую виброустойчивость, обеспечивают высокое сопротивление продольному сдвигу, оптимальны в соотношении цена/качество, обеспечивают меньший отжим головки рельса и изменение подуклонки под нагрузкой, а также лучшую стабильность ширины колеи [3, 4]. Модернизация звеносборочной линии КБ03 под скрепления Pandrol и Vossloh позволит увеличить производственные мощности ПМС по сборке РШР с данным типом скреплений, а также увеличить уровень механизации труда.

#### Список литературы

- 1 Современные методы сборки путевой решетки / В. Л. Моисеенко [и др.] // Горная механика и машиностроение. – 2019. – № 3. – С. 66–74.
- 2 Технологический комплекс для сборки звеньев железнодорожного пути с железобетонными шпалами. Руководство по эксплуатации КБ03-00.000 РЭ / Барановичский завод автоматических линий. – 2011. – 229 с.
- 3 Pandrol [Электронный ресурс] : [официальный сайт]. – Режим доступа : <https://www.pandrol.com>. – Дата доступа : 07.02.2022.
- 4 Vossloh [Электронный ресурс] : [официальный сайт]. – Режим доступа : <https://www.vossloh.com>. – Дата доступа : 07.02.2022.

## ДЕФЕКТЫ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ШПАЛ

*П. А. МАКСЮТКИН, Л. С. КУЩЕНКОВА*

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

С 1957 года в России началось массовое изготовление железобетонных шпал.

Железобетонные шпалы имеют вид рельсовой опоры. Для их изготовления потребуются брусья с меняющимися размерами и формами сечения. Бетонные рельсовые опоры армируются стальной проволокой, диаметр которой зависит от модификации.

Железобетонные шпалы по дефектности подразделяют на две группы: первую и вторую. К шпалам первой группы относят шпалы, не имеющие дефектов и повреждений. К шпалам второй группы относят шпалы с дефектами первой степени развития.

Цифровое обозначение (код) дефекта включает номер группы дефектов и (после точки) степень развития дефекта (первая или вторая).

Установлены следующие группы дефектов:

- 1 – поперечные трещины и изломы;
- 2 – продольные трещины и расколы;
- 3 – околы и износ бетона;
- 4 – разрушение и износ структуры бетона;
- 5 – износ и повреждения закладных деталей в шпале.

Причины возникновения дефектов шпал в эксплуатации: необнаружение проявленных скрытых дефектов изготовления шпал; под действием эксплуатационных и климатических факторов изменение рабочих свойств шпал.

К негодным шпалам относят все шпалы с дефектами второй степени развития. Дефектные (негодные) железобетонные шпалы, не обеспечивающие стабильное положение рельсовой колеи, учитываются по кодам 11.2, 12.2, 13.2, 21.2.

Дефекты № 22 и 41 являются заводскими недостатками при изготовлении шпал.

Оценку состояния шпал производят визуально. В необходимых случаях после удаления с поверхности шпал загрязнителей или слоя балласта оценку состояния шпал определяют с использованием измерительных приборов.

Железобетонные шпалы с дефектами делятся на негодные, требующие замены, и дефектные, подлежащие ремонту.

К негодным шпалам относятся шпалы:

- с трещинами шириной более 5 мм, проходящими через оба отверстия для втулок или закладных болтов;
- имеющие сколы у отверстия под втулки или закладные болты;
- с разрушением бетона в подрельсовой части, имеющие разрывы арматуры.

В зависимости от состояния шпал при очередном подъемочном или среднем ремонтах пути шпалы с дефектами, превышающими первую степень, в главных и станционных путях следует заменять.

Шпалы с дефектами второй степени, лежащие во всех видах путей, должны заменяться при текущем содержании пути в максимально короткие сроки.

Железобетонные шпалы первой группы дополнительной маркировке не подлежат, шпалы второй группы обозначают поперечной полосой, наносимой красной краской в средней части шпалы.

Негодные шпалы обозначают двумя поперечными полосами, наносимыми черной краской в средней части шпалы, они изымаются из пути в первоочередном порядке, и определяется причина появления дефекта.

При капитальном или других видах ремонта все железобетонные шпалы, снимаемые с пути, обследуются, и в зависимости от их состояния относят либо к годным для повторного применения, либо к негодным.

Техническое состояние и сортировка старогодных железобетонных шпал и брусьев на годные и негодные для повторного использования оценивается визуально: после удаления с поверхности шпал загрязнений и с применением измерительных инструментов – штангенциркуля, металлической линейки.

Годные для применения старогонные железобетонные шпалы и брусья могут быть использованы для повторной укладки в путь.

Железобетонные шпалы в пути осматриваются два раза в год: весной и осенью. Обнаруженные дефекты отмечаются черной полосой шириной 10 см поперек верхней постели шпал по оси пути и заносятся в книгу учета по форме ПУ-1, которая находится у дорожного мастера. В нее записываются километр и пикет, где лежит обнаруженная дефектная шпала, и ее номер. Шпалы нумеруют на звеньевом пути в пределах звена (например, 167 км, пикет 3, звено 3, шпала 5), а на бесстыковом пути – от начала пикета (например, 167 км, пикет 3, шпала 49). В книге отмечаются типы шпал и рельсов, завод-изготовитель и год укладки шпалы, дата обнаружения дефекта, номер дефекта, степень дефектности (если шпала подлежит замене, то в этой графе указывается: негодная), положение шпалы в звене (стыковая или промежуточная), дата и вид ремонта дефектной шпалы, дата ее замены. Негодные одиночные шпалы заменяются при текущем содержании пути. В тех случаях, когда обнаружены две и более дефектные шпалы, лежащие подряд, их заменяют немедленно.

Причины изъятия шпал из пути дорожный мастер записывает в «Ведомость железобетонных шпал, снятых с пути вследствие изломов и дефектов». «Книгу учета дефектных железобетонных шпал, лежащих в пути» и «Ведомость железобетонных шпал, снятых с пути вследствие изломов и дефектов» дорожный мастер ежегодно 5 ноября направляет начальнику дистанции для составления анализа по железобетонным шпалам. Данные анализа показывают, сколько шпал имеют пороки и какой их удельный вес, какой процент ко всему количеству негодных составляют стыковые и промежуточные дефектные шпалы, число пораженных пороками шпал различных заводов-изготовителей.

В результате наблюдений за работой железобетонных шпал в пути составлена классификация дефектов. Согласно этой классификации каждому дефекту присвоен определенный номер, который состоит из двух цифр: первая цифра указывает группу, а вторая – номер дефекта в этой группе.

**Первая группа:**

- трещины и изломы подрельсовой части шпалы (11.1, 11.2);
- поперечные трещины с раскрытием до 1 мм и излом шпалы в средней части с разрушением бетона (12.1, 12.2).

**Вторая группа:**

- продольные трещины и расколы через отверстия для закладных болтов, дюбели или анкеры (21.1, 21.2);
- продольные трещины или раскол в бетоне, проходящие через ряды напряженной арматуры (22.1, 22.2).

**Третья группа:**

- дефекты по отколам бетона в разных местах шпал (31.1, 31.2);
- околы бетона на ребрах и плоскостях шпалы глубиной не более 60 мм (32.1, 32.2).

**Четвертая группа:**

- разрушение и износ структуры бетона (41.1, 41.2);
- местная и неравномерная выработка (износ) бетона на глубину от 2 до 5 мм на подрельсовых площадках (42.1, 42.2).

**Пятая группа:**

- износ и повреждения закладных деталей в шпале (51.1, 51.2);
- провертывание закладного болта при завинчивании гайки (52.1);
- невозможность завинчивания гайки закладного болта из-за провертывания этого болта в отверстии шпалы (52.2);
- загрязнение каналов в шпалах засорителями, затрудняющими извлечение и установку закладных болтов (53.1);
- невозможность извлечения из шпалы поврежденных закладных болтов вследствие затвердения засорителей в каналах шпалы (53.2).

**Список литературы**

1 Инструкция по введению шпального хозяйства с железобетонными шпалами : утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 12 февраля 2014 г. № 380р [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.tdesant.ru/info/item/270>. – Дата доступа : 06.09.2022.



2 Технические условия на работы по реконструкции (модернизации) и ремонту железнодорожного пути : утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 18.01.2013 г. № 75р [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.tdesant.ru/info/item/43>. – Дата доступа : 06.09.2022.

3 Якунин, В. И. Надежное основание для безопасности, долговечности, скорости / В. И. Якунин // Евразия Вести. – 2012. – VIII.

4 Железобетонные шпалы. История и современность. Технологии будущего – новые решения в производстве железобетонных шпал [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [https://www.beteltrans.ru/history/history\\_788.html](https://www.beteltrans.ru/history/history_788.html). – Дата доступа : 06.09.2022.

5 Фадеева, Г. Д. Железнодорожные шпалы: настоящее и будущее / Г. Д. Фадеева, К. С. Паршина, Е. В. Родина // Молодой ученый. – 2013. – № 6. – С. 161–163.

УДК 625.111

## ОСОБЕННОСТИ ВОДОПОНИЖЕНИЯ НА СТАНЦИЯХ ТРЕТЬЕЙ ЛИНИИ МИНСКОГО МЕТРОПОЛИТЕНА

*К. С. МАЛАЩЕНКО, Н. М. СТЕЛЬМАХ*

*ОАО «Минскметропроект», г. Минск, Республика Беларусь*

*Н. В. ДОВГЕЛЮК*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

От чёткости и надёжности работы транспорта во многом зависят трудовой ритм предприятий, настроение людей, их работоспособность. Метрополитен – самый массовый вид городского пассажирского транспорта на сегодняшний день. Каждый житель города, где есть метрополитен, неизбежно становится его пассажиром.

В осуществлении планов социально-экономического развития города Минска значительную роль играет Минский метрополитен. Он позволяет не только осуществлять массовые перевозки между районами города, но и разгрузить транспортные магистрали.

При строительстве метрополитенов важное значение имеет понижение уровня грунтовых вод [1]. Представляет интерес последовательность проведения водопонижения на будущих станциях при строительстве 3-й линии Минского метрополитена.

Участок строительства станции, например «Парк Дружбы народов», расположен в пределах флювиогляциальной равнины. Рельеф изменен при планировке территории, возведении насыпей проезжих частей улиц, прокладке инженерных сетей и коммуникаций, благоустройстве. Уклон местности – к югу. Поверхностный сток организован системой ливневой канализации. Активных физико-геологических процессов не выявлено [2].

В соответствии с геологическим строением и литологическим составом грунтов на участке строительства выделяются:

– воды спорадического распространения, которые приурочены к прослойкам песка мощностью 1–10 см в толще глинистые грунты различного генезиса;

– грунтовые воды могилевского флювиогляциального комплекса, преимущественно непокрытого. Вскрыт на глубине 3–6,8 м от поверхности. Пьезометрический и свободный уровень устанавливается на абс. отм. 196,68–198,29 м. Водовмещающие грунты – пески от пылеватых до гравелистых. Мощность обводненных грунтов 0,9–11,0 м;

– воды днепровско-сожского горизонта – напорные. Водовмещающие грунты – пески от пылеватых до гравелистых. Пьезометрический уровень в скважине соответствует пластовому давлению, его положение фиксируют расстоянием от устья скважины – устанавливается на абс. отм. 196,87–197,35, напор – 12,2–16,8 м. Гидравлическая связь между водоносными горизонтами весьма затруднена, т. к. находится в более глубоких подземных слоях [4].

По результатам химических анализов подземные воды всех типов при постоянном погружении неагрессивны по отношению к арматуре железобетонных конструкций и к бетону любой марки по водонепроницаемости, при периодическом смачивании слабо агрессивны к арматуре железобетонных конструкций, умеренно агрессивны к металлическим конструкциям [3].

Грунтовые воды напорно-безнапорные. Прогнозируемый уровень подземных вод в период обильных дождей и весеннего паводка принимается на 0,9 м выше зафиксированного. Средняя мощность водоносного горизонта – 30,0 м.

Для снижения уровня подземных вод выполнен расчет водопонижения. Определены: общая мощность водоносного горизонта, средний коэффициент фильтрации, коэффициент водопроводности, водозахватная способность фильтра, координаты понижения уровня грунтовых вод в центре, напорная функция.

Количество скважин для водопонижения на заданный уровень производилось подбором количества скважин, пока снижение уровня не достигло требуемого.

Таким образом, понижение в скважине при откачке насосом ЭЦВ10-120-60 в течение 10 суток составит 21,6 м.

Согласно выполненным расчетам для снижения уровня грунтовых вод на 12,5 м на участке строительства камеры съезда перед ст. «Парк Дружбы народов» потребуется 22 основных и 5 резервных скважин, оборудованных насосами марки ЭЦВ10-120-60.

#### Список литературы

1 ТКП 45-3.03-60-2009 (02250). Мосты и трубы. Правила обследований и испытаний. – Минск : М-во архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь, 2012. – 311 с.

2 СНиП 2.05.03–84\*. Мосты и трубы. – М. : Госстрой, 1996. – 239 с.

3 **Турбин, И. В.** Изыскания и проектирование железных дорог : учеб. для вузов / И. В. Турбин. – М. : Транспорт, 1989. – 479 с.

4 **Копыленко, В. А.** Проектирование мостового перехода на пересечении реки с трассой железной дороги : учеб. для вузов / В. А. Копыленко, И. П. Переселенкова ; под ред. Б. А. Волкова. – М. : Маршрут, 2004. – 193 с.

УДК 625.161

## ПРОБЛЕМЫ ОБУСТРОЙСТВА ПЕРЕСЕЧЕНИЙ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ С ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМИ ПУТЯМИ

*Д. М. МАРИНСКИХ, С. А. ЧУДИНОВ*

*Уральский государственный лесотехнический университет,*

*г. Екатеринбург, Российская Федерация*

Пересечения автомобильных дорог с железнодорожными путями в одном уровне (железнодорожный переезд) являются источником повышенной опасности для участников дорожного движения. По данным доклада группы экспертов по повышению безопасности на железнодорожных переездах Европейской экономической комиссии от 2017 года, в Российской Федерации функционирует порядка 11 тысяч железнодорожных переездов, из которых 20 % не оборудованы устройствами заграждения переездов (УЗП) [1]. Среднегодовые значения числа тяжелых ДТП и ДТП со смертельным исходом на железнодорожных переездах в период с 2010 по 2014 год оцениваются в 256 случаев в год, в которых число погибших составляет в среднем 55 человек в год. По статистическим данным, в 2021 году число ДТП на железнодорожных переездах составило 219 случаев, в которых пострадало 133 человека, а 49 из них погибло. По сравнению с 2020 годом число ДТП в 2021 году выросло на 7 %. Таким образом, вопрос обустройства и обеспечения безопасного движения автотранспорта на железнодорожных переездах в Российской Федерации остается актуальным.

Железнодорожные переезды подразделяются на регулируемые и нерегулируемые [2]. К регулируемым относятся железнодорожные переезды, оборудованные устройствами переездной сигнализации, извещающей водителей транспортных средств о подходе к железнодорожному переезду поезда, или обслуживаемые дежурным работником, которым поручено осуществлять регулирование движения поездов и транспортных средств на железнодорожном переезде. Железнодорожные переезды, не оборудованные устройствами переездной сигнализации и не обслуживаемые дежурным работником, которым поручено осуществлять регулирование движения поездов и транспортных средств на железнодорожном переезде, относятся к нерегулируемым. Возможность безопасного проезда через такие переезды определяется водителем транспортного средства в соответствии с правилами дорожного движения Российской Федерации.

Также железнодорожные переезды делятся на 4 категории в зависимости от характера и интенсивности движения поездов и автомобилей, категории автомобильной дороги и условий видимости на переезде.

Для обеспечения безопасного проезда автомобилей на железнодорожном переезде используются технические средства, предусмотренные действующими нормативными документами [2, 3]. Также большую роль в обеспечении безопасности на переездах играет соблюдение участниками дорожного движения и работниками железных дорог правил дорожного движения, правил технической эксплуатации железных дорог и других нормативно-правовых документов, регламентирующих порядок эксплуатации автомобильных и железных дорог.

На данный момент для обеспечения безопасности на железнодорожных переездах в России чаще всего используют:

- 1) УЗП для заграждения проезда автомобилей на переезд во время движения поезда;
- 2) светофорные и звуковые сигнализации для оповещения водителей о приближении поезда;
- 3) панели дорожного покрытия для увеличения пропускной способности переезда;
- 4) переездные автоматические контрольные устройства (ПАКУ), которые рассчитывают момент включения сигнализации на переезде в зависимости от реальной скорости движения поезда;
- 5) предикторы, использующие рельсы для передачи сигналов в обоих направлениях от переезда и оценивающие скорость движения поезда;
- 6) системы датчиков, передающих сигнал о приближении поезда по радиосигналу;
- 7) технические средства организации дорожного движения, такие как сигнальные столбики и дорожные знаки.

Для максимальной эффективности данные средства должны использоваться комплексно и в зависимости от условий движения на переезде. Как правило, на регулируемых переездах имеются все средства для обеспечения безопасного проезда автомобилей через переезд, которые информируют водителя и контролируют соблюдение ПДД. На нерегулируемых переездах вся ответственность за безопасный проезд через железнодорожный переезд лежит на водителе автомобиля, что сильно увеличивает вероятность возникновения ДТП, особенно в условиях плохой видимости и при неудовлетворительном состоянии покрытия проезжей части на переезде.

Исходя из этого основными причинами возникновения ДТП на железнодорожных переездах можно назвать:

- 1) игнорирование правил дорожного движения водителями транспортных средств;
- 2) наличие дефектов покрытия проезжей части в местах пересечения с железнодорожными путями, затрудняющих проезд автомобиля через переезд;
- 3) отсутствие сигнализации о приближении поезда;
- 4) отсутствие видимости на переезде;
- 5) отсутствие или недостаточность наружного освещения на переезде и прилегающей к нему территории.

На основании изложенного можно сделать вывод, что главная проблема обустройства железнодорожных переездов заключается в недостаточном информировании водителей и обеспечении переездов средствами контроля соблюдения правил дорожного движения, а также в жесткости мер при их несоблюдении. Также важно отметить, что на железнодорожных переездах с высокой интенсивностью движения поездов существует проблема длительного перекрытия движения автомобильного транспорта, которая приводит к образованию заторов, чем провоцирует водителей на нарушение ПДД.

На данный момент в России и во многих странах западной Европы наблюдается тенденция сокращения числа железнодорожных переездов путем устройства пересечений в разных уровнях (путепроводов). Подобный метод полностью исключает возможность возникновения ДТП на пересечении и значительно увеличивает пропускную способность автомобильной дороги, но он также является крайне дорогостоящим, поэтому для его применения необходимо серьезное технико-экономическое обоснование, что не подходит для повсеместного применения [1].

Во многих странах сейчас обсуждается применение автоматизированных систем на основе GPS или ГЛОНАСС для оповещения водителей о приближении к железнодорожному переезду [1, 4]. Данный метод предполагает наличие специального приложения на устройствах водителя и машиниста поезда, что подразумевает его использование только в качестве дополнительного средства

оповещения, т. к. не каждый водитель или владелец железнодорожных путей имеет возможность или желание использовать подобные приложения.

Существуют предложения использования спутниковых систем GPS или ГЛОНАСС для обеспечения безопасности движения на неохраняемых и необслуживаемых переездах методом безусловного регулирования скорости подвижного состава в зоне сближения с переездом на основе переноса ответственности с переезда и водителей автотранспорта на локомотив [5, 6]. Данный метод предполагает возможность обнаружения препятствий на железнодорожном переезде и последующем снижении скорости подвижного состава на участке приближения к переезду. Метод безусловного регулирования скорости подвижного состава может повысить безопасность на переездах, особенно при использовании в комплексе с другими средствами обеспечения безопасности.

На основании опыта России и зарубежных стран проблема обеспечения безопасности на железнодорожных переездах изучена не в полной мере.

По итогам анализа можно сказать, что для решения проблем обеспечения безопасности на переездах необходимо:

- 1) сокращать количество переездов путем устройства путепроводов на участках с высокой интенсивностью движения поездов и автомобилей;
- 2) вести статистику ДТП на всех железнодорожных переездах для их оборудования необходимыми средствами обеспечения безопасности на основании реальной ситуации на переезде;
- 3) внедрять средства автоматизированного контроля железнодорожного переезда для оповещения водителей, преграждения переезда и фиксации нарушения ПДД;
- 4) дорабатывать нормативно-правовые документы в части согласованности заинтересованных структур для организации системного подхода к обеспечению безопасности и увеличению ответственности за несоблюдение этих норм и правил каждой из сторон.

Все озвученные меры будут иметь максимальную эффективность только при их комплексном использовании и соответствующей поддержке правоустанавливающей и нормативной базы.

#### Список литературы

1 Оценка уровня безопасности на железнодорожных переездах в странах – членах ЕЭК ООН и других отдельных странах и стратегические рамки по повышению безопасности на железнодорожных переездах [Электронный ресурс] : доклад группы экспертов по повышению безопасности на железнодорожных переездах / Европейская экономическая комиссия. Комитет по внутреннему транспорту. – Женева : ЕЭК, 2017. – Режим доступа : <https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/doc/2017/wp1/ECE-TRANS-WP1-2017-4r.pdf>. – Дата доступа : 08.08.2022.

2 Об утверждении Условий эксплуатации железнодорожных переездов : приказ М-ва трансп. РФ от 31.07.2015 № 237 (с изм. на 6.08.2019) / М-во юстиции РФ. – 2015. – № 38792.

3 О безопасности дорожного движения : Федеральный закон 10.12.1995 № 196-ФЗ (с изм. на 29.11.2021) // Собрание законодательства Российской Федерации. – 1995. – № 50. – ст. 4873.

4 **Васьков, Т. И.** Обеспечение безопасности на железнодорожных переездах посредством использования системы GPS/ГЛОНАСС / Т. И. Васьков, Е. А. Михайленко, Р. Г. Гильванов // Интеллектуальные технологии на транспорте. – 2019. – № 2. – С. 35–41.

5 **Демьянов, В. В.** Состояние проблемы и методы обеспечения безопасности движения на железнодорожных переездах / В. В. Демьянов, О. Б. Имарова, М. Э. Скоробогатов // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2018. – Т 22, № 4. – С. 215–230.

6 **Кочеткова, А. В.** Применение инновационных материалов и технологий при строительстве платных автомобильных дорог / А. В. Кочеткова, С. А. Чудинов // Эффективный ответ на современные вызовы с учетом взаимодействия человека и природы, человека и технологий: социально-экономические и экологические проблемы лесного комплекса : материалы XIII Междунар. науч.-техн. конф. – Екатеринбург : УГЛУ, 2021. – С. 390–393.

УДК 621.878.23

### АНАЛИЗ ТЕНДЕНЦИЙ РАЗВИТИЯ КОНСТРУКЦИЙ БУЛЬДОЗЕРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

*В. А. МАТИНОВСКИЙ, В. Л. МОИСЕЕНКО, К. В. МАКСИМЧИК, В. А. ЛОДНЯ*  
*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

С созданием землеройной техники возникли вопросы уменьшения удельных затрат труда и энергоемкости, которые необходимы для осуществления копания ими грунта, т. е. создания такого рабочего органа который повысит производительность машины, эффективность взаимодействия с

грунтом и снизит стоимость выполненных работ. Для этого необходимо исследовать процесс резания грунта. Решению подобных вопросов посвящено множество научных трудов как отечественных, так и зарубежных ученых.

Бульдозер является одной из основных машин, используемых в промышленном, гражданском, дорожном строительстве, так как его конструкция проста, универсальна и имеет низкую себестоимость выполнения работ.

Совершенствование конструкций рабочего оборудования бульдозера является одним из основных направлений повышения его производительности. Над совершенствованием рабочих органов, эффективности их использования и расширения номенклатуры работали такие известные организации: ВНИИстройдормаш, ВНИИ Минтрансстрой, ВНИИземмаш, МАДИ, КАДИ и др. Совершенствование и повышение эффективности рабочих процессов землеройных машин основывается в значительной степени на теоретической базе, созданной известными учеными: К. А. Артемьевым, В. Л. Баладинским, В. И. Баловневым, Л. А. Хмарой, А. М. Холодовым, Д. И. Федоровым и др. [1–5].

Анализ научно-технической информации в области бульдозеростроения Украины, России и других зарубежных стран позволил сделать аналитические выводы о развитии конструкций бульдозеров.

Развитие конструкций бульдозеров ведется в двух основных направлениях. Первое связано с совершенствованием конструкции базовых тракторов или тягачей, а второе – менее материалоемкое, но эффективное – с совершенствованием рабочего оборудования бульдозера.

Цели данных направлений: снижение энергоемкости процесса разработки грунта; расширение эксплуатационных возможностей; расширение зоны действия; управляемость оборудования; повышение надежности; расширение технологических возможностей.

Общие тенденции развития бульдозерного оборудования представлены на рисунке 1 и отражают развитие не только рабочих органов отвального типа, но и устройств, позволяющих изменять положение отвала, меняя способ копания грунта. Центральная ось этой схемы (позиции 1–3) иллюстрирует общее развитие рабочего органа бульдозера, а боковые ее ответвления показывают частные направления развития позиций основной оси.

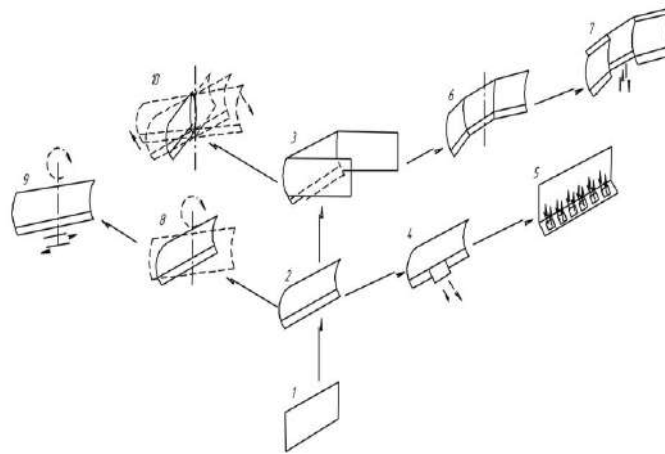


Рисунок 1 – Схема развития рабочих органов землеройных машин

На позиции 1 представлен элементарный рабочий орган землеройной машины – отвал, имеющий плоский вид. Позиция 2 – отвал современной формы т. е. с криволинейным профилем рабочей поверхности, созданный с учетом влияния подъема стружки грунта по отвалу на общее сопротивление копанью. Позиция 3 – отвал со щеками, которые способствуют уменьшению потерь грунта из призмы волочения. Данная конструкция послужила прототипом при создании скреперных ковшей.

Развитие лобовых отвалов с боковыми щеками (исходная позиция 3) в одном из ответвлений характеризуется созданием более эффективных совковых отвалов с косоустановленными крайними секциями (позиция 6) и их дальнейшим совершенствованием.

Рабочие органы, применяемые на землеройных машинах различных типов для разных видов земляных работ и грунтовых и климатических условий, могут быть систематизированы по следующим основным классификационным признакам:

- назначению (для основных, отделочных или подготовительных работ);

- сложности (элементарные или сложные);
- типу (ножевой, отвальный, ковшовый, шнековый);
- форме режущей части поперечного сечения (прямоугольная, криволинейная);
- числу открытых поверхностей (одна, две и т. д.);
- схеме взаимодействия с грунтом (по числу открытых поверхностей у грунтового массива);
- траектория движения (прямолинейная, криволинейная);
- непрерывности взаимодействия с грунтом (циклическое, непрерывное);
- принципу воздействия на грунт (статическое, ударное, вибрационное, смешанное);
- виду случайного процесса нагружения (случайный стационарный, нестационарный процесс).

При определении энергоемкости процесса копания грунта и величин и характера изменения составляющих усилия резания, действующих на рабочий орган, необходим учет схемы его взаимодействия с грунтом. Данные исследований, проведенных В. Д. Абезгаузом, А. И. Бероном, Ю. А. Ветровым, А. Н. Зелениным, подчеркивают значительное уменьшение усилия резания при увеличении числа открытых поверхностей у разрабатываемой среды. Учет схем взаимодействия рабочих органов с грунтом важен как при анализе работы существующих землеройных машин, так и при создании новых.

Одним из характерных примеров эффективного учета схем взаимодействия рабочих органов с грунтом служат исследования, проведенные в научно-производственном объединении «ВНИИзем-маш», и разработанные на их основе предложения по возможным типам рабочих органов и схемам их взаимодействия с грунтом.

Анализ предложенных схематических описаний влияния формы ножа на процесс разработки грунта является актуальной задачей, так как способствует определению наиболее эффективных параметров и форм ножа, способного разрабатывать грунт с минимальным усилием за счет результирующей траектории воздействия на грунт.

Результаты проведенных теоретических исследований и анализ тенденций развития конструкций бульдозерного рабочего оборудования подтверждают гипотезу о снижении силы резания при изменении угла резания. Доказана эффективность конструктивных изменений параметров новых отвалов, которые имеют управляемый выступающий средний нож и различные углы резания. Актуальность темы очевидна, поэтому необходимо продолжать исследования данного способа, разработать рекомендации о целесообразности его применения на машинах для земляных работ.

#### Список литературы

- 1 **Баловнев, В. И.** Моделирование процессов взаимодействия со средой рабочих органов дорожно-строительных машин : учеб. пособие для студентов высш. учеб. заведений / В. И. Баловнев. – 2-е изд., перераб. – М. : Машиностроение, 1994. – 432 с.
- 2 **Хмара, Л. А.** Модернизация и повышение производительности строительных машин / Л. А. Хмара, Н. П. Колесник, В. П. Станевский. – К. : Будівельник, 1992. – 152 с.
- 3 **Ветров, Ю. А.** Разрушение прочных грунтов / Ю. А. Ветров. – К. : Изд-во Киевского университета, 1973. – 352 с.
- 4 Проектирование машин для земляных работ : учеб. пособие / А. М. Холодов [и др.] ; под ред. А. М. Холодова. – Харьков : Изд-во при Харьковском государственном университете, 1986. – 272 с.
- 5 **Пенчук, В. А.** Повышение эффективности рабочих процессов землеройных машин интенсификацией в массиве грунта напряжений разрыва / В. А. Пенчук. – Макеевка : ДГАСА, 1995. – № 2. – 112 с.

УДК 625.111

### МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ СРОКА СТРОИТЕЛЬСТВА ПУТЕПРОВОДА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕОРИИ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

*Е. М. МАСЛОВСКАЯ, О. И. СЕРКО, Н. А. ПОПЛАВСКАЯ*  
*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

На пересечениях в одном уровне повышена опасность наездов и столкновений транспорта. Из-за снижения скорости транспортных потоков и простоя у пересечений ежегодно теряются десятки миллионов часов, что равнозначно простоям в течение года с работающими двигателями более

10 тысяч машин. Таким образом, совершенствование системы пересечений дорог становится весьма актуальной задачей.

На дорогах V категории с перспективной расчетной интенсивностью движения до 100 авт./сут не требуется устройство пересечений в разных уровнях. Техничко-экономическое обоснование необходимо выполнять для дорог IV категории с учетом их возможного перевода в III категорию.

Уточним экономическую целесообразность срока строительства путепровода на пересечении автомобильных дорог, используя теорию массового обслуживания [4]. Для решения поставленной задачи в теории массового обслуживания используются зависимости, обслуживающие два потока заявок с приоритетом.

Среднее число автомобилей в системе определяется по формуле

$$\overline{N}_{c2} = \frac{\psi_2}{1 - \psi} \left( 1 + \frac{\mu_2 \psi_1}{\mu_1 (1 - \psi_1)} \right); \quad (1)$$

среднее время ожидания в очереди

$$t_{ож2} = \frac{1}{1 - \psi} \left( \frac{\psi}{\mu_2} + \frac{\psi_1}{\mu_1 (1 - \psi_1)} \right), \quad (2)$$

где  $\overline{N}_{c2}$  – средняя интенсивность движения автомобилей по не приоритетной дороге, авт./ч;  $\mu_1, \mu_2$  – пропускная способность по пересекающимся дорогам, авт./ч;  $\psi_1, \psi_2$  – интенсивность обслуживания автомобилей на перекрестке для первой и второй дорог, авт./ч;  $\psi$  – суммарная интенсивность обслуживания автомобилей на перекрестке дорог,  $\psi_1 + \psi_2$ ;  $t_{ож2}$  – время ожидания в очереди на неприоритетной дороге, ч.

Приведенные ниже зависимости описывают параметры второго потока, не пользующегося приоритетом [1].

Интенсивность обслуживания автомобилей на перекрестке для первой и второй дорог

$$\psi_1 = \frac{\lambda_1}{\mu_1}; \quad \psi_2 = \frac{\lambda_2}{\mu_2}, \quad (3)$$

где  $\lambda_1, \lambda_2$  – интенсивность движения по первой и второй дорогам, авт./ч.

Суточные потери времени автомобилями неприоритетного потока

$$T_s^n = \overline{t_{ож2}} \lambda_2 T, \quad (4)$$

где  $T$  – число автомобиле-часов движения по дороге в сутки, авт.ч/сут.

Срок окупаемости затрат на строительство путепровода

$$t_{ок} = \frac{K_{пут}}{T_s^n C_{пр}^a}, \quad (5)$$

где  $C_{пр}^a$  – стоимость простоя автомобиля на перекрестке, у. е.;  $K_{пут}$  – стоимость путепровода, у. е.

Определить точное значение  $C_{пр}^a$  невозможно, т. к. в транспортном потоке имеется множество классов машин [2, 4]. Для расчетов принята стоимость простоя наиболее массового автомобиля (или возможно рассчитать среднестатистический показатель методом приведения с учетом процента машин данного класса в составе движения).

Для определения окупаемости строительства путепровода ниже рассмотрен числовой пример с исходными данными, близкими к реальным, на перекрестке дорог: интенсивность движения по первой дороге  $\lambda_1 = 700$  авт./ч; по второй –  $\lambda_2 = 300$  авт./ч. Движение по первой дороге с пропускной способностью  $\mu_1 = 1200$  авт./ч. пользуется приоритетом по сравнению с движением по второй дороге  $\mu_2 = 1000$  авт./ч. Нормативный срок окупаемости в транспортном строительстве составляет четыре года.

Интенсивность обслуживания автомобилей на перекрестке для первой и второй дорог по формуле (5) составляет:  $\psi_1 = \frac{700}{1200} = 0,58$ ;  $\psi_2 = \frac{300}{1000} = 0,30$ ; тогда  $\psi = \psi_1 + \psi_2 = 0,58 + 0,30 = 0,88 < 1$ .

Суточные потери времени из-за простоя автомобилей

$$T_{\Sigma}^a = \frac{1}{1-0,88} \left( \frac{0,88}{1000} + \frac{0,58}{1200(1-0,58)} \right) \cdot 300 \cdot 24 = 105,4 \text{ авт}\cdot\text{ч/сут.}$$

Срок окупаемости затрат

$$t_{\text{ок}} = \frac{K_{\text{пут}}}{T_{\Sigma}^a C_{\text{пр}}^a}; \quad t_{\text{ок}} = \frac{9000000}{105,4 \cdot 82} = 1041 \text{ сут} = 3 \text{ года.}$$

Стоимость путепровода  $K_{\text{пут}}$  принята равной 9 млн у. е., а стоимость простоя  $C_{\text{пр}}^a = 82 \text{ у. е./ч.}$

Выполненный расчет показал срок окупаемости затрат – 3 года, что меньше нормативного. Следовательно, путепровод экономически целесообразен.

#### Список литературы

- 1 Козин, Р. Г. Математическое моделирование: примеры решения задач : учеб.-метод. пособие / Р. Г. Козин / М. : НИЯУ МИФИ, 2010. – 176 с.
- 2 Экономика-математические методы и модели : учеб. пособие / Н. И. Холод [и др.] ; под ред. А. В. Кузнецова. – Минск : БГЭУ, 1999. – 413 с.
- 3 Математическое моделирование экономических процессов на железнодорожном транспорте : учеб. / под ред. А. Б. Каплана. – М. : Транспорт, 1984. – 256 с.
- 4 Ложковский, А. Г. Расчет одноканальных систем с бесконечной очередью при экспоненциальной длительности обслуживания // Наукові праці ОНАЗ ім О. С. Попова. – 2009. – № 2. – С. 10–13.

УДК 625.35

## РЕМОНТ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО МОСТА С ЦЕЛЬЮ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ

Я. А. МАЖАКО

*ОАО «Институт “Гомельагропромпроект”», Республика Беларусь*

Однопутный железобетонный двухпролетный мост через болотный ручей расположен на участке Новобелицкая – Чернигов на 3 км ПК5.

Основной причиной выполнения капитального ремонта является физический износ пролетных строений и дефекты опор. Степень износа определена испытаниями, выполненными мостоиспытательной станцией Белорусской железной дороги.

Капитальный ремонт выполняется гильзованием с использованием металлических гофрированных спиральновитых труб НС 2ТС-2,5-900-42400-В. Работы производятся без вскрытия насыпи и остановки движения поездов, за исключением работ, выполняемых в технологические окна, совмещенные с «окнами» по восстановительному ремонту пути. При гильзовании увеличивается расход воды, получается жесткая трехслойная конструкция, срок службы которой составляет не менее 50 лет.

Работы по ремонту сооружения производятся в следующем порядке:

- расчистка отверстия моста и русла на подходах;
- разборка автодорожной трубы со стороны входного отверстия;
- устройство бетонного лотка в отверстии сооружения с уклоном 0,014 толщиной до 430 мм, армированного сеткой;
- сборка металлической гофрированной конструкции на монтажной площадке;
- устройство гравийно-песчаной подушки и монолитных бетонных противофильтрационных экранов;
- окрасочная гидроизоляция засыпаемых бетонных поверхностей;
- протягивание металлической гофрированной конструкции внутрь существующего моста;
- устройство опалубки с двух сторон моста на 2/3 высоты существующего отверстия;
- подача бетонной смеси в зазоры между конструкциями под давлением с помощью бетононасоса, наращивание опалубки по мере заполнения зазоров между конструкциями;



- защита выступающих частей гофрированной трубы геотекстилем;
- разборка наращенных бортов пролетного строения и устоев до отметки 126,29 со стороны входного отверстия и до отметки 125,99 со стороны выходного отверстия;
- засыпка сооружения и отсыпка откосов насыпи дренирующим грунтом с послойным уплотнением;
- устройство монолитного бетонного лотка по металлической сетке внутри гофрированной трубы;
- укрепление откосов насыпи и русла на входе и выходе сооружения монолитным бетоном;
- укрепление откосов насыпи посевом трав и бровки полотна дерновой лентой.

Нормы продолжительности строительства на ремонт труб ТКП 45-1.03-213–2010 не определены.

Исходя из этого срок выполнения ремонтных работ определяется проектом на основе трудозатрат.

Продолжительность работ – 58 рабочих дней, в том числе подготовительный период – 6 дней, сдача объекта в эксплуатацию и выполнение работ заключительного периода – 4 дня. Общее количество одновременно работающих на объекте – 12 человек.

Во время проведения ремонтных работ производится приемка сооружения во временную эксплуатацию после гильзования. Приемка сооружения в постоянную эксплуатацию производится после выполнения всех работ согласно проекту. Материалы приемки оформляются актами.

Сооружение после ремонта соответствует требованиям по эксплуатационной безопасности, предъявляемой к сооружениям, расположенным на участках Новобелицкая – Чернигов – Бахмач – Минск.

УДК 625.712.34

## **ПРОЕКЦИОННЫЕ ПЕШЕХОДНЫЕ ПЕРЕХОДЫ**

*Н. Ю. МОКРУШИН, С. А. ЧУДИНОВ*

*Уральский государственный лесотехнический университет,  
г. Екатеринбург, Российская Федерация*

Проблема безопасности дорожного движения во всех странах мира является актуальной. Пешеходы являются самой незащищенной категорией участников дорожного движения. Количество погибших пешеходов на автомобильных дорогах значительно, несмотря на общее снижение показателей аварийности. Анализ дорожно-транспортных происшествий показывает, что значительная часть наездов на пешеходов происходит на переходах (как на регулируемых, так и на нерегулируемых). Статистические данные позволяют сделать вывод о значительно меньшем их числе на переходах, оборудованных светофорами, а также освещением на наземных пешеходных переходах [1].

Эффективным решением повышения видимости пешеходных переходов, в особенности в зимнее время, когда на покрытии разметка становится трудноразличимой, является установка проекционных переходов. Основная функция проекционных переходов – повышение безопасности на дорогах путем предупреждения пешеходов о приближающемся транспорте, а также водителей о наличии людей на дороге.

Проекционный переход представляет собой дорожную разметку, встроенную в дорожное полотно и одновременно являющуюся светофором. Изначально ее не видно на асфальтобетонном покрытии, и разметка появляется только в тот момент, когда движение по ней безопасно для всех участников дорожного движения. Она активируется и начинает работать, когда человек подходит к краю проезжей части.

Если на дороге нет транспорта, разметка начинает светиться привычным зеленым светом. Если рядом появляется транспорт, сенсоры это регистрируют, и разметка загорается красным. Разметка способна менять цвет также в случае, когда человек нарушает ПДД и выходит за ее рамки. Соответствующие сигналы поступают водителю приближающегося автомобиля. Управление работой проекционных пешеходных переходов осуществляется с помощью контроллера и нескольких камер, которые направлены в разные стороны и регистрируют дорожную ситуацию.

В регионах России благодаря национальному проекту «Безопасные качественные дороги» на пешеходных переходах устанавливают проекционную дорожную разметку. Оборудование, размещенное над переходом, создает яркий световой коридор с помощью светодиодных проекторов с цветными фильтрами [2]. Такая разметка не сотрется со временем и хорошо заметна в темное время суток при любой погоде. На рисунке 1 представлен пример проекционного пешеходного перехода.



Рисунок 1 – Проекционный пешеходный переход

Проекционная разметка является альтернативной и дополняет традиционную, выполненную термопластичными материалами. При неблагоприятных дорожных условиях (снег, дождь, грязь) ее видно с расстояния более 150 м. Данная технология показала свою эффективность зимой, когда на переходах нет возможности восстановить стершийся термопластик.

Проекционная разметка является альтернативной и дополняет традиционную, выполненную термопластичными материалами. При неблагоприятных дорожных условиях (снег, дождь, грязь) ее видно с расстояния более 150 м. Данная технология показала свою эффективность зимой, когда на переходах нет возможности восстановить стершийся термопластик.

Так, в Свердловской области еще в 2019 году такая разметка появилась на 12 участках региональной дорожной сети. Данные комплексы установили на

нерегулируемых переходах в наиболее опасных для пешеходов местах [3].

Пешеходные переходы оборудуются специальными устройствами для проекции дорожной разметки, однако важно отметить, что технология не заменяет пешеходный переход, а дублирует его в темное время суток и в условиях недостаточной видимости. Чаще всего именно при таких условиях происходит максимальное количество ДТП с пешеходами. Данная технология применяется в разных странах, но в Российской Федерации она получила максимальное распространение.

Дополнительно к освещению непосредственно разметки на пешеходных переходах за 50 метров до них устанавливают ещё один проектор IGP, проецирующий на дорогу разметку 1.24.1 (знак приближения к пешеходному переходу). Он заранее предупреждает водителя о приближении к пешеходному переходу [4].

К достоинствам проекции в сравнении со стандартной дорожной разметкой можно отнести:

- 1) долговечность – не стирается, не тускнеет, не загрязняется;
- 2) видимость – значительно заметна в условиях недостаточной видимости;
- 3) яркость – не зависит от яркости и направления фар автомобилей;
- 4) обеспечение безопасности – освещает пешеходов и делает их заметными в тёмное время суток или в условиях недостаточной видимости.

Комплексное и точечное применение инновационных методов обеспечения безопасности участников дорожного движения поможет сократить количество ДТП и сохранить жизнь и здоровье людей.

#### Список литературы

1 **Иванов, Р. Ю.** Проекционные пешеходные переходы с интерактивной подсветкой на дорогах РФ / Р. Ю. Иванов // Молодёжь и научно-технический прогресс в дорожной отрасли юга России : материалы XV Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. – Волгоград, 2021. – С. 200–204.

2 **Павлова, Л. В.** Проекционные пешеходные переходы / Л. В. Павлова, Р. И. Сиукаев // Тенденция развития науки и образования. – 2022. – № 86-2. – С. 82–85.

3 **Шаламова, Е. Н.** Внедрение инновационных технологий, конструкций и материалов в дорожном хозяйстве / Е. Н. Шаламова, С. А. Чудинов // Фундаментальные и прикладные исследования молодых ученых [Электронный ресурс] : сб. материалов III Междунар. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых 07–08 февраля 2019 г. – Электрон. дан. – Омск : СИБАДИ, 2019. – С. 245–248.

4 **Кочеткова, А. В.** Применение инновационных материалов и технологий при строительстве платных автомобильных дорог / А. В. Кочеткова, С. А. Чудинов // Эффективный ответ на современные вызовы с учетом взаимодействия человека и природы, человека и технологий: социально-экономические и экологические проблемы лесного комплекса : материалы XIII Междунар. науч.-техн. конф. : Екатеринбург : УГЛТУ, 2021. – С. 390–393.

## ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ НА ПРИМЕРЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ВОКЗАЛА СТАНЦИИ САРАТОВ-1-ПАССАЖИРСКИЙ

О. В. МОСКВИЧЕВ, А. А. ХИШОВА

*Самарский государственный университет путей сообщения, Российская Федерация*

Транспортная безопасность в первую очередь рассматривается как состояние защищённости объектов транспортной инфраструктуры и транспортных средств от актов незаконного вмешательства. Актом незаконного вмешательства считается противоправное действие или бездействие, в том числе террористический акт [1].

Эта проблема актуальна благодаря специфике ситуации и важности безопасности транспортных объектов, поскольку их уязвимость всегда представляет опасность для жизни и здоровья большого количества людей, нарушает экономическую стабильность и угрожает общественному порядку. Помимо этого, из-за политических конфликтов количество терактов значительно увеличилось, что привело к возникновению новых проблем организации безопасности, связанной с транспортной инфраструктурой [2].

В качестве практического примера обеспечения транспортной безопасности на реальном объекте железнодорожного транспорта был исследован вокзальный комплекс станции Саратов-1-Пассажирский. После проведения анализа пассажирского терминала Саратов-1-Пассажирский было установлено, что на территории и на железнодорожном вокзале ведется видеонаблюдение. В здании есть информационный пункт, который предоставляет пассажирам памятки о том, как действовать в конкретных ситуациях, связанных с террористическими актами. Территория вокзала патрулируется сотрудниками транспортной полиции. В здании вокзала есть два входа. Первый — это место, где расположены билетная касса и зал ожидания поездов дальнего следования. На входе есть контрольно-пропускной пункт (КПП), где находятся три сотрудника службы безопасности, которые непосредственно проверяют пассажиров. Контрольно-пропускной пункт оснащен арочными металлоискателями и рентгеновскими телевизионными эндоскопами. Багаж укладывается на конвейерную ленту для проверки в эндоскопе, а пассажиры проходят через арочный металлоискатель. Контрольно-пропускной пункт также был установлен у второго входа в здании вокзала (туннельный доступ к пассажирской платформе), но он оснащен только арочными металлоискателями. Однако для предотвращения пропуска пассажиров с платформы в зону вокзала на пункте 1 и 2 предусмотрены охранники, которые предотвращают проникновение пассажиров в зону вокзала через туннель.

Существующий вариант показан на рисунке 1, где оранжевым цветом выделена траектория передвижения пассажиропотоков. Стоит отметить, что через туннель идет транзитный поток, в котором могут находиться пассажиры, не проверенные через контрольно-пропускной пункт.

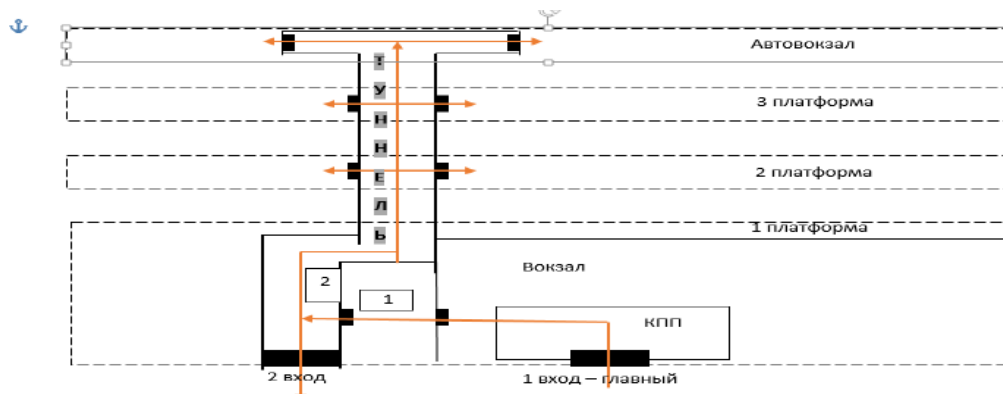


Рисунок 1 – Существующий вариант направлений перемещения пассажиропотока вокзала Саратов-1-Пассажирский

Следует отметить, что в целом железнодорожный вокзал Саратов-1-Пассажирский соответствует требованиям действующего законодательства по обеспечению транспортной безопасности. Но поскольку угроза терроризма в современных условиях стала более серьезной, необходимо создавать более эффективные системы безопасности. Существующие угрозы могут привести к выводу из строя рельсовых путей, к жертвам среди эксплуатационного персонала и пассажиров. Кроме того, возможные террористические акты могут привести к задержкам пассажирских и грузовых поездов, изменению плана формирования поездов и, соответственно, к значительным финансовым затратам и пр.

На вокзале Саратов-1 для обеспечения транспортной безопасности после проведенного оценочного анализа было предложено следующее корректирующее организационное мероприятие: организовать движения пассажирского потока и произвести разграничение зон объектов транспортной инфраструктуры. Для этого необходимо разделить транзитный туннель на два прохода, в первом будет организовано движение пассажиропотока к выходу на платформы, вторая часть туннеля будет предназначена для выхода пассажиров к центральной площади и автовокзалу. Таким образом, вокзал разделится на четыре сектора, при которых будет организовано поточное движение пассажиров. При выходе из свободной зоны доступа (при входе на вокзал) пассажир попадет в зону транспортной безопасности, где расположен КПП, оборудованный арочным металлоискателем и рентгеновскими телевизионными эндоскопами. Далее для прохождения на платформы пассажир отправится в перевозочный сектор (транзитный туннель), где также будут размещены камеры видеонаблюдения и установлены информационные стенды с направлением движения для пассажиров. Если рассматривать вариант от высадки пассажиров с поезда, то они будут передвигаться по тому же транзитному туннелю. Однако из-за разграничения по пассажиропотокам, физические лица уже не смогут попасть в перевозочную зону и зону транспортной безопасности. На рисунке 2 представлена схема движения пассажиропотока, где выход на платформы будут осуществлять только люди, которые прошли зону досмотра.

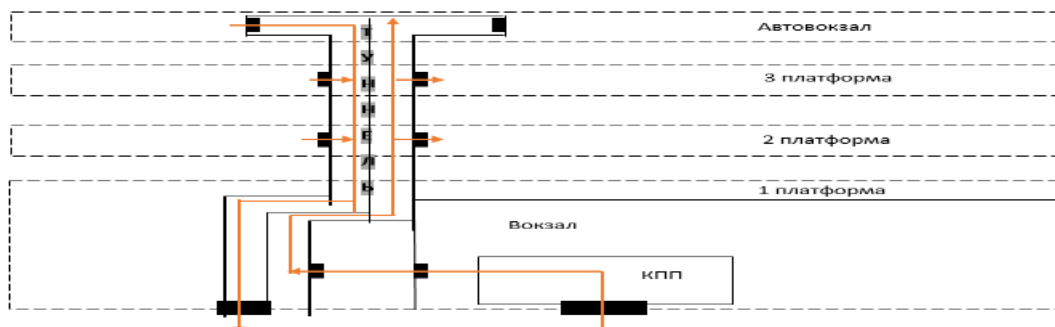


Рисунок 2 – Предлагаемый вариант направлений перемещения пассажиропотока вокзала Саратов-1-Пассажирский

Для лучшего разграничения и предотвращения прохода пассажиров в туннель, где заранее предусмотрен только выход на платформы, предлагается разместить турникет с раздвижными створками. Таким образом, благодаря встроенной системе детекции неавторизованных проходов и направлению прохода можно будет запрограммировать систему для открытия дверей только в одном направлении, тем самым разграничить пассажиропоток [3, 4].

Таким образом, предложенная система пропуска пассажиропотока через вокзальный комплекс Саратов-1-Пассажирский позволит повысить эффективность транспортной безопасности.

#### Список литературы

- 1 Глухов, Н. И. Актуальные проблемы оценки уязвимости объектов транспортной инфраструктуры / Н. И. Глухов, В. А. Протопопов. – Иркутск, 2020. – С. 278–283.
- 2 Кожин, И. А. Нормативно-правовые аспекты транспортной безопасности / И. А. Кожин // Молодой ученый. – 2021. – № 50 (392). – С. 235–237.
- 3 Протопопов, В. А. Оценка уровня уязвимости объектов транспортной инфраструктуры: формализованный подход / В. А. Протопопов // Современные технологии. – 2021. – № 1. – С. 38–40.
- 4 Москвичев, О. В. Формирование системы транспортно-пересадочных узлов в условиях изменения пассажиропотока / О. В. Москвичев, С. А. Леонова // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. – 2022. – № 2 (54). – С. 85–92.

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УКЛАДКИ СВЕРХДЛИННЫХ ПЛЕТЕЙ

*М. Л. НАУМЕНКО*

*Белорусская железная дорога, г. Минск*

*И. И. ХАЛУПА*

*Белорусская железная дорога, г. Гродно*

*В. И. ИНИЮТИН, С. С. КОЖЕДУБ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Бесстыковой путь в настоящее время стал основной конструкцией верхнего строения железнодорожного пути. В последние годы началось интенсивное внедрение сверхдлинных рельсовых плетей. Применение рельсовых плетей длиной до перегона значительно уменьшает количество стыков, которые вследствие динамического взаимодействия пути и подвижного состава и температурных деформаций существенно снижают экономическую эффективность конструкции.

Комплекс КПУ-4,8 предназначен для перевозки длинномерных (800 метров) рельсовых плетей от технологических линий РСП к месту укладки бесстыкового пути, сварки рельсовых плетей до блок-участка и более, укладке их в путь на подкладки с заменой инвентарных рельсов. Комплекс КПУ-4,8 включает в себя:

- спецсостав для перевозки и укладки сварных плетей;
- передвижную рельсосварочную машину, обеспечивающую сварку плетей и термообработку сварных стыков на спецсоставе и в пути;
- машину для нагрева рельсовых плетей в целях принудительного ввода рельсовых плетей в оптимальную температуру закрепления с помощью индукционного нагрева их токами высокой частоты при укладке плетей в путь.

Основные параметры, размеры и характеристики спецсостава:

- наибольшая длина рельсовых плетей, м, – 800;
- количество рельсовых плетей, перевозимых на спецсоставе – 12;
- количество ярусов расположения рельсовых плетей – 1;
- тип перевозимых рельсовых плетей – Р50, Р65;
- максимальная вместимость спецсостава, км пути, – 4,8;
- количество платформ, не более – 59;
- максимальная транспортная скорость в груженом состоянии, км/ч, – 80;
- обслуживающий персонал, чел., – 6;
- тяговое усилие лебедки, кН(тс), не менее – 100(10);
- средняя скорость наматывания каната, м/с, – 0,5.

Спецсостав комплектуется дополнительным оборудованием:

- двумя тележками для обеспечения направления движения рельсовых плетей с состава сразу на подкладки под рельс с одновременной сдвижкой сменяемых рельсов внутрь колеи в процессе движения состава;
- тросами для соединения концов плетей с рельсами действующего пути при выгрузке;
- лыжами для направления концов плетей в соответствующие ручки роликовых опор при погрузке, выгрузке и транспортировке;
- роликами для направления концов плетей по уложенной первой паре плетей при погрузке.

Работы на перегоне монтеры пути начинают с укладки опорных подкладок на ось пути. Затем монтеры пути торцевыми ключами снимают клеммы промежуточного рельсового скрепления СБ-3 на двух шпалах из трех, устанавливают специальные клеммные зажимы на каждой 15-й шпале. На фронт работ со станции прибывает первый спецсостав, вместе с рельсосварочной машиной ПРСМ-6 с платформой концевой и платформой со сварочным постом переезжает на подготовленный участок, при этом старший машинист останавливает спецсостав на расстоянии, позволяющем стянуть начальные концы плетей на начальную точку выгрузки в середину пути. Два монтера пути разболчивают стыки и снимают накладки между ранее уложенными плетями и инвентарными рельсами. Шесть машини-

стов спецсостава освобождают две плети из замков и якорей, надевают направляющие лыжи на начальные концы плетей, присоединяют тросы к направляющим лыжам и протаскивают их через противокантовочное устройство, лотки и желоба концевой платформы. Два монтера пути ставят рельсовые захваты конструкции ПТКБ ЦП на действующий путь. Одновременно шесть машинистов ПРСМ-6 приводят рельсосварочную машину в рабочее положение. Далее начинается движение спецсостава вместе с рельсосварочной машиной ПРСМ-6 с платформой концевой и платформой со сварочным постом локомотивом вперед с места для медленного натягивания тросов и стаскивания начальной пары рельсовых плетей со скоростью не более 0,5 км/ч. После того как концевые концы рельсовых плетей опущены на ось пути, на длине 80–100 м, спецсостав останавливается. Три машиниста спецсостава и два монтера пути отсоединяют тросы от начальных концов первой пары плетей, снимают рельсовые захваты конструкции ПТКБ ЦП с действующего пути, далее 10 монтеров пути убирают тросы на обочину. После этого спецсостав вместе с рельсосварочной машиной ПРСМ-6 с платформой концевой и платформой со сварочным постом возобновляет движение локомотивом вперед со скоростью до 15 км/ч. Когда концевые концы первой пары укладываемых плетей переместятся на платформу со сварочным постом под технологическое оборудование сварочной машины, спецсостав с ПРСМ-6 останавливается. Начальные концы второй пары плетей при помощи подтягивающего устройства перемещаются на платформу со сварочным постом к концевым концам первой пары плетей. Технологическим оборудованием машины ПРСМ-6 свариваются стыки между первой и второй парами укладываемых плетей, проходят термообработку и далее шлифуются. Время остывания стыков принимаем 15 мин. Дефектоскопист ультразвуковым аппаратом проверяет качество сварки. Прямолинейность рельса в месте сварки проверяется линейкой длиной 1 м (кривизна более 0,3 мм не допускается). Обслуживают машину ПРСМ-6 для сварки и термообработки рельсов шесть машинистов. Далее спецсостав с ПРСМ-6 возобновляет движение. В том же порядке производят работы по выгрузке и сварке следующих участков длинномерных пар рельсовых плетей. После создания задельного участка по выгрузке длинномерных рельсовых плетей на ось пути, к начальному месту укладки длинномерных плетей на подкладки переезжает машина для нагрева рельсовых плетей. Тележка-разборщик и порталный краник перемещаются за пределы начального стыка инвентарных рельсов. Тележка-укладчик при помощи штанги соединяется с нагревательным модулем машины для нагрева рельсов. Начальные концы вновь укладываемых плетей направляются в вертикальные ролики тележки-укладчика и далее на подкладки к первоначальному стыку, где после снятия направляющих лыж стыкуются с ранее лежащими в пути плетями. Портальный краник и тележка-разборщик перемещаются на концы вновь уложенных в путь плетей, порталный краник останавливается над концами сдвинутых внутрь колеи инвентарных рельсов, с помощью краника концы вывешиваются и заправляются в тележку-разборщик, которая затем соединяется тросом с тележкой-укладчиком. Далее вновь укладываемые длинномерные плети заправляются в установку комплекта индукторов нагревательного модуля. Машина для нагрева рельсовых плетей со скоростью до 1 км/ч начинает двигаться в сторону сменяемых инвентарных рельсов. Происходит сдвижка инвентарных рельсов внутрь колеи и укладка новых плетей на подкладки. Одновременно на нагревательном модуле укладываемые плети приводятся в оптимальную температуру закрепления методом нагрева токами высокой частоты при помощи двух индукторов. Обслуживают машину для нагрева рельсовых плетей два машиниста, четыре монтера пути которые следят и направляют плети на подкладки. Следом 30 монтеров пути по ходу укладки на первых 50 м устанавливают клеммы на каждой пятой шпале, на следующих метрах длинномерной плети устанавливают на каждой шпале клеммы и закрепляют плети на каждой пятой шпале. После пропуска начальных 50 м длинномерных плетей устанавливают все клеммы. Следом после создания задельного участка отдельная машина ПРСМ производит сварку начальных рельсовых стыков в пути. Работы по сварке начальных стыков в пути выполняются по отдельному технологическому процессу. После укладки в путь и закрепления шестой (конечной) пары плетей её концы свариваются электроконтактным способом с вновь уложенными длинномерными плетями. На этом работы по укладке длинномерных плетей с приведением их в оптимальную температуру закрепления при помощи плетеукладочного комплекса КПУ-4,8 заканчиваются.

Следовательно, применение комплекса КПУ-4,8 позволяет укладывать сверхдлинные плети на перегон и более повышая безопасность и комфортабельность движения поездов.

## ТЕМПЕРАТУРНАЯ РАБОТА УРАВНИТЕЛЬНОГО ПРОЛЁТА БЕССТЫКОВОГО ПУТИ

*М. Л. НАУМЕНКО*

*Белорусская железная дорога, г. Минск*

*И. И. ХАЛУПА*

*Белорусская железная дорога, г. Волковыск*

*В. И. ИНЮТИН, С. С. КОЖЕДУБ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Большое значение для обеспечения оптимального взаимодействия колес подвижного состава в зоне уравнительного пролета имеет состояние стыковых зазоров. В период укладки и закрепления рельсовых плетей следует уделить особое внимание установлению нормативных стыковых зазоров между рельсовыми плетями и уравнительными рельсами. Обычно устраивают стыковые зазоры более нормативных, что осложняет температурную работу уравнительного пролета в зимнее время, так как стыковые зазоры раскрываются до сверхконструктивного значения, вызывая изгиб, а в некоторых случаях – срез стыковых болтов или разрыв стыков.

Для анализа температурной работы бесстыкового пути определяется длина «дыхания» конца рельсовых плетей при годовой амплитуде изменения температур. Длина участка «дыхания» конца рельсовой плети в момент наступления максимальной и минимальной расчетной температуры рассчитывается по формулам:

– летом –

$$l_{\text{л}} = \frac{25F(t_{\text{max}} - t_3 - t_R)}{r_{\text{л}}}, \quad (1)$$

– зимой –

$$l_{\text{з}} = \frac{25F(t_3 - t_{\text{min}} - t_R)}{r_{\text{з}}}. \quad (2)$$

где  $F$  – площадь поперечного сечения рельса;  $t_3$  – температура закрепления рельсовых плетей;  $r_{\text{л}}$ ,  $r_{\text{з}}$  – величины летнего и зимнего погонного сопротивления, кН/м;  $t_{\text{max}}$ ,  $t_{\text{min}}$  – соответственно максимальная и минимальная температура рельсов;  $t_R$  – перепад температур, необходимый на преодоление стыкового сопротивления, который принимается равным 10, 15, 20 °С при величине стыкового сопротивления соответственно 200, 300, 400 кН (четырёхдырные стыковые накладки могут обеспечить стыковое сопротивление 200 кН, шестидырные – до 300 кН, восьмидырные – до 400 кН).

В процессе эксплуатации рельсовых плетей необходимо стремиться к минимизации суммарных годовых деформаций. Это позволит в зимнее время обеспечить раскрытие стыковых зазоров уравнительных пролетов в пределах конструкционных значений, а летом избежать больших стыковых давлений и производить большинство путевых работ без выполнения разрядок температурных напряжений. Деформация  $\lambda$  одного конца плети в момент наступления максимальной и минимальной температуры определяется по формулам

$$\lambda_1 = \left[ (\alpha^2 EF) / (2r_{\text{л}}) \right] (t_{\text{max}} - t_3 - t_R)^2; \quad (3)$$

$$\lambda_2 = \left[ (\alpha^2 EF) / (2r_{\text{з}}) \right] (t_3 - t_{\text{min}} - t_R)^2, \quad (4)$$

где  $E$  – модуль упругости рельсовой стали;  $\alpha$  – коэффициент линейного расширения рельсовой стали.

Изменение длины конца рельсовой плети, рассчитанное по формулам (3) и (4), применимо только при прямом ходе температур. Рассчитанные перемещения не позволяют делать выводы о суммарных годовых температурных деформациях, определять число уравнительных рельсов и анализировать температурную работу уравнительного пролета. Для этих целей необходимо учитывать температурную работу бесстыкового пути при обратном ходе температур, которая имеет существенные отличия, так как преодолевается по два стыковых и погонных сопротивления, для чего



требуется вдвое больший перепад температур. Исходя из этого для всего срока эксплуатации бесстыкового пути (за исключением прямого хода температур) возможная продольная деформация конца рельсовой плети определяется по формулам

$$\lambda_1 = \left[ (\alpha^2 EF) / (4r_1) \right] (t_{\max} - t_3 - 2t_R)^2; \quad (5)$$

$$\lambda_2 = \left[ (\alpha^2 EF) / (4r_3) \right] (t_3 - t_{\min} - 2t_R)^2. \quad (6)$$

На рисунке 1 показаны графики перемещения конца рельсовой плети при прямом и обратном ходе температур в годовом интервале.

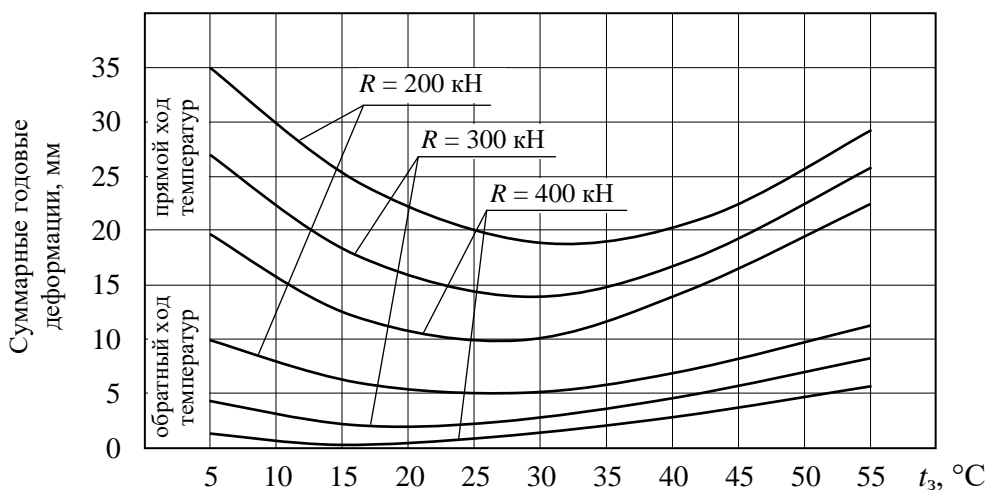


Рисунок 1 – Зависимость суммарных годовых деформаций концов рельсовых плетей от температуры их закрепления

Анализ расчетов показывает, что длина «дыхания» конца рельсовой плети обратно пропорциональна погонному и стыковому сопротивлению. Кроме того, длина «дыхания» возрастает с увеличением массы рельса и годовой амплитудной температуры. Следовательно, для нормального содержания бесстыкового пути необходимо чтобы рельсовые стыки были стянуты шестидырными накладками с постановкой полного комплекта болтов, затянутых с крутящим моментом не менее 600 Н·м. При применении рельсового скрепления КБ-65 с клемными и закладными болтами их необходимо затягивать крутящими моментами соответственно 200 и 150 Н·м.

Для повышения стыкового сопротивления необходимо применять шести- или восьмидырные накладки с высокопрочными болтами. Это снижает годовые деформации концов рельсовых плетей и облегчает температурную работу уравнительного пролета, исключая раскрытия стыкового зазора сверх конструктивного значения.

Таким образом, для широкой укладки и закрепления рельсовых плетей в оптимальном интервале температур представляется целесообразным при закреплении рельсовых плетей при температуре +29 °C устанавливать стыковые зазоры до 10 мм, а в случае +39 °C – до 5 мм. С увеличением стыкового сопротивления отмечается резкое снижение годовых температурных перемещений рельсовых плетей и уравнительных рельсов, что естественно уменьшает раскрытие стыкового зазора в пределах конструктивного, улучшая условия работы уравнительного пролета и снижая негативное воздействие на путь подвижного состава. Следовательно, обеспечение высокого стыкового сопротивления в процессе эксплуатации является одним из основных требований для обеспечения нормальной работы бесстыкового пути. При этом исключается необходимость замены уравнительных рельсов на удлиненные или укороченные соответственно на осенне-зимний или весенне-летний периоды. Наряду с повышением эффективности бесстыкового пути не нарушается температурный режим работы рельсовых плетей и повышается уровень безопасности движения поездов.



## МЕРОПРИЯТИЯ ПО ПОВЫШЕНИЮ СКОРОСТЕЙ ДВИЖЕНИЯ Поездов НА ОТДЕЛЬНЫХ УЧАСТКАХ БЕЛОРУССКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

Е. В. НИКИТИН, П. В. КОВТУН

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

В современных экономических реалиях повышение конкурентоспособности железнодорожного транспорта, выполнение требований клиентов к сокращению времени нахождения в пути как грузов, так и пассажиров является первостепенной задачей, направленной на развитие Белорусской железной дороги.

Для выявления в путевом хозяйстве причин, способствующих увеличению нахождения в пути следования поездов, применена диаграмма Исикавы [1], она же «рыбья кость», она же «диаграмма причинно-следственных связей», которая помогает категоризировать и визуализировать потенциальные причины возникновения проблемы. Диаграмма представлена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Диаграмма Исикавы

В ходе разбора диаграммы выявлены основные причины снижения скоростей движения поездов. Например, отсутствие прогрессивных конструкций верхнего строения пути, таких как одиночный обыкновенный стрелочный перевод марки 1/18, применение которого позволит повысить скорость движения поездов до 80 км/ч по боковому пути; отсутствие системного анализа эксплуатируемых в пути стрелочных переводов со стороны технических работников и т. д.

При анализе экспликации стрелочных переводов, уложенных на станциях Гомель, Центролит, Прибор, Якимовка, Сенозавод, Речица, Ребуса, Демехи, Лиски, Бабичи и Василевичи, было установлено, что в главном ходу эксплуатируются обыкновенные стрелочные переводы проектов 1740, 2433, 2768, 53103, скорость движения по которым на боковой путь согласно техническим характеристикам и действующему приказу – 50 км/ч [2].

Однако фактические скорости движения на боковой путь до сих пор сохраняются на уровне 40 км/ч, что не вполне реализует ресурс стрелочного перевода. Современные конструкции соединений рельсовых путей, а также ходовых частей подвижного состава значительно улучшили условия комфортабельности и силового взаимодействия в системе «колесо – рельс». Необходимо полностью использовать резерв скорости на стрелочных переводах, поднимая ее до установленных 50 км/ч в зависимости от фактического состояния пути и подвижного состава.

Внедрение такого технического мероприятия, как повышение скоростей движения до 50 км/ч в барьерных местах четной горловины станции Центролит, нечетной горловины станции Прибор, четной горловины станций Якимовка и Ребуса, возможно без финансовых вложений. Также повышение скоростей до 50 км/ч можно выполнить на всех стрелочных переводах и приёмно-отправочных путях станций, где осуществляется безостановочный пропуск поездов.

#### Список литературы

- 1 Диаграмма Исикавы: зачем применять и как построить [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://pmclub.pro/articles/diagramma-isikavy-zachem-primenyat-i-kak-postroit?ysclid=l88jdr7xgj786599834>. – Дата доступа : 18.09.2022.
- 2 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.

УДК 625.142.215

## ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕУСТРОЙСТВА ПУТЕЙ НЕОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ

*О. В. ОСИПОВА, М. В. ГУТВИН, В. А. БРУЦКИЙ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

*А. А. СУЩЕНОК*

*Белорусская железная дорога, г. Борисов*

В настоящее время в условиях рыночной экономики в связи с меняющимися объемами и номенклатурой производства, а соответственно и грузовой работы, актуальной является задача адаптации путевого развития путей необщего пользования к потребностям предприятий. Железнодорожные пути необщего пользования обеспечивают грузовые перевозки, которые осуществляют организации, и соединяют их с железнодорожными путями общей сети. Так как железнодорожные перевозки в расчете на единицу продукции дешевле автомобильных, то на предприятии КУП «Гомельский городской дорожный строительно-ремонтный трест» предполагается строительство дополнительного пути для разгрузки сыпучих материалов, поступающих железнодорожным транспортом.

На данный момент протяженность грузового фронта для выгрузки инертных материалов составляет 145,40 м. С целью увеличения объемов грузовой работы, сокращения времени разгрузки материалов и нахождения железнодорожных вагонов на подъездном пути предприятия прорабатывается вопрос постройки дополнительного разгрузочного пути. С точки зрения механизации погрузо-разгрузочных работ широкое распространение получили железнодорожные повышенные пути, поскольку они имеют ряд преимуществ: стойкость к воздействию внешней среды, сжатые сроки монтажа, промышленное изготовление элементов сооружения, постоянный контроль технологического процесса – и за счет этого большую экономию финансовых средств. Таким образом, необходимо запроектировать дополнительный повышенный железнодорожный путь для выгрузки инертных материалов на предприятии.

Съемка участка пути необщего пользования на КУП «Гомельский городской дорожный строительно-ремонтный трест» выполнялась с двух опорных стоянок электронным тахеометром Leica TS06Plus. Были сняты следующие характерные точки: передние стыки рамных рельсов стрелочного перевода № 601, хвост крестовины, опоры линий электропередач, предельный столбик, границы лесонасаждения, забор, углы промышленных зданий, бровка полотна, нулевые места, головка рельса по правой нити, подпорная стенка и т. д. По результатам данной съемки были построены: план, поперечные и продольные профили, посчитаны объемы земляных работ.

При проектировании любых объектов, в том числе и железнодорожных, возникает необходимость выбора оптимального решения. Выбор лучшего варианта, способного дать наибольший экономический эффект, осуществляется на основе технико-экономического сравнения. Оптимальным считается вариант, обеспечивающий наименьшие приведенные затраты.

При проектировании дополнительного пути требовалось врезка стрелочного перевода в существующий криволинейный путь. Для этого были выбраны стрелочные переводы типа Р65 марок 1/9 и 1/11.

При вписывании в существующую кривую левостороннего стрелочного перевода типа Р65 марки 1/11 или 1/9 проектирование пути технически выполнимо только с использованием малых радиусов ( $R < 180$  м), что согласно [2] не допустимо.

При врезке правостороннего стрелочного перевода было разработано несколько рабочих вариантов: со сдвижкой пути наружу и внутрь кривой. В свою очередь, вариант со сдвижкой пути

внутри кривой делится еще на два подварианта: с подпорной стенкой и с откосом 1:1 и укреплением его железобетонными плитами.

Анализ всех рассматриваемых вариантов показал, что некоторые из них не удовлетворяют поставленным условиям. К ним относятся:

– варианты врезки стрелочного перевода марок 1/9 и 1/11 с проектированием подпорной стенки для увеличения междупутья, так как при этом требуются очень большие сдвиги существующего пути (2,10 м и 1,30 м соответственно), что приводит к необходимости переноса расположенной вдоль подъездного пути подпорной стенки;

– вариант с правосторонним стрелочным переводом марки 1/11 со сдвижкой наружу кривой имеет максимальные сдвиги, равные 1,03 м, что также приведет к переустройству существующей подпорной стенки;

– вариант с правосторонним стрелочным переводом марки 1/11 со сдвижкой внутрь кривой с откосом 1:1 имеет максимальные сдвиги равные 0,64 м, что в свою очередь требует переустройства существующей подпорной стенки.

Вариант примыкания проектируемого пути правосторонним стрелочным переводом 1/9 со сдвижкой пути наружу кривой удовлетворяет поставленным условиям: минимальный радиус сопрягающих кривых составляет более 180 м, а максимальные рихтовки пути 0,61 м не требуют смещения существующей подпорной стенки, однако приведут к увеличению объемов путевых работ.

Вариант примыкания проектируемого пути правосторонним стрелочным переводом 1/9 со сдвижкой пути внутрь кривой и с устройством откоса 1:1 наиболее полно удовлетворяет поставленным условиям: проектируемые сдвиги существующего пути минимизированы до 0,07 м, минимальный радиус сопрягающих кривых 201 м находится в пределах норм. Поэтому данный вариант является наиболее подходящим для реализации примыкания разгрузочного пути.

При проектировании повышенного пути оптимальным с точки зрения эксплуатации является вариант с прямым подходом, так как при этом значительно уменьшается износ рельсов, а увеличенная ширина проезда для автомобильной техники более полно удовлетворяет поставленному условию проектирования. Кроме того, выбранный вариант позволяет увеличить полезную длину повышенного пути с 70 до 95 м.

Таким образом, при проектировании железнодорожных путей необщего пользования нужно учитывать следующие особенности:

- необходимость проектирования пути в стеснённых условиях существующей застройки;
- минимальные изменения существующей инфраструктуры;
- разработку альтернативных инженерных решений в «узких» местах;
- удовлетворение потребностей предприятия.

#### Список литературы

- 1 ТКП 45-3.03-163–2009. Железные дороги. Земляное полотно. Правила проектирования. – Введ. впервые. – Минск : М-во архит. и стр-ва Респ. Беларусь, 2010. – 99 с.
- 2 СНБ 3.03.01–98. Железные дороги колеи 1520 мм. – Минск : М-во архит. и стр-ва Респ. Беларусь, 1998. – 26 с.

УДК 625.172

### ОСОБЕННОСТИ СОДЕРЖАНИЯ БЕССТЫКОВОГО ПУТИ НА БЕЛОРУССКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГЕ

*О. В. ОСИПОВА, К. Д. САКАЛОВСКИЙ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

*Е. В. НИКИТИН*

*Белорусская железная дорога, г. Гомель*

*Н. Н. КРАВЧЕНКО*

*Белорусская железная дорога, г. Могилев*

На Белорусской железной дороге эксплуатируется температурно-напряженная конструкция бесстыкового пути без сезонных разрядок температурных напряжений с типом рельсов Р65 на железобетонных шпалах со скреплениями КБ или СБ-3 и щебеночном балласте.

Основное отличие работы бесстыкового пути от звеньевых заключается в том, что в рельсовых плетях возникают существенные продольные силы, обусловленные колебаниями температуры относительно температуры их закрепления. Повышение температуры рельсовых плетей по сравнению с температурой, при которой их укладывали и закрепляли, вызывает рост продольных сил сжатия, а понижение температуры – сил растяжения. В ясную погоду под воздействием солнечной энергии температура рельса может превышать температуру воздуха до 20 °С. Поэтому летом в первую очередь необходимо обеспечить устойчивость бесстыкового пути против температурного выброса, когда силы сжатия в рельсовых плетях могут достигнуть предельно допустимых значений.

В зависимости от плана участка, типа рельсов, конструкции скреплений, шпал, балласта в каждом конкретном случае наибольшее количество градусов, на которое можно допустить повышение температуры рельсовой плети по сравнению с её температурой при укладке, определится из условий устойчивости в зависимости от того, какая из этих величин окажется меньше. Если при укладке бесстыкового пути допустимая годовая амплитуда колебаний температуры рельса бесстыкового пути больше годовой амплитуды колебаний температуры рельса по местным условиям, т. е.  $[T] \geq T_a$ , то такой температурно-напряжённый бесстыковой путь не требует сезонных разрядок температурных напряжений и является наиболее эффективным.

Если годовая амплитуда колебаний температуры рельса больше допустимой, т. е.  $T_a > [T]$ , то применить можно лишь температурно-напряжённый бесстыковой путь с периодической (сезонной) разрядкой напряжений. При таком пути годовую амплитуду колебаний температуры рельсовой плети делят на части. Весной и осенью ежегодно освобождают от закрепления плети и имеющиеся в ней температурные напряжения ликвидируют. Это, конечно, усложняет текущее содержание пути. В соответствии с большими продольными силами, возникающими в бесстыковой рельсовой плети при изменениях температуры, к такой конструкции пути предъявляются повышенные требования.

На Белорусской железной дороге в зависимости от региона годовая амплитуда колебаний температур рельсовых плетей составляет 91–97 °С. Закрепление плетей бесстыкового пути в оптимальном интервале температур позволяет эксплуатировать его без сезонной разрядки температурных напряжений. До 2017 года на Белорусской железной дороге был установлен единый для всех регионов оптимальный интервал температур закрепления рельсовых плетей, который составлял 25–35 °С. На сегодняшний день с целью облегчения температурной работы бесстыкового пути введено районирование Белорусской железной дороги для установления дифференцированных оптимальных интервалов температур закрепления в зависимости от климатических, эксплуатационных и конструктивных условий. Теперь нижняя граница оптимального интервала температур закрепления в зависимости от района и плана линии колеблется в пределах 27–30 °С, верхняя – 37–40 °С.

Для компенсации изменений длины концевых частей рельсовых плетей при изменениях температуры между концами плетей укладываются уравнивательные рельсы. Уравнивательные рельсы создают возможность, если это необходимо, произвести разрядку температурных напряжений, для ремонта пути или по техническим указаниям содержания бесстыковой плети.

Температурная работа бесстыкового пути определяется погонным и стыковым сопротивлением температурным деформациям рельсовых плетей. Указанные сопротивления зависят от натяжения стыковых, закладных и клеммных болтов.

Наблюдения за работой бесстыкового пути начинаются с момента его устройства. Особой заботой работников дистанции пути должно быть предотвращение угона плетей бесстыкового пути, который вызывает нарушение установленного температурно-напряжённого режима их работы и может привести к опасным концентрациям растягивающих или сжимающих напряжений в плетях [1].

Величина продольных температурных сил не зависит от длины плетей бесстыкового пути. Вместе с тем их увеличение до длины блок-участка, одного или нескольких перегонов позволяет существенно уменьшить количество уравнивательных пролетов и стыков, а соответственно, и более слабых участков пути, наиболее подверженных интенсивному расстройству.

Ликвидировать уравнивательные пролеты и реализовать бесстыковой путь неограниченной длины возможно при внедрении тональных рельсовых цепей. Кроме того, при устройстве тональных рельсовых цепей с целью обеспечения последующей надежности их функционирования целесообразно исключить стыковые соединения по всей длине перегона. Применение тональных рельсовых цепей экономически целесообразно, поскольку связано с исключением затрат на закупку элементов

изолирующих стыков для замены изношенных, плановую переборку изолирующих стыков, приобретение оборудования и работу машины ВПО-3000 для снижения уровня намагниченности концов рельсов на границах блок-участков, закупку приварных и дублирующих стыковых соединителей, приварку и замену стыковых соединителей, расход элементов стыковых креплений для токопроводящих стыков.

Например, на одном из участков Белорусской железной дороги за счет ликвидации уравнильных пролетов могут быть получены рельсовые плети длиной в перегон, длина которых составит 14476 м (от стыка уравнильных пролетов рельсовых плетей бесстыкового пути перед стрелочным переводом до стыка уравнильных пролетов рельсовых плетей бесстыкового пути перед входным сигналом станции). Для этого потребуются произвести работы по сварке рельсов в пути машиной ПРСМ в объеме 106 стыков.

Суммарные затраты на изменение конструкции верхнего строения пути на рассматриваемом перегоне можно рассчитать исходя из затрат на фонд оплаты труда работников дистанции пути и РСП, задействованных в работах по сварке рельсовых плетей длиной до протяженности перегона. Исходя из производительности машины ПРСМ в шестичасовое «окно» в объеме 4 сварных стыков на выполнение 106 сварных стыков потребуется 27 «окон». В итоге суммарные затраты на изменение конструкции верхнего строения пути на данном участке составят 24,9 тыс. руб.

Повторное использование снятых 172 стыковых накладок Р65, 86 электротяговых стыковых соединителей, 4 комплектов изолирующих накладок «Апатэк», 516 стыковых болтов Р65 в комплекте с гайкой и шайбой даст экономический эффект на общую сумму 24,68 руб.

Уменьшение эксплуатационных затрат на текущее содержание участка пути в течение года за счет сокращения численности монтеров пути на обслуживание ввиду увеличения длины плетей бесстыкового пути и ликвидации уравнильных пролетов даст экономию 11,3 руб.

В итоге годовой экономический эффект от обустройства рельсовых плетей бесстыкового пути длиной до перегона протяженностью 14,5 км составит 11,0 тыс. руб.

Таким образом, ликвидируя или сокращая число уравнильных пролетов и увеличивая длину рельсовых плетей, уменьшается расход материалов и рабочей силы, повышается технико-экономическая эффективность бесстыкового пути и уровень безопасности движения поездов.

#### Список литературы

1 СТП БЧ 56.269–2013. Бесстыковой путь. Устройство, укладка, содержание и ремонт : утв. приказом зам. нач. Бел. ж. д. от 14.08.2013 № 772НЗ. – Минск, 2013. – 115 с.

2 СТП БЧ 56.373–2017. Бесстыковой путь. Оптимальные интервалы температур закрепления рельсовых плетей на Белорусской железной дороге : утв. приказом зам. Нач. Бел. ж. д. от 19.12.2017 № 1280НЗ. – Минск, 2017. – 29 с.

УДК 624

### УЧЕТ ТРЕБОВАНИЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ИНФРАСТРУКТУРЫ ДЛЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО КЕМПИНГА

*О. М. ОСТРИКОВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

*В. О. ОСТРИКОВ*

*Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого, г. Гомель*

*М. Я. ОСТРИКОВА*

*Институт леса НАН Беларуси, г. Гомель*

Кемпинговый туризм в настоящее время является бурно развивающейся сферой коммерческой деятельности [1–4]. Одним из основных ее направлений является автотуризм [1–3]. Это дает основание полагать перспективность развития кемпинга с использованием возможностей железнодорожного транспорта. Проектирование инфраструктуры для железнодорожного кемпинга необходимо вести с учетом всех требований безопасности, принятых не только для железнодорожного транспорта, но и для организации системы кемпингов [4].

Целью данной работы стало рассмотрение возможности применения норм безопасности, принятых на железнодорожном транспорте и в организации автомобильного кемпинга, для железнодорожного кемпинга.

Пусть понятие железнодорожного кемпинга включает в себя организацию кемпингового туризма с использованием железнодорожного транспорта и железнодорожной транспортной инфраструктуры. Предполагается использование в этих целях пассажирских вагонов и создание городков из этих вагонов.

Пример организации железнодорожной транспортной инфраструктуры приведен на рисунке 1.

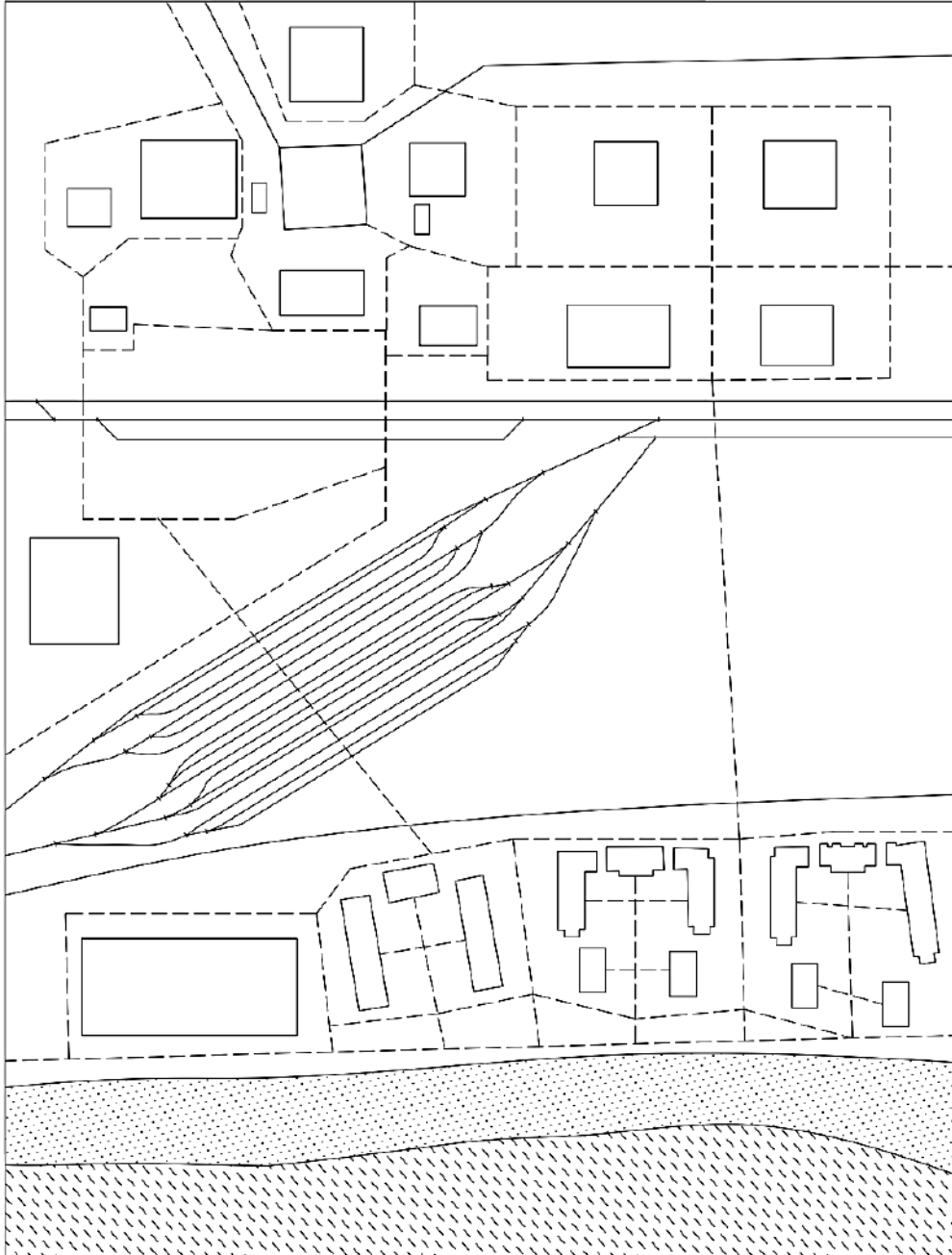


Рисунок 1 – Пример реализации инфраструктуры для железнодорожного кемпинга (схема)

Следует отметить необходимость проектирования удобной транспортной развязки для формирования вагонных городков. В проекте должны быть предусмотрены возможности доступа у туристов к питьевой воде, источнику электроэнергии, стационарным зонам отдыха, санитарным зонам. У кемпинговой площадки целесообразно размещение торговых точек, развлекательных центров,

мест общественного питания. При этом необходимо учитывать правила пожарной безопасности, электробезопасности, охраны окружающей среды. Разработка специальных требований безопасности при проектировании инфраструктуры железнодорожного кемпинга должна основываться на нормах безопасности, принятых при проектировании железнодорожной транспортной инфраструктуры и инфраструктуры автомобильного кемпинга.

Таким образом, определено понятие железнодорожного кемпинга и дана рекомендация о применении в разработке норм безопасности, принятых при проектировании железнодорожной транспортной инфраструктуры и инфраструктуры автомобильного кемпинга.

#### Список литературы

- 1 **Корнеев, А. А.** Современное состояние и перспективы развития автотуризма в Российской Федерации / А. А. Корнеев, А. С. Ермаков // Сервис в России и за рубежом. – 2014. – Т. 8. № 2 (49). – С. 34–39.
- 2 **Ермаков, А. С.** Анализ требований, предъявляемых к средствам размещения автотуристов / А. С. Ермаков, А. А. Корнеев, Д. А. Черепанов // Сервис plus. – 2014. – № 2. – С. 65–70.
- 3 **Друганов, С. П.** Инфраструктура автомобильного туризма в России: состояние и проблемы развития / С. П. Друганов // Кавказские научные записки. – 2012. – № 1 (10). – С. 195–201.
- 4 Рекомендации по организационно-методическому и нормативно-правовому обеспечению развития системы кемпингов и сопутствующих услуг в Республике Беларусь. Производственно-практическое издание. – Минск : Национальное агентство по туризму, 2014. – 92 с.

УДК 625.7/.8

### АНАЛИЗ КОСВЕННЫХ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ЗАТРАТ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И РЕМОНТЕ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ

*В. В. ПЕТРУСЕВИЧ, И. С. ДЕМИДОВИЧ, А. С. ШИПИЛЕВ*  
*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В целях обеспечения сопоставимости плановых и фактических затрат, включаемых в себестоимость дорожно-строительных, ремонтно-восстановительных работ и работ по содержанию дорог, обеспечения эффективности внутрихозяйственного расчета, получения объективной информации для принятия управленческих решений организациями может производиться следующая группировка затрат: по экономическим элементам; калькуляционным статьям; видам работ, услуг, продукции; видам производств; местам возникновения затрат; способу включения произведенных затрат в себестоимость; видам деятельности.

В повседневной практике планирования, учета и калькулирования себестоимости используется группировка затрат по экономическим элементам (рисунок 1), при этом другие виды классификации затрат применяются в информационно-аналитических целях [1–3].

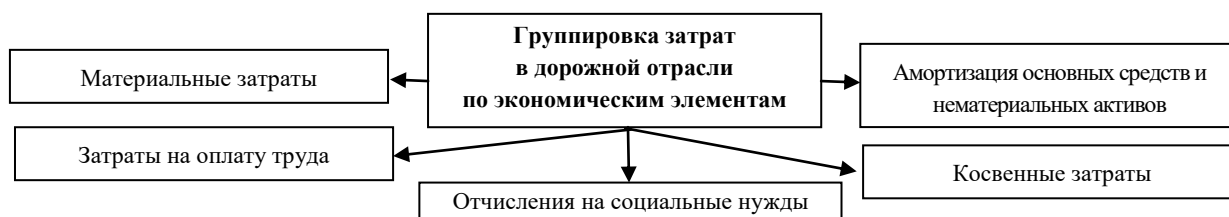


Рисунок 1 – Группировка затрат по экономическим элементам

Особенность дорожных работ заключается в том, что производственный процесс постоянно перемещается при неподвижности строительной продукции, что определяет специальные требования при организации строительных, ремонтно-восстановительных и работ по содержанию таких объектов в эксплуатации, и стоимость указанных на рисунке 1 «косвенных затрат» стоит учитывать, так как на реализацию Государственной программы «Дороги Беларуси» в 2021–2025 годах запланированы значительные денежные затраты [4]. К косвенным затратам при поведении строительства или ремонта автомобильной дороги согласно [1–3] стоит отнести следующие (рисунок 2).

<b>Косвенные затраты</b>	
Налоги, сборы (пошлины) и другие обязательные отчисления в государственные фонды	Оплата услуг вычислительных центров и банков
Платежи за использование (изъятие, добычу) природных ресурсов, выбросы загрязняющих веществ в атмосферу	Оплата услуг охраны имущества, затраты на противопожарное обслуживание, аварийно-спасательными службами
Платежи за организацию сбора, обезвреживания и (или) использования отходов и тары	Оплата консультативных, информационных и аудиторских услуг
Страховые взносы по видам обязательного страхования	Затраты на проведение испытаний в области технического нормирования и стандартизации
Затраты на оплату услуг связи	Оплата работ по аккредитации и подтверждению соответствия объектов оценки требованиям технических нормативно-правовых актов
Лизинговые платежи и арендная плата	Вознаграждение за создание и использование объектов промышленной собственности
Командировочные расходы, расходы на проведение собраний, коллегий и совещаний	Другие затраты

Рисунок 2 – Косвенные затраты в дорожном строительстве

Анализируя рисунок 2, следует отметить, что имеется значительное количество косвенных затрат, которые влияют на показатели рентабельности строительства и ремонта автомобильной дороги.

Эффективность строительства и ремонта дорожной сети в значительной мере зависит от правильности выбора оптимальных проектных и организационно-технологических решений. Важная роль при этом принадлежит специалистам, участвующим в определении необходимых инвестиционных ресурсов, а также оценке экономической эффективности инвестиционных затрат. В условиях рыночной экономики и ограниченности финансирования дорожного хозяйства повышается значение эффективного решения технических вопросов.

#### Список литературы

- 1 Лобан, Л. А. Экономика предприятия / Л. А. Лобан. – Минск : Мисанта, 2003. – 210 с.
- 2 Руководство по оценке экономической эффективности использования в дорожном хозяйстве инноваций и достижений научно-технического прогресса : ОДМД / Минтранс РФ. – М. : Информавтодор, 2002. – 71 с.
- 3 Куприянич, А. А. Организация труда и планирование в дорожном хозяйстве : пособие для студентов специальности 1-70 03 01 «Автомобильные дороги» / А. А. Куприянич, Ж. В. Реут, Е. П. Ходан. – Минск : БНТУ, 2016. – 77 с.
- 4 О Государственной программе «Дороги Беларуси» на 2021–2025 годы [Электронный ресурс] : постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 09 апреля 2021 г., № 212 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2021.

УДК 625.74

## МАЛОЗАТРАТНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ ПО ПОВЫШЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ

*В. О. ПОРИН, С. А. ЧУДИНОВ*

*Уральский государственный лесотехнический университет,  
г. Екатеринбург, Российская Федерация*

Мероприятия по повышению безопасности дорожного движения в местах концентрации дорожно-транспортных происшествий по экономическим показателям разделяются на группы:

– затратные (капиталоемкие), которые требуют больших затрат на реализацию. К ним относятся изменение геометрических параметров дороги, ее оси, устройство развязок в разных уровнях;



– малозатратные (некапиталоемкие), к которым относится монтаж дорожных знаков, нанесение дорожной разметки, а также монтаж ограждений и направляющих устройств.

Проведение указанных мероприятий приводит к социально-экономическим выгодам в результате снижения аварийности на участке автомобильной дороги и сокращения потерь от ДТП.

Целью малозатратных мероприятий является снижение уровня аварийности на участке дороги при минимальных затратах: путем устройства дорожных знаков, разметки или прочих средств обеспечения безопасности. Из результатов исследования, проведенного Английским обществом по предотвращению аварий, можно сделать вывод, что при применении разметки, знаков, островков безопасности происходит общее снижение количества ДТП от 34 до 67 % [1].

Особое внимание уделяется цветовому восприятию водителями дорожных знаков. На участках с высоким риском дорожно-транспортных происшествий следует устанавливать знаки на щитах желто-зеленого цвета и аналогичные индивидуальные щиты, которые будут предупреждать водителей об опасных участках дороги с указанием причин.

Дорожные знаки – наиболее эффективное средство по предотвращению ДТП. В этом вопросе важнейшую роль играет вопрос достижения полноценного своевременного информирования водителей об опасностях на дороге. Необходимо, чтобы существующие знаки находились в удовлетворительном состоянии, а новые знаки должны устанавливаться так, чтобы привлекать внимание водителя. Следует особо отметить, что избыток рекламных щитов в придорожной полосе наносит вред вниманию и концентрации на знаках при управлении транспортным средством.

На участках, подверженных концентрации ДТП, рекомендуется устанавливать дорожные знаки с использованием световозвращающей пленки типа Б для двухполосных дорог, и типа В – для многополосных дорог. Пленку типа В также следует применять на знаках, устанавливаемых в местах пересечения железнодорожных путей (переездах), мостах, развязках, пересечениях в разных уровнях.

Дорожная разметка предназначена для ориентирования в пределах проезжей части и информирования о режимах движения. Особо важную роль она играет в темное время суток и при плохих погодных условиях: в сильный дождь, снегопад, метель, туман и т. д. В статистическом сравнении с дорожными знаками, разметка не настолько эффективна в вопросе снижения количества ДТП. Связано это с тем, что водители нередко нарушают правила дорожного движения и пренебрегают разметкой, либо разметку не видно ввиду плохих условий видимости на дороге.

Разметку необходимо восстанавливать по мере ее износа. В местах концентрации ДТП, на участках с четырьмя и более полосами движения для нанесения разметки следует использовать износостойкие материалы, а также материалы, обеспечивающие наибольшую видимость в трудных условиях, например, термопластики, которые набрали в наши дни большую популярность благодаря способности окупать себестоимость долговечностью. Они дороже эмалей, но эксплуатируются на дороге значительно дольше.

Термопластик – это размягчаемый при нагревании покрасочный материал, внешне – сыпучее вещество, состоящее из минеральных наполнителей, полимерных эфирных связующих, пластификаторов и пигментов. Для нанесения на дорожное покрытие, смесь термопластика разогревают при высокой температуре 180–200 °С, размещают, остужают, после чего образуется твердое непрозрачное покрытие. Минимальное время вымешивания составляет 40–45 минут, в противном случае могут образоваться нерасплавленные твердые комочки смеси с последующей потерей необходимых значений важных физико-механических параметров: прочности, адгезии, эластичности. Разметку устраивают при поддерживаемой температуре 160 °С слоем 2–4 мм специальными разметочными машинами. Время твердения – от нескольких минут до трети часа в зависимости от множества условий, в том числе погодных. Требуемая температура воздуха для нанесения разметки – от 5 до 35 °С, влажность воздуха – не более 80 %. Технология использования термопластика также предоставляет возможность нанесения специальных стеклошариков, обеспечивающих светоотражение в темное время суток.

В отличие от красок в термопластиках отсутствуют легко испаряемые компоненты и растворители. Это приводит к снижению отрицательного воздействия на экологию, а также улучшает условия труда при разметочных работах. Большинство производителей при производстве материалов используют смолы и наполнители натурального происхождения, которые не наносят вреда при изготовлении и использовании. В процессе эксплуатации и истирания, разметочные материалы не нарушают естественного природного баланса.

Наиболее опасным видом ДТП является выезд транспортного средства на полосу встречного движения с последующим выносом за пределы земляного полотна ввиду потери управления либо столкновением с другим транспортным средством или препятствием. Для предотвращения таких ситуаций устанавливают ограждения барьерного, парапетного типов:

- на обочинах автомобильных дорог;
- на газоне, полосе между тротуаром и бровкой земляного полотна, на разделительной полосе;
- с обеих сторон проезжей части мостового сооружения;

Барьерное ограждение выбирается по уровню удерживающей способности для конкретных дорожных условий и места установки. Барьерные ограждения подразделяются на односторонние и двусторонние, а также деформируемые и недеформируемые. Монтаж ограждений барьерного типа на разделительной полосе приводит к снижению количества ДТП на разделительной полосе до 20 %, вдоль обочин – до 50 %.

Переоценить роль дорожных знаков, разметки и ограждений в вопросе безопасности движения практически невозможно, что подтверждают многочисленные исследования. Конечно же, вектор развития сферы автомобильных дорог, дорожного движения и автотранспорта должен устремляться в сторону обеспечения безопасности, в том числе с помощью средств организации дорожного движения.

#### Список литературы

1 Справочник лучших практик проведения работ по совершенствованию дорожных условий и устранению мест концентрации ДТП на дорожной сети городских агломераций в рамках реализации ПКРТИ : проект. – ФАУ РОСДОРНИИ, 2018. – 220 с.

2 **Порин, В. О.** Особенности технологии устройства термопластиков для разметки автомобильных дорог / В. О. Порин, С. А. Чудинов // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России [Электронный ресурс] : материалы XVI Всерос. науч.-техн. конф. – Екатеринбург : УГЛТУ, 2020. – С. 243–246.

3 **Чудинов, С. А.** Особенности проектирования уширений на криволинейных участках автомобильных дорог / С. А. Чудинов, В. О. Порин // Химия. Экология. Урбанистика : материалы Всерос. науч.-практ. конф. с международным участием. – Пермь : ПНИПУ, 2021. – С. 111–115.

4 **Абрамов, Я. И.** Применение тросовых удерживающих ограждений на автомобильных дорогах / Я. И. Абрамов, С. А. Чудинов // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России : материалы IX Всерос. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов и конкурса по программе «Умник». Ч. 2. – Екатеринбург : УГЛТУ, 2013. – С. 5–8.

УДК 624.21/.8:656.2.08

## ВОДОПРОПУСКНЫЕ ТРУБЫ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ПУТИ КАК ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ УЧАСТНИКОВ ДВИЖЕНИЯ

*Н. В. ПШЕНИСНОВ*

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

Горьковская железная дорога – одна из основных магистралей ОАО «РЖД», расположена в Приволжском федеральном округе и имеет общую протяженность 85281 км железнодорожного пути. В 2021 году грузооборот дороги составил 169 млрд т·км, перевезено более 31 млн пассажиров. Ежегодно на полигоне Горьковской железной дороги получают травмы более 200 человек, из них более 150 – смертельные. Также в среднем за год на железнодорожных путях горьковской магистрали гибнет более 9000 голов домашнего скота и более 45000 голов диких животных. Более 15 несчастных случаев ежегодно фиксируется при попытке пересечения железнодорожных путей автомобильным транспортом в неустановленных местах. Так, материальный ущерб от подобных случаев в 2021 году превысил 19 млрд руб. по оценке специалистов ГЖД и 68 млрд руб. при оценке независимых экспертов.

Одним из наиболее перспективных направлений повышения безопасности перевозок (снижения числа несчастных случаев) является инженерно-пространственная изоляция потоков различного вида транспорта. В первую очередь речь идет об адаптации искусственных сооружений, таких как

водопрпускные трубы (рисунок 1), для пропуска внутри земляного полотна не только водных масс, но и животных, пешеходов, а также мало- и среднегабаритного колесного транспорта. Несомненно, что подобная адаптация повлечет за собой изменения в конструкции самих водопрпускных труб, модернизацию насыпи земляного полотна, уточнения в состав работ по ремонту и обслуживанию пути.

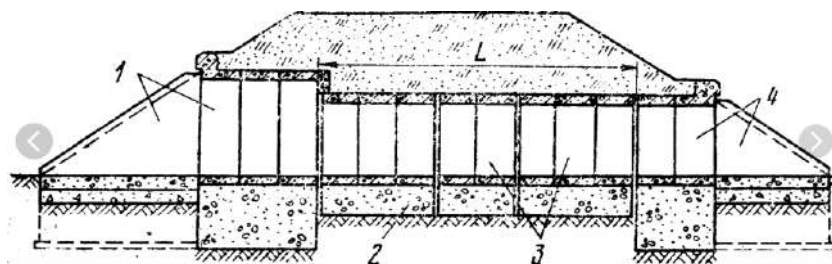


Рисунок 1 – Общая схема водопрпускной трубы:  
1 – входной оголовок; 2 – фундамент; 3 – секции трубы; 4 – выходной оголовок

Наибольшему изменению должен подвергнуться фундамент водопрпускной трубы, поскольку в случае пропуска колесного транспорта на него ложится не только нагрузка от веса самой трубы и пропускаемой массы воды, но и вес автомобильного транспорта, причем коэффициент запаса прочности должен быть существенно выше, чем в классическом варианте. Кроме того, представляется малоперспективным в таком случае строительство железобетонной сборной типовой водопрпускной трубы, поскольку в данном случае невозможна ее адаптация к реальным подъездным путям, к фундаменту по индивидуальному проекту, интеграция в основную площадку трубы и проезжей части для автомобилей, и искусственного русла для водной массы. Входной и выходной оголовки также целесообразно адаптировать к новым функциям, поскольку теперь они должны не только защищать насыпь от водного потока и гарантировать стабильность ее геометрических параметров, но и защищать проходящий внутри трубы транспорт от механических внешних повреждений, а также обеспечивать плавность перехода проезжей части из тела трубы на устои.

Насыпь земляного полотна также должна подвергнуться заметным модернизациям для гарантированной качественной работы при выполнении новых задач. В настоящее время нормативной документацией установлена минимальная толщина земляного полотна в 500 мм вне зависимости от типа грунта и диаметра водопрпускной трубы. Предварительные расчеты показывают, что величина  $h$  (рисунок 2), гарантирующая устойчивую и надежную работу насыпи земляного полотна, имеет тесную корреляционную связь с типом грунта, из которого сооружена сама насыпь и соотношения величин  $h$  и  $H$ , а также соотношений  $l$  и  $H$ . Предварительные расчеты дают лишь общее представление о данной закономерности и обеспечивают наличие практического интереса к изучению данного вопроса отдельно.

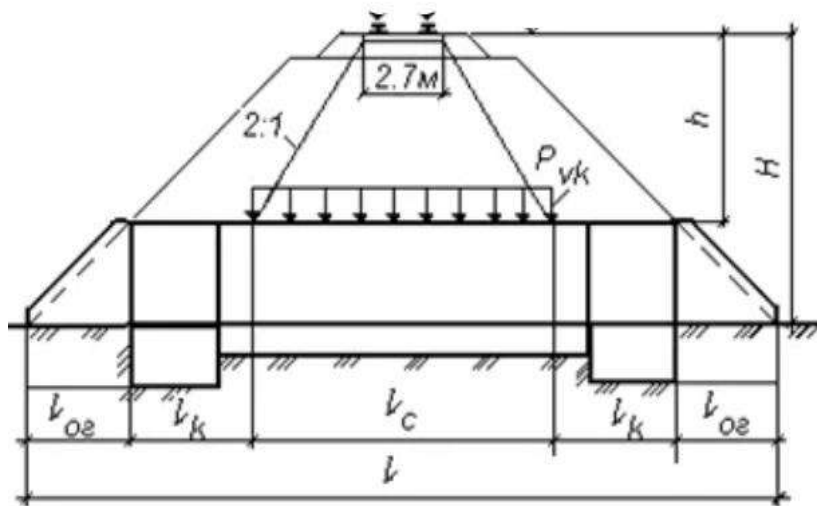


Рисунок 2 – Насыпь земляного полотна над водопрпускной трубой:  
 $h$  – высота земляного полотна над водопрпускной трубой;  $H$  – высота земляного полотна, включая водопрпускную трубу;  
 $l$  – длина водопрпускной трубы

Экономическая целесообразность использования водопрпускной трубы вместо железнодорожного переезда также имеет крайне важное значение для принятия окончательного решения. При технической возможности такого решения (рельеф местности, возможность сооружения подъездных путей и т. д.) стоимость данной замены будет решающим фактором. С учетом того, что около 50 % стоимости со-

оружения приходится на монтажно-строительные работы, а стоимость одного сооружения в ценах 2021 года колеблется в пределах 5,5–15 млн руб., становится очевидной необходимость снижения затрат на ее монтаж. Достичь этого можно лишь одним способом – объединить этот компонент с другой технологической операцией. Наиболее подходящим симбиозом, на наш взгляд, является включение установки водопропускной трубы в состав капитального ремонта пути первого уровня (по необходимости), поскольку в настоящей номенклатуре такого компонента нет ни в одном из видов ремонта существующего пути, и беспрепятственно к его использованию можно прибегнуть лишь при строительстве новых участков. Однако основные проблемные переезды расположены на уже действующих переездах, поэтому очевидна необходимость внесения изменений в нормативную документацию, и этот момент подлежит отдельному тщательному рассмотрению и изучению. Интуитивно понятно, что в условиях, когда проводится полная замена верхнего строения пути, включая балластную призму, а также (по мере необходимости) правка геометрии земляного полотна, существенно (до 30–40 %) снижаются затраты на монтаж водопропускной трубы.

В целом, несомненно, при замене переездов на многофункциональные водопропускные трубы существенно снизится количество аварийных ситуаций, сократятся потери ОАО «РЖД», связанные с компенсацией ущерба, повысится безопасность движения поездов и, самое главное, будут сохранены жизни участников движения.

#### Список литературы

1 **Измайлова, А. Р.** Искусственные сооружения как инфраструктурный инструмент обеспечения безопасности участников движения / А. Р. Измайлова, Н. В. Пшениснов // Обеспечение безопасности движения как перспективное направление совершенствования транспортной инфраструктуры : материалы Междунар. студ. науч.-практ. конф. (Нижний Новгород, 07 апреля 2022 года). – Нижний Новгород : Филиал СамГУПС, 2022. – С. 114–117.

2 **Пшениснов, Н. В.** Архитектура транспортных сооружений : учеб. / Н. В. Пшениснов. – Нижний Новгород : Стимул-СТ, 2021. – 281 с.

3 **Пшениснов, Н. В.** Использование искусственных сооружений на железнодорожном пути для обеспечения безопасности участников движения / Н. В. Пшениснов // 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. 298–299.

4 **Румянцева, А. С.** Определение параметров земляного полотна над водопропускными трубами / А. С. Румянцева, Е. В. Архаров, Н. В. Пшениснов // Обеспечение безопасности движения как перспективное направление совершенствования транспортной инфраструктуры : материалы Междунар. студ. науч.-практ. конф. (Нижний Новгород, 07 апреля 2022 г.). – Нижний Новгород : СамГУПС, 2022. – С. 261–264.

УДК 625.1

## ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ОБЪЕКТОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

*К. И. РАДКЕВИЧ, Д. С. НИКИТЯНИН*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Цель данного исследования является разработка подходов к восстановлению пропускной способности путевых объектов железнодорожной инфраструктуры в мирное время и одновременное сокращение сроков на их восстановление в военное время.

В последние годы непрерывно возрастают потребности населения в деловых и частных поездках, происходит перераспределение грузоперевозок внутри страны и между странами. В случае наступления военного времени, стремления вероятного противника вывести из строя наиболее важные объекты государственного значения (в данном случае железнодорожные) возникает угроза всей народнохозяйственной деятельности. Поэтому ежегодно проводятся совместные тактико-специальные учения транспортных войск Республики Беларусь и железной дороги, просчитываются все возможные варианты событий, прорабатываются пути их решений.

Авторами разработан и предлагается формат взаимодействия в ходе совместных учений Белорусской железной дороги и транспортных войск в мирное время на примере железнодорожных участков и отдельных пунктов. Взаимодействие заключается в создании вариантов устранения наиболее вероятных мест удара противника. Такими местами с высокой долей вероятности могут быть искусственные сооружения, особенно большие и средние мосты; путевые развязки в разных уровнях; сложные конструкции путевых устройств (двойные перекрестные стрелочные переводы, горки, парки и т. д.).

Проведенная работа позволяет сформировать следующие выводы:

– железная дорога имеет важное стратегическое значение. В случае удара противника ее работа будет усложнена. Ввиду крайне ограниченного в республике производства элементов верхнего строения пути (рельсов, стрелочных переводов и т. д.) необходимо предусмотреть альтернативные варианты замены поврежденных конструкций;

– исходя из опыта военных конфликтов в ходе военных действий удары могут быть нанесены по наиболее важным объектам железнодорожной инфраструктуры. Крайне необходимо в мирное время проработать все возможные варианты защиты таких критических объектов инфраструктуры.

#### Список литературы

1 **Махаев, К. В.** Организация и производство восстановительных работ на участке путевого батальона : учеб.-метод. пособие / К. В. Махаев, В. В. Петрусевич. – Гомель : БелГУТ, 2017. – 189 с.

2 **Бобрицкий, С. М.** Укрупненные нормы времени и трудозатрат на восстановление железнодорожных мостов : учеб.-метод. пособие / С. М. Бобрицкий, Р. Ю. Долманюк. – Гомель : БелГУТ, 2016. – 125 с.

УДК 621.92

### ПЕРСПЕКТИВА ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ШЛИФОВАНИЯ РЕЛЬСОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ

*В. Г. РАХЧЕЕВ, И. С. МАКСИМОВ, С. А. ГАЛАНСКИЙ, О. М. ВАСИЛЬЕВА, А. В. ТАРАСОВ*  
*Самарский государственный университет путей сообщения, Российская Федерация*

Шлифование рельсов является важной технологической операцией при ремонте и содержании железнодорожного пути. Качественно подготовленный железнодорожный путь при шлифовании продлевает его ресурс и улучшает комфортабельность пассажирских перевозок.

В настоящее время шлифование рельсов производится рельсошлифовальными поездами РШП-48. При этом применяются 48 абразивных кругов, которые установлены под определенным углом к обрабатываемой поверхности головки рельса (рисунок 1).

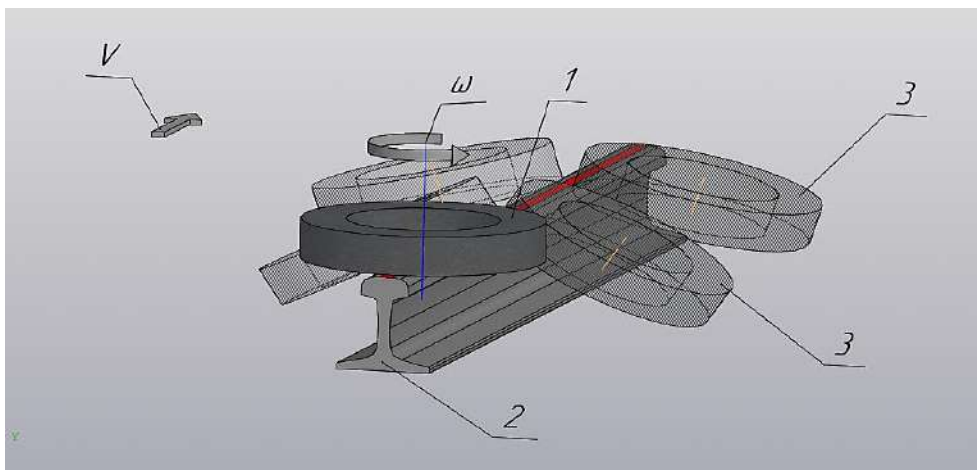


Рисунок 1 – Схема существующего способа шлифования рельсов:

1 – шлифовальный круг; 2 – рельсы железнодорожного пути; 3 – шлифовальные круги, расположенные под углом к поверхности катания;  $V$  – направление движения рельсошлифовального поезда, км/ч;  
 $\omega$  – окружная скорость абразивных кругов, рад/с

Недостатком существующего способа шлифования рельсов является низкая производительность. Это происходит из-за того, что применяемые абразивные круги имеют незначительные размеры. Наружный диаметр – 380 мм, а внутренний – 240 мм. Для удаления заданного дефектного слоя с головки рельсов РШП-48 приходится совершать 3–4 прохода].

Для повышения производительности процесса шлифования рельсов предлагается новый способ (рисунок 2).

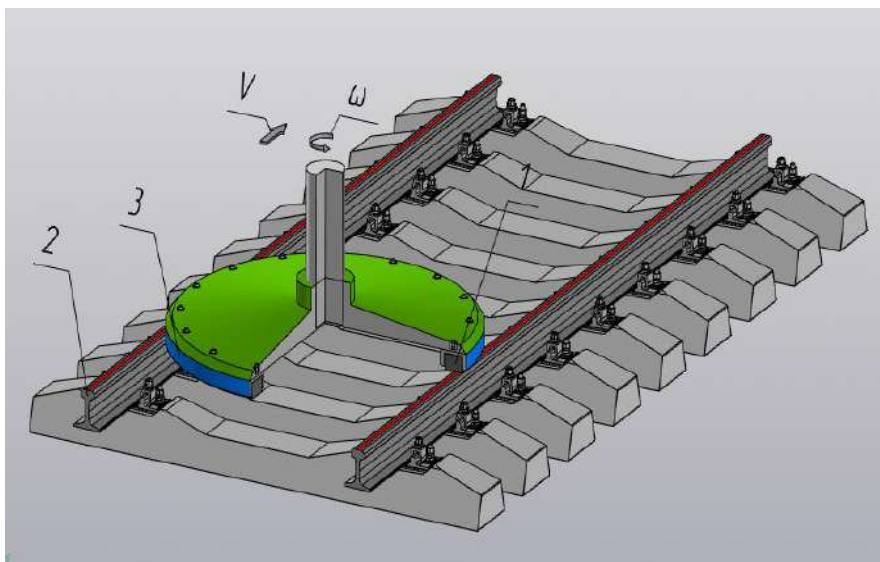


Рисунок 2 – Схема нового способа шлифования:  
 1 – шлифовальный круг; 2 – рельсы железнодорожного пути; 3 – планшайба;  
*V* – направление движения рельсошлифовального поезда, км/ч;  $\omega$  – окружная скорость абразивных кругов, рад/с

Согласно новой схеме шлифования обработка обоих рельсов производится одновременно одним кругом с наружным диаметром 1600 мм, и внутренним 1400 мм.

Предлагаемый абразивный круг является сборным из отдельных элементов (рисунок 3).

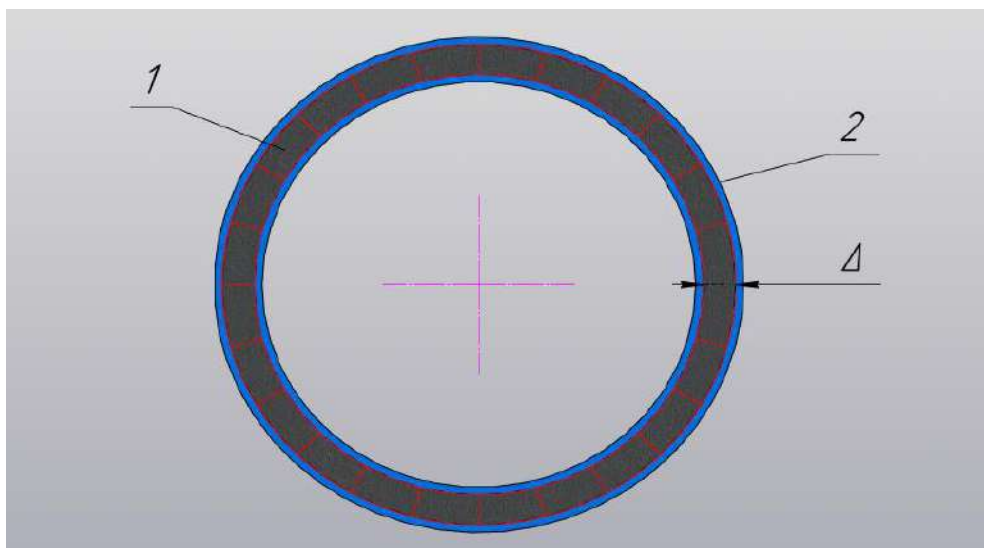


Рисунок 3 – Сборный абразивный круг:  
 1 – абразивные сегменты; 2 – планшайба;  $\Delta$  – ширина абразивной зоны

Сборный абразивный круг крепится снизу к рабочим органам рельсошлифовального поезда РШП (рисунок 4).

Сравнительный анализ существующего и нового способов шлифования проводится по следующим аналитическим зависимостям:

Скорость шлифования, м/с, определяется по формуле

$$v_{\text{шл}} = \frac{\pi D n}{1000 \cdot 60},$$

где *D* – наружный диаметр абразивного круга, м; *n* – частота вращения круга, об/мин;



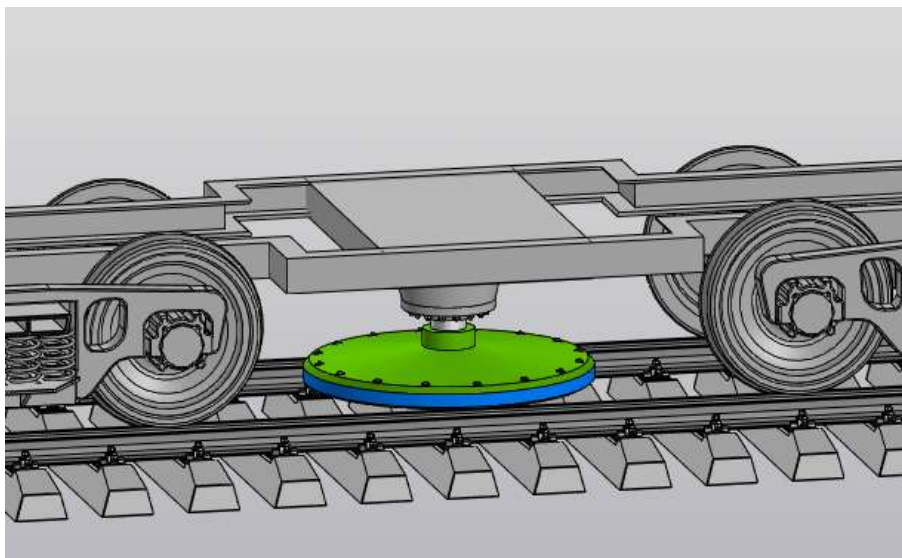


Рисунок 4 – Общий вид рельсошлифовального поезда со сборным абразивным кругом

Время прохождения поездом зоны шлифования, ч:

$$t = \frac{2D}{v_{\pi}},$$

где  $v_{\pi}$  – скорость поезда, км/ч.

За время шлифования  $t$  круг делает количество оборотов  $N$ ,

$$N = nt.$$

При этом обрабатываемая площадь на головке рельса за время  $t$

$$S = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)tn,$$

где  $d$  – внутренний диаметр круга.

Среднюю толщину слоя, снимаемого абразивным кругом, при существующем и новом способах шлифования рельсов определяют путем деления объема удаляемого металла на фактическую площадь шлифуемой поверхности:

$$a_{\text{ср}} = \frac{Stn}{ltn} = \frac{\pi(D^2 - d^2)n}{4\pi l},$$

где  $l$  – длина дуги контакта абразивного круга с обрабатываемой поверхностью головки рельсов, мм.

Число режущих зерен, действующих в пределах дуги контакта, определялось как

$$Z = \frac{l}{l_{\phi}},$$

где  $l_{\phi}$  – фактическое расстояние между режущими абразивными зёрнами.

Связь ширины абразивной зоны шлифовального круга с длиной дуги (как режущих зерен) имеет вид

$$l = \pi(D^2 - (d - \Delta))^2 = \pi\Delta(2D - \Delta),$$

где  $\Delta$  – ширина абразивной зоны шлифовального круга, мм.

Ширина абразивной зоны шлифовального круга с учетом толщины слоя, снимаемого одним режущим зерном, режимных параметров процесса шлифования и геометрии круга, определяются зависимостью

$$\Delta = \frac{1}{4D} \sqrt{\frac{\pi l_{\phi}(D^2 - d^2)}{\pi n a_z}},$$

Результаты исследований производительности при различных способах шлифования рельсов пути приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты исследований производительности при различных способах шлифования рельсов

Способы шлифования рельсов	Скорость шлифования рельсов, м/с	Скорость поезда, км/ч	Толщина срезаемого слоя, мм
Существующий способ шлифования	35	3	0,2
Новый способ шлифования	58	8	0,8

Из приведенных результатов следует, что новый способ шлифования рельсов повышает скорость шлифования в 1,6 раза, увеличивает скорость движения поезда в 2,6 раза и толщину срезаемого слоя в 4 раза.

Таким образом, новый способ шлифования рельсов обеспечивает повышение производительности шлифования рельсов железнодорожного пути.

#### Список литературы

- 1 Профильная обработка рельсов шлифовальными поездами с активными рабочими органами : [монография] / В. Г. Альбрехт [и др.]. – М. : ТЕХИНФОРМ, 1999. – 93 с.
- 2 **Рахчеев, В. Г.** Осциллирующие шлифование рельсов железнодорожного пути / В. Г. Рахчеев, С. А. Галанский, И. С. Максимов // Вестник транспорта Поволжья. – 2019. – № 2 (74). – С. 46–50.
- 3 Повышение эффективности шлифования рельсов железнодорожного пути за счет применения новой конструкции шлифовальных кругов / В. Г. Рахчеев [и др.]. // Молодежная наука в XXI веке: традиции, инновации, векторы развития : материалы Всерос. науч.-исслед. конф. – Ростов н/Д : Южный университет (ИУБиП), 2019. – С. 38–39.
- 4 **Рахчеев, В. Г.** К методике разработки абразивного инструмента для шлифования рельсов в пути / В. Г. Рахчеев, С.А. Галанский, И. С. Максимов // Наука и образование транспорта. – 2020. – № 2. – С. 105–107.
- 5 Теоретические особенности формирования поверхности катания головок рельсов при шлифовании / В. Г. Рахчеев [и др.] // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. – 2021. – № 5 (53). – С. 65–69.
- 6 **Орлов, И. Ю.** Теоретические предпосылки к совершенствованию структурно-механических характеристик рельсошлифовального инструмента / И. Ю. Орлов, С. А. Крюков, Н. В. Байдакова // Тяжелое машиностроение. – 2020. – № 7–8. – С. 34–37.
- 7 **Shumyacher, V. M.** Express control of abrasive tool operational characteristics / V. M. Shumyacher, S. A. Kryukov, O. G. Kulik // Proceedings of the 5th international conference on industrial engineering (icie 2019). – Springer International Publishing, Switzerland AG, 2020. – С. 995–1001.

УДК 625.03

## ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО ПОЛОЖЕНИЯ РЕЛЬСОВОЙ КОЛЕИ В КРИВОЙ НА ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЕЕ СОСТОЯНИЯ

*В. В. РОМАНЕНКО*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Обеспечение плавности движения поездов в значительной мере зависит от правильного содержания пути в плане как на прямолинейных, так и на криволинейных участках. Возникающие углы в прямых участках и нарушение кривизны в круговых кривых вызывают значительные дополнительные инерционные воздействия подвижного состава на путь, которые увеличивают величину отклонения. Для своевременного выявления изменений, проводятся регулярные проверки геометрического положения пути в плане и устранения обнаруженных неисправностей [1].

Состояние железнодорожного пути и устройств на железной дороге проверяется вагонами-путеизмерителями, которые фиксируют величину отклонений геометрических параметров рельсовой колеи. Проверка главных и приемо-отправочных путей вагонами-путеизмерителями производится по графику, в то время как проверка станционных кривых кроме графиковых может выполняться еще и по необходимости.

К особенностям содержания криволинейных участков пути, располагаемых на станциях, можно отнести наличие на них кривых малого радиуса ( $\leq 350$  м). В подобных кривых усиливается влияние факторов, связанных со значительным увеличением поперечных сил от подвижного состава в процессе взаимодействия с путем, что приводит к отсутствию зазора между рабочими



гранями гребня колеса и головки рельса, наличие неисправности пути по уровню, боковых толчков, перекосов пути, углов на стыках, плохой рихтовке и т. п. Подобные явления, при которых колеса подвижного состава набегают то на один, то на другой рельс, могут привести к бросанию вагона из стороны в сторону, что вызывает интенсивный рост остаточных деформаций положения пути в плане и по уровню, которые с течением времени могут существенно изменить положение как переходных, так и круговых кривых [2].

Положение криволинейных участков пути контролируется съемкой стрел изгиба ( $f$ ), то есть расстояний, измеренных от середины хорды до рабочей грани головки рельса наружной нити кривой. В зависимости от скорости движения поездов регламентированы допустимые значения разности стрел изгиба ( $\Delta f$ ), которые показывают степень расстройств кривой в плане [3]. Как правило, съемка производится в точках через 10,0 м от середины хорды длиной 20,0 м, однако в ряде случаев возникает необходимость выполнять измерения в точках через 5,0 м либо 2,0 м, а для установления более точной геометрии рельсовой колеи длина хорды принимается 10,0 м (рисунок 1).

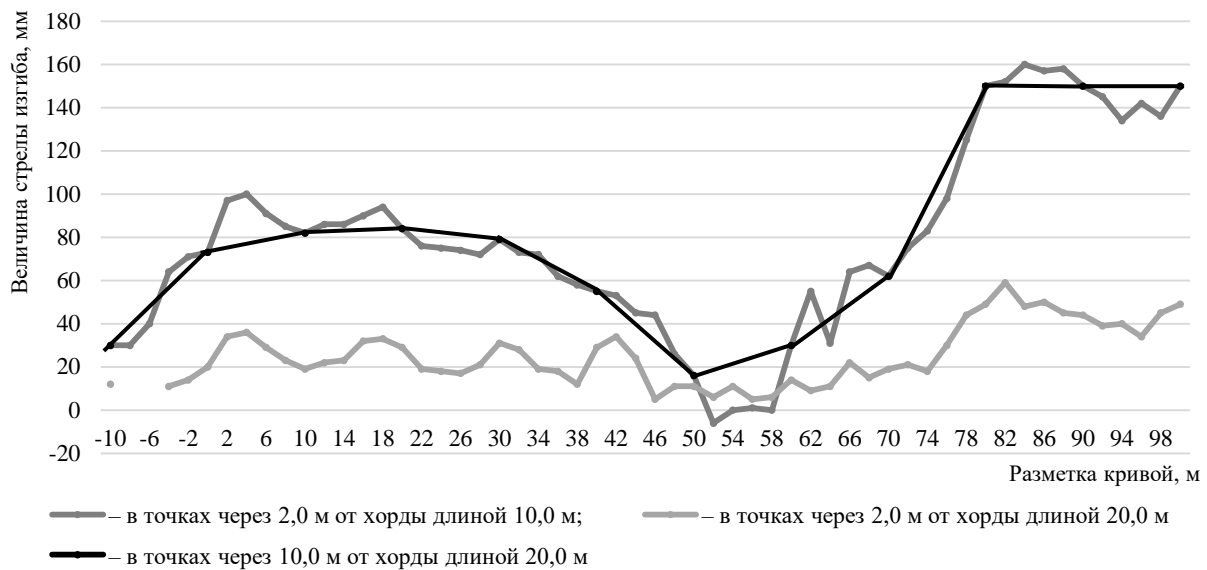


Рисунок 1 – Результаты измерения стрел изгиба криволинейного участка при различных вариантах съемки

Величина стрелы изгиба отражает величину радиуса кривой, который определяется по формуле

$$R = \frac{a^2}{8f}, \quad (1)$$

где  $a$  – длина хорды, м;  $f$  – величина стрелы изгиба, мм.

Таким образом, при известных величинах стрел изгиба возможно определить радиусы (таблица 1).

Таблица 1 – Определение величин радиусов кривой в зависимости от натуральных стрел изгиба

Параметр		Разметка кривой в точках через 10,0 м											
		-10	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Хорда 20 м	Натурные стрелы изгиба, мм	30	73	82	84	79	55	16	30	62	150	150	150
	Разность натуральных стрел изгиба, мм	-43	-5	-2	5	24	39	-14	-32	-88	0	0	
	Радиус кривой в соответствующей точке, м	1667	685	610	595	633	909	3125	1667	806	333	333	333
Хорда 10 м	Натурные стрелы изгиба, мм	-12	20	19	29	31	29	11	14	19	49	44	49
	Разность натуральных стрел изгиба, мм	-8	1	-10	-2	2	18	-3	-5	-30	5	-5	
	Радиус кривой в соответствующей точке, м	1042	625	657	431	403	431	1136	893	657	255	284	255
Разница в величинах радиусов, %		37	9	7	28	36	53	64	46	18	23	18	23

Так как измерения проводились в пределах одной и той же кривой, то величины радиусов в каждой из измеренных точек, независимо от варианта промера, должны быть одинаковыми. Однако, как видно из таблицы 1, во всех точках величины радиусов отличаются друг от друга. В некоторых точках эти

различия не существенны (0 и 10), а в некоторых имеют значительные расхождения (40, 50 и 60). Анализируя графики, представленные на рисунке 1, можно сделать вывод, что все варианты измерений определяют изменение радиуса в точке 50, что подтверждается данными таблицы 1.

Наличие углов в плане определяется согласно разности стрел изгиба, наибольшее значение которой  $\Delta f = 88$  мм. Для путей, где скорости движения поездов до 15 км/ч, допустимое значение  $\Delta f = 100$  мм, сравнив которое с максимальным значением можно сделать вывод, что даже при отсутствии нарушений плавности, которые привели бы к ограничению скорости движения поездов, наличие углов очевидно. Подобные изменения кривизны влияют на величину натуральных стрел изгиба при их измерении с различной частотой, а именно при измерении от хорды длиной 10,0 м практически во всех точках радиус определяется меньшим по величине, чем от хорды длиной 20,0 м.

Согласно действующим нормативам разница в стрелах изгиба регламентирована только для измерений от хорды длиной 20,0 м, а как показывает анализ данных, измерения от хорды 10,0 м могут описывать более точное геометрическое положение кривой. В создавшихся условиях встает вопрос о целесообразности установления нормативов для иных способов съемки кривой либо корректировке нормативных значений за счет введения коэффициента, учитывающего степень отклонения оси пути от необходимой кривизны.

#### Список литературы

1 СТП БЧ 09150.56.010–2005. Текущее содержание железнодорожного пути. Технические требования и организация работ : утв. приказом Нач. Бел. ж. д. от 29.06.2006 № 221Н. – Введ. 01.07.06. – Минск : Белорусская железная дорога, 2006. – 283 с.

2 Карпушенко, Н. И. Влияние ширины колеи и состояния ходовых частей подвижного состава на интенсивность износов в системе «колесо – рельс» и безопасность движения / Н. И. Карпушенко, Д. В. Величко, Н. А. Бобовникова // Вестник СГУПС. – 2010. – № 22. – С. 91–101.

3 Невзорова, А. Б. О целесообразности и перспективах применения деревянных шпал в криволинейных участках пути / А. Б. Невзорова, В. В. Романенко // Труды БГТУ. Сер. 1. Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. – 2021. – № 2 (246). – С. 242–249.

УДК 629.464.47

### ОЦЕНКА ФАКТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ УСТРОЙСТВА КРИВЫХ УЧАСТКОВ ПУТИ ВАГОНОМ-ПУТЕИЗМЕРИТЕЛЕМ

*В. В. РОМАНЕНКО, Т. А. ДУБРОВСКАЯ, В. А. СОЛОМОНОВ*  
*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Важнейшей задачей, стоящей перед всеми предприятиями путевого хозяйства, является диагностика железнодорожного пути с целью определения его технического состояния, необходимых объемов работ по содержанию и ремонту сооружений пути, а также приоритетности их выполнения на основании его фактического и технического состояния, обеспечение быстрого, экономически обоснованного реагирования на происходящие процессы, приводящие к расстройству и отказу сооружений железнодорожного пути, прогнозирование состояния сооружений.

Суть проблемы в том, что, как известно, план железнодорожного пути должен состоять из прямых и кривых участков. Состояние параметров отдельных кривых по сети железных дорог длительное время не соответствует установленным нормативам. Проводимая ежегодно работа по приведению кривых участков пути к расчетным параметрам позволила снизить ограничения скорости по характеристикам уклона отвода возвышения и непогашенному ускорению, поднять скорость движения грузовых поездов. В то же время большое количество кривых в результате проведения путевых работ превратилось в многорадиусные, концы переходных кривых при отводах кривизны и уровня не совпадают, в результате величина непогашенного ускорения в кривой значительно меняется, что приводит к ухудшению условий взаимодействия пути и подвижного состава, повышенному расстройству пути и увеличению затрат на его содержание.

Появление специальных вагонов для контроля и ремонта пути создало ложное впечатление, что теперь вопросы измерений и исправления положения пути можно возложить на них. В результате путь был «зарихтован», параметры плана, нанесенные на проектных документах, на сегодня не имеют практически ничего общего с реальным положением. Устанавливая допустимые скорости, исходят из того, что ряд параметров движения, таких как непогашенное ускорение, скорость нарастания ускорений и скорость опускания колеса, не превысят допустимых значений.

Методика по оценке фактических параметров устройства кривых участков пути вагонами-путеизмерителями для их паспортизации, внедренная на Белорусской железной дороге с 06.11.2020 года предназначена для решения следующих задач:

- выявления кривых участков пути, отсутствующих в приказе заместителя Начальника Белорусской железной дороги «Об утверждении величин возвышений, длин переходных кривых и крутизны отводов возвышений в кривых участках пути» с последующим определением оптимальных параметров устройства кривых участков пути;
- выявления и оценки кривых участков пути, не соответствующих установленным скоростям движения;
- выявления и оценки «расстроенных» кривых участков пути, формирования ранжированного списка кривых по показателям расстройств;
- выявления кривых участков пути, фактическое положение которых не соответствует проектному положению.

При содержании кривых должны соблюдаться следующие требования:

- длина переходной кривой должна обеспечивать необходимый уклон отвода возвышения, согласно СТП-09150.56.010–2005;
- длина переходной кривой должна обеспечивать условие непревышения величины непогашенного ускорения  $a_{нп}$ , максимально допустимое значение которого на Белорусской железной дороге составляет  $0,7 \text{ м/с}^2$ ;
- длина переходной кривой должна обеспечивать непревышение скорости изменения непогашенного ускорения  $\psi$ , максимально допустимое значение которого  $0,6 \text{ м/с}^3$ ;
- при переустройстве кривой недопустимо уменьшение установленных скоростей движения поездов;
- при переустройстве кривой недопустимо уменьшение допускаемого значения ширины междупутья;
- при переустройстве кривой недопустимо уменьшение минимального значения габарита приближения строения.

По данным измерений геометрических характеристик пути вагонами-путеизмерителями Центра диагностики объектов инфраструктуры государственного объединения «Белорусская железная дорога» (Центра) определяются и оцениваются:

- фактические параметры устройства кривых;
- допустимые скорости движения поездов по кривым;
- степень расстройств кривых, параметры которых отличаются от паспортных (проектных);
- кривые с изменившимися параметрами устройства под воздействием поездной нагрузки или выполнения путевых работ.

Контролируемыми величинами кривой, по которым производится оценка фактических параметров устройства кривой, являются:

- величина непогашенного ускорения в кривой ( $a_{нп}$ );
- скорость изменения непогашенного ускорения на участках переменной кривизны ( $\psi$ );
- крутизна отвода возвышения наружного рельса ( $i$ ) в переходных кривых.

Отводы возвышения наружного рельса кривой и кривизны при переходе от прямых к кривым, и наоборот, устраиваются на протяжении переходных кривых. Начало и конец отвода возвышения наружного рельса кривой и кривизны должны совпадать с точками НПК и КПК. Уклоны отводов возвышения наружного рельса в кривых, измеряемые по наклону средней линии на отводе уровня, должны быть одинаковыми по всей длине переходной кривой. При большой длине переходной кривой (более 60 м) допускается иметь разные уклоны отводов на отрезках переходной кривой длиной не менее 30 м. При этом в обоих случаях наибольший уклон отвода не должен превышать величин, приведенных в [1]. На борту вагона-путеизмерителя после проезда по проверяемому участку пути необходимо сформировать карточки кривых с допустимыми скоростями меньше предельных ( $v_{пз}$ ).

#### Список литературы

1 СТП 09150.56.010-2005. Текущее содержание железнодорожного пути. Технические требования и организация работ : утв. приказом начальника Бел. ж. д. от 29.06.2006 № 221Н. – Минск, 2006. – 284 с.

Методика по оценке фактических параметров устройства кривых участков пути мобильными диагностическими средствами для их паспортизации : утв. приказом от 02.11.2020 № 838 НЗ. – Введ. 06.11.2020. – Минск : Белорусская железная дорога, 2020. – 10 с.

## ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ НАСЫПИ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ НАД ВОДОПРОПУСКНОЙ ТРУБОЙ

*А. С. РУМЯНЦЕВА, Е. В. АРХАРОВ, Н. В. ПШЕНИСНОВ*

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

Водопропускные трубы, согласно ГОСТ 24547-2016, определяются как искусственные сооружения, предназначенные для пропуска под насыпями как железных, так и автомобильных дорог небольших постоянных или периодически действующих водотоков. Водопропускные трубы являются одними из самых распространенных конструкций и вместе с малыми мостами длиной до 25 м составляют около 90 % общего числа искусственных сооружений на железных дорогах. При небольшом расходе воды, которая пропускается через искусственные сооружения, мосты целесообразно заменять водопропускными трубами, которые укладываются в теле насыпи. При этом насыпь земляного полотна не прерывается, что сказывается на дальнейшей эксплуатации и может дать экономический эффект, уменьшив сроки строительства и отодвинув сроки капитального ремонта. История развития и применения водопропускных труб при строительстве транспортных путей насчитывает уже более века, но в последнее время эта привычная всем конструкция получила новые формы и приемы использования.

Как специальные дорожные сооружения водопропускные трубы всё чаще рассматриваются в качестве средства для минимизации пересечений потоков различных типов транспорта, что, в свою очередь, повышает безопасность дорожного движения. Это удастся реализовать за счет организации двухуровневой модели движения. Например, в настоящее время при проектировании, строительстве и ремонте железнодорожного земляного полотна в тело насыпи могут быть интегрированы три типа водопропускных труб: для пропуска воды, для пропуска воды, людей и животных, для пропуска воды людей, животных и колесного транспорта.

На смену традиционным водопропускным трубам, которые используются исключительно для регуляции уровня воды, приходят более сложные по своей конструкции, материалам и габаритам изделия. Это стало возможным благодаря длительным и многогранным исследованиям инженеров, которые ставили себе целью совместить внедрение многопрофильных инженерных конструкций с повышением безопасности при эксплуатации железнодорожных путей.

Традиционный тип водопропускной трубы достаточно компактен, а ее габариты по современным требованиям должны обеспечивать безнапорный, полунанпорный и напорный режимы работы. Выбор конкретного варианта должен быть привязан к конкретной местности так как объем притока воды определяется площадью прилегающего водосборного бассейна. При строительстве БАМа было построено около 2 тысячи труб, а на Горьковской железной дороге в настоящее время их насчитывается более 30 тысяч. Основную массу заложенных водопропускных труб составляют трубы с размерами диаметра от 600 до 900 мм. В среднем высота водопропускных труб составляет не более 50 % от высоты насыпи земляного полотна, а учитывая тот факт, что трубы чаще всего размещают в низменных местах, где высота насыпи значительно больше, этот процент снижается до 20 %.

В этих условиях наличие водопропускных труб просто игнорируется как незначимый фактор при расчете параметров земляного полотна.

Необходимость расширения функционала водопропускных труб с целью использования их для пропуска людей, животных и некоторых видов транспорта естественным образом влечет за собой и изменение габаритов конструкции труб в сторону увеличения. В настоящее время регламентирующие документы ОАО «РЖД» предписывают над водопропускной трубой насыпь земляного полотна высотой не менее 600 мм, а учитывая высоту балластного слоя в 400 мм, суммарная высота пути над водопропускной трубой составит не менее 1000 мм. Такая методика не учитывает размеры как самой водопропускной трубы, так и общую высоту насыпи. Кроме того, материалы, из которых изготовлена конструкция, особенности грунта, грузонапряженность на данном участке пути и многие другие факторы также не учитываются данным подходом. Перечисленные недостатки позволяют сформулировать задачу обоснования параметров насыпи земляного полотна железной дороги над водопропускной трубой посредством математического моделирования, целью которого является установление зависимости величины деформации верхнего строения пути от различных факторов при наличии в теле насыпи водопропускной трубы.

Для определения расчетных моделей деформирования грунтового основания, подходящих для инженерных расчетов его устойчивости, прочности, сжимаемости, угловых и горизонтальных перемещений исследуется напряженно-деформированное состояние грунта. В настоящее время для расчета напряженно-деформированного состояния грунта одним из наиболее эффективных методов является метод конечных элементов. Применение этого метода подразумевает, что исследуемый объект (в нашем случае – грунт, а также конструкции, встраиваемые в него) разбивается на небольшие составные части, называемые конечными элементами. Эти элементы чаще всего имеют треугольную или прямоугольную формы, они плотно прилегают друг к другу, а в вершинах элементы шарнирно скрепляются между собой. Все конечные элементы содержат определенное число узловых точек. Применяя метод конечных элементов, в этих узлах можно вычислять значения необходимых функций. Для решения поставленной задачи нами была использована программа GenIDE32 (рисунки 1–3), которая применяется, в том числе, для решения прикладных геомеханических задач при проектировании в строительной сфере.

Нами была создана расчетная схема системы, состоящей из участка железнодорожной насыпи продольного сечения над водопропускной трубой большого диаметра, совмещенной с пропуском людей, животных и некоторых видов транспорта. Выполнено определение начального напряженно-деформированного состояния, смоделировано устройство насыпи с водопропускной трубой большого диаметра. Далее на поверхности расчетной схемы была приложена распределенная нагрузка от проходящего по участку пути железнодорожного состава. Анализ и оценки напряженно-деформированного состояния проводились на каждом этапе моделирования. Всего было построено девять различных расчетных схем: комбинации трех разновидностей грунтов (крупнообломочный грунт, супесь и суглинок) и трех вариантов высоты насыпи над водопропускной трубой (один, два и три метра). Для верхнего строения участка пути по результатам анализа каждой расчетной схемы были построены эпюры вертикальных смещений.

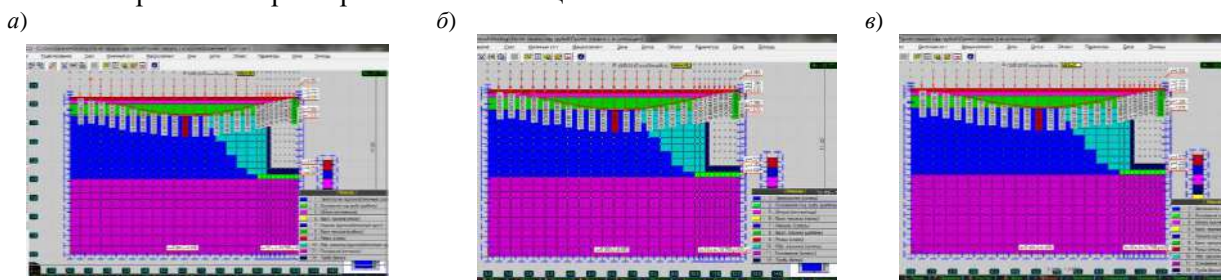


Рисунок 1 – Деформация насыпи высотой 1 метра при разных типах грунтов:  
а – крупнообломочный грунт; б – супесь; в – суглинок

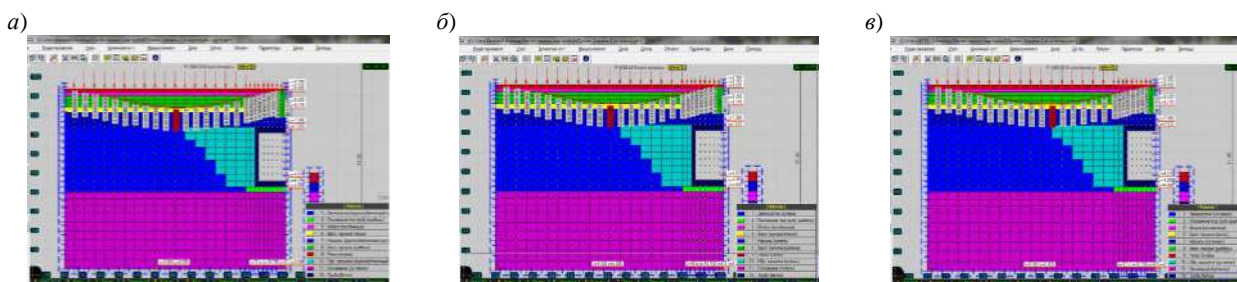


Рисунок 2 – Деформация насыпи высотой 2 метра при разных типах грунтов:  
а – крупнообломочный грунт; б – супесь; в – суглинок

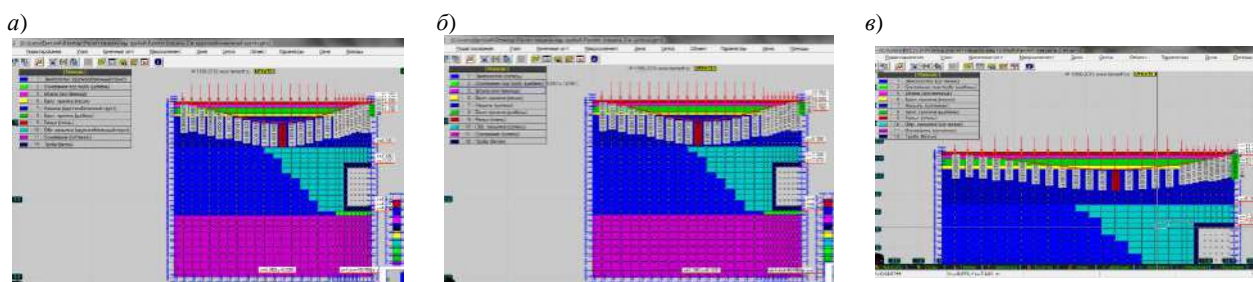


Рисунок 3 – Деформация насыпи высотой 3 метра при разных типах грунтов:  
а – крупнообломочный грунт; б – супесь; в – суглинок

На основании полученных в результате эксперимента данных можно утверждать, что деформационная устойчивость насыпи земляного полотна железной дороги над водопропускной трубой напрямую зависит от типа грунта, высоты самой насыпи и габаритов трубы. Таким образом, применяемый в настоящее время подход к определению параметров земляного полотна над водопропускными трубами для соответствия требованиям транспортной безопасности должен быть пересмотрен. Расчет конкретных параметров при проектировании в насыпи земляного полотна водопропускной трубы с учетом всех требований, безусловно, представляет практический интерес и будет реализован в дальнейших исследованиях.

УДК 625.8

## БЕЗОПАСНОСТЬ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

*О. Ф. СТОЯНОВА, И. В. НОВИКОВА, К. А. ЖЕЛТОВА*  
*Филиал Самарского государственного университета путей сообщения,*  
*г. Нижний Новгород, Российская Федерация*

Транспортная безопасность – состояние защищенности объектов транспортной инфраструктуры и транспортных средств от актов незаконного вмешательства. Актом незаконного вмешательства считается противоправное действие или бездействие, в том числе террористический акт, угрожающее безопасной деятельности транспортного комплекса, повлекшее за собой причинение вреда жизни и здоровью людей, материальный ущерб либо создавшее угрозу наступления таких последствий.

В разных странах различный подход к организации обеспечения транспортной безопасности и разнообразные формы сил обеспечения транспортной безопасности.

Силы обеспечения транспортной безопасности – лица, ответственные за обеспечение транспортной безопасности в субъекте транспортной инфраструктуры, на объекте транспортной инфраструктуры, транспортном средстве, включая персонал субъекта транспортной инфраструктуры или подразделения транспортной безопасности, непосредственно связанный с обеспечением транспортной безопасности объектов транспортной инфраструктуры или транспортных средств.

В Российской Федерации во исполнение Федерального закона от 9 февраля 2007 г. № 16-ФЗ «О транспортной безопасности» принят ряд Постановлений Правительства по различным видам транспорта, а также приказы Министерства транспорта, МВД и ФСБ, устанавливающие нормативно-правовую основу для формирования и деятельности сил, обеспечивающих транспортную безопасность.

В качестве сил, обеспечивающих транспортную безопасность, выступают следующие.

1 Подразделения ведомственной охраны федеральных органов исполнительной власти в области транспорта:

- ФГП «Ведомственная охрана железнодорожного транспорта Российской Федерации»;
- ФГУП «Управление ведомственной охраны Министерства транспорта Российской Федерации».

2 ФГУП «ОХРАНА» Росгвардии – аккредитовано в качестве подразделения транспортной безопасности для защиты объектов транспортной инфраструктуры и транспортных средств в области морского и внутреннего водного транспорта.

3 Служба авиационной безопасности – создана во исполнение Воздушного кодекса РФ, «Приложение 17 к Конвенции о международной гражданской авиации», Федерального закона «О транспортной безопасности».

4 Подразделения транспортной безопасности, непосредственно обеспечивающие транспортную безопасность объектов транспортной инфраструктуры или транспортных средств ФГУП «Росморпорт».

5 Подразделения транспортной безопасности, созданные в субъектах транспортной инфраструктуры (например, Подразделение транспортной безопасности Службы безопасности Московского метрополитена (ПТБ СБ), в ОАО «Российские железные дороги» – дочерняя структура ООО «РЖД – Транспортная безопасность».

Силы, обеспечивающие транспортную безопасность, обязательно проходят специальную подготовку и аттестацию.

В Российской Федерации транспортной безопасности уделяется большое внимание.

С 2012 года проводится ежегодная Всероссийская Конференция «Транспортная безопасность и технологии противодействия терроризму». В конференции принимают участие руководители и специалисты транспортной и авиационной безопасности предприятий и организаций транспортного комплекса (представители авиакомпаний, аэропортов, администраций морских и речных портов, стивидорных компаний, судоходных гидротехнических сооружений, бассейновых аварийно-спасательных управлений, предприятий и организаций железнодорожного транспорта, автомобильного транспорта и дорожного хозяйства, городского общественного транспорта, метрополитенов, промышленного транспорта, ассоциаций, союзов и других профессиональных объединений и сообществ транспортников), в области охраны, представители проектных организаций, а также представители страховых компаний, ведущих производителей, поставщиков и системных интеграторов систем безопасности и антитеррористической защищенности.

23 июля 2019 года Государственной Думой РФ принят законопроект «О внесении изменений в Федеральный закон «О транспортной безопасности» и отдельные законодательные акты Российской Федерации по вопросам обеспечения транспортной безопасности». Законопроект был внесен в Госдуму правительством в 2015 году. В том же году проект закона был принят в первом чтении. Он предусматривал требования по обеспечению транспортной безопасности для различных категорий транспортной инфраструктуры и средств.

Среди ряда поправок, которые предусмотрены законопроектом, есть изменения, касающиеся работы подразделений транспортной безопасности, непосредственно связанных с обеспечением транспортной безопасности. В частности, будет расширен функционал специалистов подразделений транспортной безопасности. Подразделения транспортной безопасности будут иметь право на получение, хранение и применение боевого ручного стрелкового оружия. При этом работники подразделений транспортной безопасности будут обязаны ежегодно проходить профилактический медицинский осмотр, включающий в себя химико-токсикологические исследования наличия в организме наркотических средств и психотропных веществ, и периодические проверки на пригодность к действиям в условиях, связанных с применением огнестрельного оружия.

УДК 625.111

## **ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕУСТРОЙСТВА ПУТЕВОГО РАЗВИТИЯ ОАО «БОРИСОВСКИЙ ШПАЛОПРОПИТОЧНЫЙ ЗАВОД»**

*А. А. СУЩЕНОК*

*Белорусская железная дорога, г. Борисов*

ОАО «Борисовский шпалопродиточный завод» является единственным профильным предприятием в Республике Беларусь, полностью обеспечивающим потребности Белорусской железной дороги в деревянных шпалах, переводных и мостовых брусках. Проектная мощность, рассчитанная на ежегодный выпуск деревянных шпал в количестве 1 млн штук, позволяет предприятию оставаться активным экспортером продукции.

Путевое развитие ОАО «БШПЗ» представлено железнодорожными путями необщего пользования протяженностью 2,63 км, одна часть из которых примыкает через стрелочный перевод к железнодорожному пути общего пользования станции Борисов, а другая – двумя стрелочными переводами к пути необщего пользования ОАО «Борисовский ДОК». Такое путевое развитие не в полной мере удовлетворяет потребностям предприятия, так как переезд подвижного состава с одного пучка путей на другой требует получения разрешения для выезда на пути общего пользования станции Борисов, что значительно увеличивает время на проведение грузовой работы и пробег локомотива. Для осуществления маневров без выезда за границы пути необщего пользования целесообразно произвести переустройство путевого развития и заложить возможность размещения трех грузовых



вагонов общей длиной 42 метра на путях предприятия от знака «ГППП» до проектируемого соединения путей.

Предварительно для решения поставленной задачи была отснята цифровая модель и построен масштабный план путевого развития предприятия с указанием железнодорожной и логистической инфраструктуры. В процессе проработки большого количества возможных вариантов переустройства рассматривались два принципиально разных подхода: 1) устройство стрелочного съезда между путями на территории предприятия; 2) переукладка стрелочного перевода предприятия с одного пути на другой. В обоих случаях подбирались стрелочные переводы типа P50 различных марок.

Переустройство с применением стрелочных переводов марки 1/11 оказалось нереализуемым в связи с невозможностью сопряжения элементов плана при существующей длине рассматриваемого участка или недостаточности радиусов сопрягающих кривых.

Устройство съезда с укладкой стрелочных переводов марки 1/9 возможно только без размещения вагонов от знака «Граница пути необщего пользования», что не соответствует поставленной задаче (перевод подвижного состава с одного пути предприятия на другой без выезда на станцию).

Устройство съезда, отвечающего требованиям нормативов и поставленной задачи, возможно только при уменьшении проектируемой полезной длины пути до величины, позволяющей разместить 2 условных вагона общей протяженностью 28 м. При этом возможна укладка съезда как с двумя симметричными стрелочными переводами марки 1/6, так и разных марок 1/6 и 1/9. Замена одного из стрелочных переводов съезда на более пологую марку позволит сократить интенсивность износа в процессе эксплуатации, а также использовать старогодный стрелочный перевод марки 1/9.

Реализовать размещение трех вагонов перед проектируемым съездом возможно при переносе границы пути необщего пользования (ГППП) в сторону станции. При этом съезд может быть образован одномарочными стрелочными переводами М 1/6 или разномарочными М 1/6 и М 1/9.

Альтернативным направлением является переустройство с переукладкой существующего стрелочного перевода с одного пути на другой, что позволит увязать данный стрелочный перевод со всеми путями предприятия, кроме одного. Однако размещение трех вагонов от границы пути необщего пользования возможно только с заменой на стрелочный перевод более крутой марки, например М 1/6. Вариант с врезкой стрелочного перевода марки 1/9 соответствует нормам проектирования только при сокращении длины участка пути для размещения двух вагонов. Кроме того, данные проекты предполагают значительное переустройство путевого развития предприятия, а также путей общего пользования, что потребует значительных ресурсов и вызовет затруднения.

В результате технико-экономического сравнения для реализации принят вариант по устройству съезда со стрелочными переводами P50 М 1/6 – P50 М 1/9 и размещением двух вагонов от ГППП. При этом полная длина съезда – 68,205 м; максимальная сдвигка существующих железнодорожных путей предприятия – 0,86 м; минимальный радиус криволинейного участка пути – 185 м.

Для выбранного варианта проработаны альтернативные технологические процессы как с использованием железнодорожной техники, применяемой на Белорусской железной дороге, так и с использованием автотракторной техники. На практике при переустройстве путей необщего пользования актуальным является применение именно автотракторной техники. Такое решение позволяет повысить эффективность при производстве путевых работ. Например, при использовании дизель-электрического железнодорожного крана КЖДЭ-25 весь комплекс работ выполняется в течение одного «окна» продолжительностью 230 мин. При этом согласно сводному сметному расчету затраты на переустройство путей составят порядка 223 тыс. руб. В то же самое время при использовании гидравлического автомобильного крана «Галичанин» грузоподъемностью 32 тонны модели КС-55729-1В продолжительность работ по укладке съезда P50 1/6 – P50 1/9 составит 222 мин, а затраты – 220 тыс. руб. То есть наиболее экономичным является выполнение путевых работ автокраном. Как видно из рисунка 1, в основном это обусловлено более низкой стоимостью эксплуатации автокрана по сравнению с железнодорожным, кроме того, применение железнодорожного крана требует дополнительных расходов на эксплуатацию маневрового тепловоза для перемещения самого крана.

Более детальный анализ структуры затрат показал значительную материалоемкость переустройства. На стоимость элементов верхнего строения пути приходится 84,9 %, и в первую очередь – это стоимость двух стрелочных переводов. Уменьшить стоимость капитальных затрат целесообразно за счет применения старогодных стрелочных переводов на путях 5-го класса.



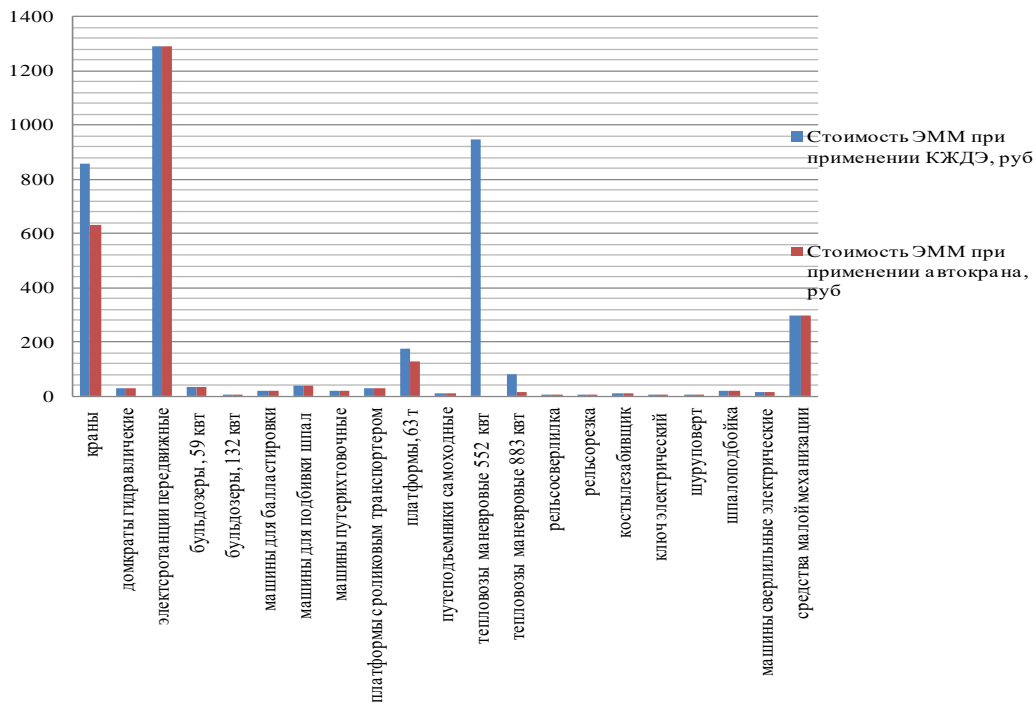


Рисунок 1 – Сравнение структуры стоимости эксплуатации машин и механизмов при использовании разных кранов

Реконструкция путевого развития ОАО «Борисовский шпалопропиточный завод» позволит оптимизировать маневровую работу, что повлечет за собой экономический эффект от уменьшения пробега и простоя локомотива, а следовательно, значительную экономию топлива и эксплуатационных затрат. В свою очередь, при укладке стрелочного съезда P50 1/6 – P50 1/9 на путях шпалопропиточного завода по продолжительности и стоимости выполнения работ обосновано применение автомобильного крана.

#### Список литературы

- 1 СНБ 3.03.01–98. Железные дороги колес 1520 мм. Взамен СНиП П-39-76, СНиП Ш-38-75, СН 468-74 ; Введ. 1998–08–01. – Минск : Минстройархитектуры Респ. Беларусь. – Минск, 1998. – 30 с.
- 2 НРР 8.03.128–2017. Нормативы расхода ресурсов в натуральном выражении на строительные конструкции и работы. Сборник 28. Железные дороги. – Минск, 2017.

УДК 625.111

### ВОЗМОЖНОСТЬ ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ УЧАСТКА БАРАНОВИЧИ – ЛУНИНЕЦ – СИТНИЦА – КАЛИНКОВИЧИ БЕЛОРУССКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

*А. В. ТИХАНЮК*

*ГП «БЕЛЖЕЛДОРПРОЕКТ», г. Минск*

*Н. В. ДОВГЕЛЮК, П. Н. БАРАБОЛКИН*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Из всех элементов дорожной конструкции на эффективность работы железнодорожного транспорта наибольшее влияние оказывает транспортная инфраструктура. От ее качества зависят такие важнейшие транспортно-эксплуатационные показатели железной дороги, как скорость передвижения транспортных потоков; пропускная способность участков дорог; безопасность и бесперебойность движения; уровень удобства пассажиров.

Государственной программой развития железнодорожного транспорта на 2021–2025 годы определено, что одним из основных приоритетов социально-экономического развития государства является улучшение транспортно-эксплуатационного состояния железных дорог для повышения размеров перевозок и улучшения качества жизни населения [1].

Выполнение программных задач предполагает разработку действенных систем обеспечения конкурентных преимуществ и новых подходов к электрификации Белорусской железной дороги с учетом требований повышения ее функционирования.

Анализ электрификации железных дорог позволил выявить преимущества электрической тяги: меньшая себестоимость перевозок, экономия топливно-энергетических ресурсов, меньшее воздействие на окружающую среду, а также стимулирование развития скоростного и высокоскоростного движения пассажирских поездов [2].

Электрификация рассматриваемого участка Барановичи – Лунинец – Ситница – Калинковичи на полигоне Белорусской железной дороги является одним из перспективных направлений развития железнодорожной инфраструктуры. Повышение конкурентоспособности железнодорожного транспорта при электрификации обеспечивается посредством снижения себестоимости перевозок и предопределяется обостряющейся конкуренцией за грузо- и пассажиропотоки, в первую очередь, со стороны автомобильного транспорта.

При расчете объемных показателей перевозочной работы на участках проанализированы существующие объемы перевозок грузов и спрогнозировано их изменение на перспективу. При этом произведена оценка существующих грузопотоков с анализом их структуры по видам грузов, а также по основным грузоотправителям, оценены перспективные грузопотоки, которые могут возникнуть при вводе в эксплуатацию следующих производственных мощностей:

- горно-обогатительного комбината на базе месторождения «Ситницкое»;
- Нежинского горно-обогатительного комплекса;
- Петриковского горно-обогатительного комбината.

Капитальные расходы на электрификацию участков определены по объектам-аналогам, разработанным государственным предприятием «Институт “Белжелдорпроект”». В зависимости от последовательности проведения работ на участках и на основании продолжительности их выполнения для увязки моментов ввода в эксплуатацию проектного оборудования и ожидаемых эффектов составлены календарные планы реализации проекта. Рассмотрено влияние на результаты: сокращение объема капитальных вложений, изменение грузооборота и снижение тарифа на электроэнергию вплоть до уровня, при котором инвестиции могут окупиться в течение 15 лет.

Эксплуатационные расходы определены методом расходных ставок.

В расчете были использованы следующие показатели эффективности: чистый дисконтированный доход, срок окупаемости инвестиций, внутренняя норма доходности и индекс рентабельности.

Установлено, что инвестиционные затраты для электрификации проектных участков железной дороги при соотношении действующих тарифов на дизельное топливо и электроэнергию и ожидаемом объеме перевозок пассажиров и грузов, несмотря на появление новых месторождений и промышленных грузоотправителей, могут окупиться за период около 38 лет. Чистый дисконтированный доход к концу горизонта расчетов будет иметь отрицательное значение.

Такие показатели характерны для проектов электрификации железнодорожной инфраструктуры, финансируемых, как правило, за счет средств республиканского и местных бюджетов или кредитных ресурсов международных финансовых организаций, либо сопровождаемых государственной поддержкой в иных формах, определяемых законодательством.

В ходе анализа установлены показатели энергетической и экологической эффективности проекта: сокращение расхода дизельного топлива в грузовом и пассажирском движениях; экономия затрат на энергоресурсы в целом составит 3,6 млн дол. (или 23 % от уровня затрат при тепловой тяге); снижение выброса загрязняющих веществ оценивается в размере не менее 2,2 тыс. т в год. Социальный эффект от сокращения непроизводительных потерь времени пассажиров при электрификации участков может составить около 20 млн дол.

При снижении стоимости электроэнергии на 50 % и увеличении провозной способности на 30 % срок окупаемости составит 15 лет.

#### Список литературы

1 Государственная программа «Транспортный комплекс», подпрограмма «Железнодорожный транспорт» на 2021–2025 годы : постановление Совета Министров Респ. Беларусь № 165 от 23.03.2021 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=C22100165>. – Дата доступа : 16.09.2022.

2 Турбин, И. В. Изыскания и проектирование железных дорог : учеб. для вузов / И. В. Турбин. – М. : Транспорт, 1989. – 479 с.

## МЕРОПРИЯТИЯ ПО ОХРАНЕ ТРУДА В ГОМЕЛЬСКОМ ОТДЕЛЕНИИ ДОРОГИ

*В. И. ХОЛЯВКО*

*Белорусская железная дорога, г. Гомель*

*В. И. ИНЮТИН, С. С. КОЖЕДУБ, А. В. АНИЩЕНКО*

*Белорусский государственный университет, г. Гомель*

В Гомельском отделении дороги для повышения безопасности движения поездов выполнены следующие мероприятия:

– в локомотивном депо Гомель текущий ремонт буфета с комнатой приема пищи, закуплены и произведен монтаж горизонтальных анкерных линий для обеспечения безопасности работ на крыше локомотива на участке ТО-3, ТР-1,2;

– в локомотивном депо Жлобин приобретен ручной электроинструмент с двойной изоляцией, заменено освещение в смотровых канавах тележечного участка, склада топлива, здания типа «Плауэн»;

– в локомотивном депо Калинковичи установлена горизонтальная страховочная система «Мо-pline» в цеху участка ТО и РЛ;

– в Гомельском вагонном депо помещение мужского гардероба пункта технического обслуживания вагонов оборудовано конвективной сушкой обуви, приобретены два гайковерта. Актуализирована программа «Экзамен» для проведения проверки знаний по охране труда, пожарной безопасности, промышленной безопасности, электробезопасности, оборудована комната приема пищи участка текущего отцепочного ремонта вагонов.

Также проведены капитальный и текущий ремонты; ремонт покрытия платформы пассажирской станции Калинковичи; ремонт пешеходного моста станции Калинковичи; капитальный ремонт асфальтобетонного покрытия площадок и дорожек ст. Холодничи; капитальный ремонт здания вокзала станции Останковичи; капитальный ремонт здания поста ЭЦ ст. Холодничи; ремонт кабинета товарной конторы станции Добруш; ремонт бытовых помещений на погрузочных пунктах Светлогорск, Буда-Кошелевская, помещения приемосдатчиков тяжеловесной площадки ТЭР ДУП Гомелжелездортранс; ремонт душевой бытового помещения на станции Голевицы.

Проведены следующие мероприятия в дистанциях:

– в Гомельской дистанции пути улучшены санитарно-бытовые условия монтерам пути в здании ПД-9 (8-район), заменена отопительная печь и ремонт пункта сбора монтеров пути ст. Тереховка ПД-7;

– в Жлобинской дистанции пути оборудован контейнер в модульное бытовое помещение для монтеров пути, уголки по охране труда производственных участков оснащены наглядными пособиями, тренажерами, литературой по охране труда;

– в Калинковичской дистанции пути закуплены 10 приборов для измерения концентрации паров алкоголя в выдыхаемом воздухе, выполнен ремонт душевых в рабочем помещении монтеров пути по ст. Голевицы;

– в Гомельской дистанции сигнализации и связи работники обеспечивались средствами защиты при работе в электроустановках, защитными очками, указателями напряжения;

На станции Гомель приобретены переносные фонари для составителей поездов; оборудован уголок приема пищи для дежурных по парку участка Нечетной системы;

– закуплены сушильные шкафы для СИЗ на станции Гомель, Калинковичи;

– закуплены нагрудные видеорегистраторы для составителей поездов станций Гомель, Жлобин, Калинковичи (20 шт.).

Для составителей поездов станций Гомель, Барбаров, Жлобин, Речица, Центролит, Рогачев, Светлогорск-на-Березине, Буда-Кошелевская, Житковичи, Козенки, Муляровка закуплены переносные радиостанции в количестве 48 штук. На станции Калинковичи для оснащения учебного класса приобретены настенные плакаты по охране труда. На станции Барбаров рабочие места оборудованы системами кондиционирования воздуха в количестве 7 шт. Для отдела перевозок и станций Добруш, Копцевичи, Лисички закуплены алкотестеры в количестве 4 шт. Закуплена новая мебель на

станции Муляровка, Светлогорск-на-Березине. Оборудована комната приема пищи на станции Останковичи.

За 2021 год за нарушение правил охраны труда в структурных подразделениях (филиалах) и дочернем предприятии отделения дороги по результатам проверок было выдано 380 предписаний, у 87 работников изъяты талоны-предупреждения, 660 работникам уменьшен размер премиальных выплат за нарушения законодательства об охране труда и промышленной безопасности в целом, 50 – привлечены к дисциплинарной ответственности, 954 – работника направлены на внеочередную проверку знаний.

Работники предприятий и структурных подразделений полностью обеспечиваются спецодеждой, спецобувью и другими СИЗ в соответствии с Инструкцией о порядке обеспечения работников средствами индивидуальной защиты, утвержденной Постановлением Министерства труда и социальной защиты Республики Беларусь от 30.12.2008 № 209.

В целях недопущения распространения острых респираторных инфекций на предприятиях и на железнодорожных станциях отделения железной дороги установлены бактерицидные рециркуляторы воздуха (695 шт.) и закуплены генераторы холодного тумана (16 шт.), бесконтактные термометры в количестве 152 шт. На всех рабочих местах размещены дезинфицирующие средства для рук. Дозаторами с антисептиком оснащены комнаты и уголки приема пищи, бытовые помещения (все железнодорожные станции обеспечены дезинфицирующими средствами для обработки рук и поверхностей в требуемом объеме).

В 2020–2021 годах на отделении дороги проводились профилактические мероприятия, направленные на недопущение распространения острых респираторных инфекций. За 2021 год в санатории отделения оздоровились, прошли реабилитацию после COVID-19 363 работника. На железнодорожных станциях отделения железной дороги с 07.04.2020 ограничен доступ в помещении дежурного по станции.

С 13.04.2020 для работающих на отделении дороги установлен обязательный масочный режим. На входе в отделение дороги проводится видеоконтроль обязательной обработки рук антисептическим средством всеми работниками. Производится бесконтактное измерение температуры тела работникам отделения дороги. С 06.04.2020 в столовые и буфеты закрыт доступ сторонних посетителей, часы обеденного перерыва сдвинуты, за столиком находится не более 2 человек. На раздаточных линиях нанесена разметка для соблюдения дистанции между посетителями (1,5–2 метра). По состоянию на 10.03.2022 признано временно нетрудоспособными с подтвержденным диагнозом COVID-19 – 6 работников НОД-4. За время регистрации COVID-19 выздоровело 2696 работников. Вакцинирован от COVID-19 5441 человек (54 %). Проводится обработка помещений, в которых находились работники с подтвержденным диагнозом COVID-19.

На отделении дороги ежеквартально проводится анализ состояния условий охраны труда и производственного травматизма, причин несчастных случаев.

По результатам работы за 2018–2020 гг. Гомельское отделение дороги признано победителем (1-е место) в смотре-конкурсе «Лучшая организация Белорусской железной дороги по охране труда, культуре производства и благоустройству территории».

УДК 338.266

## **ИНСТРУМЕНТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО ВЛИЯНИЯ ДОРОЖНОГО ХОЗЯЙСТВА НА ЭКОНОМИКУ СТРАНЫ**

*И. М. ЦАРЕНКОВА, Е. Л. БУРДУК*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Анализ экономического роста, выявление факторов, его детерминирующих, спады и подъёмы экономического развития выступают основой разработки экономической политики государства. Соответственно, проблемы изучения, измерения и поиска механизмов стимулирования экономического роста страны занимают важное место в современных экономических исследованиях.

Транспорт обеспечивает возможность перемещения людей и товаров, является необходимым условием для создания единого экономического пространства. Транспорт является основой инфра-

структуры торговли, оказывает существенное влияние на конкурентоспособность тех или иных отраслей в странах и регионах. Несовершенство в транспортной системе (например, узкие места, ограниченность мультимодальности, высокие тарифы) негативно влияет на эффективность экономики страны в целом. И наоборот, ускоренное развитие транспортной инфраструктуры, совершенствование транспортно-логистических систем может оказывать значительное влияние на экономический рост и, в конечном счете, на благосостояние населения [1].

Особое место в транспортной системе занимает автомобильный транспорт. Он обладает рядом преимуществ, по сравнению с другими видами, которые позволяют отнести его к категории наиболее востребованного в экономической системе страны. При этом следует отметить важную роль автодорожной инфраструктуры в обеспечении эффективного функционирования автомобильного транспорта [2]. В свою очередь безотказная и надежная работа автомобильных дорог и дорожных сооружений на них (как наиболее значимой инфраструктурной составляющей) является важнейшей компетенцией дорожного хозяйства. Дорожное хозяйство, выступая в качестве экономической системы, объединяет в своем составе автодорожную инфраструктуру и организации различных сфер деятельности, находящиеся во взаимодействии по поводу ее возведения, расширения и развития.

Дорожные проекты влияют на широкий спектр отраслей экономики, создавая благоприятные условия для бесперебойного и безопасного движения автомобилей. Транспортно-эксплуатационное состояние автомобильных дорог оказывает непосредственное влияние на работу автомобильного транспорта. Главные социально-экономические эффекты транспорт обеспечивает именно на фазе эксплуатации. Кроме влияния на экономические показатели работы транспорта, реализация дорожных проектов имеет также значительную социальную направленность от обеспечения первичной потребности в передвижении до расширения возможностей пространственной реализации труда и повышения мобильности населения.

Наиболее широко применяется несколько инструментов оценки определения влияния транспортной инфраструктуры на социально-экономическое развитие стран и отдельных территорий.

Наиболее доступны аналитические инструменты сравнительной оценки работы дорожных сетей по ряду показателей: конфигурация пересечений магистральных дорог, доля скоростных дорог и автомагистралей, степень загрузки транзитными потоками, плотность сети, пропускная и провозная способность и другие.

В практической деятельности широко используются инструменты оценки эффективности реализации дорожных проектов, основанные на разработанных программных продуктах. В разных странах активно используются вероятностные и детерминистические модели прогноза эксплуатационных характеристик дорожной сети и системы планирования инвестиций на развитие и содержание автомобильных дорог.

Применение указанных инструментов позволяет установить наиболее близкие взаимосвязи между реализацией дорожных проектов и получаемыми от них социально-экономическими эффектами, опираясь на конкретные дорожные объекты. Определение степени влияния ключевых показателей развития автодорожной инфраструктуры на социально-экономическое развитие страны позволит установить не только вид зависимости между ними, но и выявить объекты инфраструктуры, являющиеся драйверами экономического роста. Однако методологическая и методическая сложность исследования взаимодействий в экономических системах заключается в том, что большинство взаимодействий не очевидны, их можно выявить по влиянию, воздействию на результаты функционирования системы.

При этом особый интерес представляет исследование социально-экономического влияния, которое оказывает дорожное хозяйство в результате своей работы как целостной экономической системы на важнейшие показатели развития экономики страны. Выбор показателей для характеристик и исследования динамики полученных результатов может варьироваться и зависит от наличия, доступности и преемственности статистических данных. Среди важнейших показателей экономического развития выделяются социально-экономические показатели, такие как валовый внутренний продукт, валовая добавленная стоимость, инвестиции в основной капитал, доходы консолидированных бюджетов и др. Анализ функционирования дорожного хозяйства производится как по физическим показателям развития автомобильных дорог, так и по показателям, характеризующим финансово-экономическую деятельность предприятия, а также оценивая инвестиции в основной капитал.

Для проведения исследований могут быть использованы различные методы математической статистики. На первом этапе обычно производится первичный анализ данных, позволяющий получить общее представление о распределении изучаемых величин, диапазоне их варьирования, тенденциях изменения и законах распределения.

Методы *корреляционного анализа* предназначены для исследования взаимосвязи между изучаемыми показателями. При выборе адекватного метода необходим учет шкалы (номинальной, порядковой, интервальной или метрической), в которой измеряются анализируемые данные.

С помощью методов *регрессионного анализа* можно построить так называемые уравнения регрессии, позволяющие предсказывать значения зависимой величины от тех, которые считаются в данном исследовании независимыми.

В реальных исследованиях часто выявляется тесная взаимозависимость между многими изучаемыми показателями. Это может быть вызвано влиянием латентных факторов, не учтенных в данном исследовании, но оказывающих влияние на значения рассматриваемых показателей. Таким образом, возникает задача «укрупнения» структуры изучаемых величин за счет объединения тесно взаимосвязанных переменных. Эту задачу позволяют решить методы *факторного анализа* путем выделения среди множества рассматриваемых показателей небольшого числа факторов, объединяющих тесно коррелирующие между собой величины [3].

Методы *кластерного анализа* позволяют разделить все рассматриваемые объекты на несколько групп (называемых кластерами), объединяющих объекты, которые характеризуются подобными свойствами. В зависимости от выбора множества переменных, по которым производится сравнение объектов и меры сходства между объектами, возможно получение разных вариантов разбиения исходного множества объектов на кластеры.

Для проведения всех видов статистического анализа данных используются современные пакеты прикладных программ, например, пакеты STATISTICA, STADIA, SPSS, STATGRAPHICS и другие.

Таким образом, проведенный анализ подтверждает значимость решения вопросов развития автодорожной инфраструктуры. При этом выбор направлений развития должен базироваться на обоснованном выборе инструментария оценки влияния на социально-экономическое развитие страны не только роста физических элементов, но и показателей эффективности использования существующей дорожной сети.

#### Список литературы

- 1 **Корнилова, А. Д.** Социально-экономические эффекты от развития транспортной инфраструктуры / А. Д. Корнилова, К. А. Бабенчук // Вестник Алтайской академии экономики и права. – 2021. – № 7. – С. 176–183.
- 2 **Царенкова, И. М.** Разработка научно-теоретических положений по уточнению понятия автодорожной инфраструктуры в сфере дорожного хозяйства / И. М. Царенкова // Вестник Самарского гос. экон. ун-та. – 2021. – № 10 (204). – С. 52–61.
- 3 Прикладная статистика: Классификация и снижение размерности / под ред. С. А. Айвазяна. – М. : Финансы и статистика, 1989. – 607 с.

УДК 69:658:378.244

### ОЦЕНКА ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ АНАЛОГОВЫХ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТОИМОСТИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ ОБЪЕКТОВ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

*И. М. ЦАРЕНКОВА, И. А. ТОМЧУК, В. О. ГЕЛАЖИН*  
*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Механизм ценообразования в дорожном хозяйстве имеет специфические особенности. Это связано с различными конструктивными характеристиками участков автомобильных дорог, индивидуальным характером дорожных сооружений на них, а также тесной зависимостью стоимости их возведения, реконструкции, ремонта и содержания от конкретных условий строительства. Подобные обстоятельства не позволяют установить цены на продукцию дорожного хозяйства, за исключением

подсобного промышленного производства. Поэтому цена каждого дорожного объекта рассчитывается индивидуально на основе выполнения сметных расчетов и составления сметной документации в соответствии с объемами и видами работ, методами технологии производства и возможностями имеющейся в распоряжении производственной базы.

Для оценки стоимости автомобильных дорог и дорожных сооружений разработана специальная система ценообразования. Используются различные методики определения стоимости – базисно-индексная, ресурсная, ресурсно-индексная, на основе укрупненных сметных нормативов, а также объектов-аналогов. Использование названных методик позволяет укрупненно или прямым счетом по отдельным видам работ определить объем инвестиций [1].

Ресурсный метод требует высокой квалификации инженера-сметчика. При этом потребность в личных трудозатратах сметчика резко возрастает. Однако данный метод отличается повышенной точностью расчетов, особенно при применении фактических цен на ресурсы. Существующие элементарные методики требуют глубокой проработки проекта.

На прединвестиционной стадии определение стоимости может быть выполнено с применением укрупненных показателей, в том числе и методики объектов-аналогов. В основу расчёта стоимости строительства по укрупнённым показателям и объектам-аналогам положены:

- материалы, обобщающие сметные расчёты к проектам конкретных объектов, принятых за объект-аналог;
- нормы проектирования;
- цены на оборудование и материалы поставщиков и производителей.

Метод определения стоимости строительства на основании данных об объектах-аналогах – это использование стоимостных и ресурсных показателей по зданиям, сооружениям, проектно-технологическим модулям, элементам затрат по объектам, аналогичным проектируемому объекту по функциональному назначению, конструктивной характеристике и близким по объёмно-планировочным показателям. Метод аналогов заключается в подборе аналогичного по своим технико-экономическим показателям уже построенного объекта или группы объектов, прошедших процедуру подрядных торгов, и определении цены исходя из стоимости объекта представителя [2].

При этом аналогом является не то, что уже построено когда-то, а то, что планируется построить по образу и подобию ранее построенного. Однако решение опираться на стоимость объекта-аналога может быть ошибочным, так как стоимость схожих объектов может варьироваться, что связано со стоимостью материалов, грунтовыми условиями, типом машин, принятых при расчёте, стоимостью земли, на которой будет построен объект, долей заработной платы в прямых затратах и т. д.

Например, в нормативах США доля заработной платы в прямых затратах по общестроительным работам в зависимости от вида работ варьируется от 26 до 65 процентов, во Франции доля заработной платы составляет от 48 до 65 процентов, в России – от 4,3 до 20 процентов, в Республике Беларусь – от 1,2 (на механизированных работах, например по фрезерованию покрытия) до 70 процентов (на работах с интенсивным использованием ручного труда, например валка и разделка деревьев бензомоторной пилой).

Зарубежный опыт показывает, что стоимость объекта одного и того же наименования в разных странах сильно отличается. В таблице 1 приведены стоимости строительства одной мили тоннеля большого диаметра в разных странах, которые имеют достаточно большой разбег.

Таблица 1 – Показатели стоимости строительства транспортных тоннелей

Место строительства	Длина тоннеля, миль	Диаметр тоннеля, футов	Стоимость, млн долларов США за 1 милю
Китай, Шанхай	4,60	50,6	27,0
Испания, Мадрид	3,65	50,0	131,0
Российская Федерация, Москва	1,30	46,6	439,0
Германия, Гамбург	1,60	46,5	303,0
Малайзия, Куала – Лумпур	1,86	43,3	85,0
Франция, Париж	6,20	34,0	242,0

Примерно такая же ситуация наблюдается при сопоставлении стоимости строительства метрополитена в разных странах, которая может отличаться почти в 100 раз (таблица 2).

Таблица 2 – Показатели стоимости строительства линий метрополитена

Проект	Город	Длина тоннеля, км	Стоимость, млрд дол США за 1 км
Доступ с восточной стороны	Нью-Йорк	2,0	4,00
Центральное метро	Сан-Франциско	2,7	0,50
Линия Тоеi Oedo	Токио	40,7	0,35
Линия метро 14	Париж	9,0	0,23
Линия метро 6	Неаполь	5,0	0,13
Сантс-Ла-Сангрера	Барселона	5,8	0,04

Такие значительные различия в стоимости говорят о том, что пользоваться этими данными для оценки бюджета строительства возможно, но в плане принятия решения по существу – данные необходимо актуализировать.

Применение аналоговых методов определения затрат допустимо для получения предварительных оценочных данных о стоимости строящегося объекта при принятии решения о кредитовании, субсидировании проекта, при разработке предпроектной документации, определении сметной стоимости на стадии архитектурного проекта, формировании цены предложения претендента. При этом выбранные проекты для включения в банк данных объектов-аналогов необходимо актуализировать под текущие стоимости и современные условия ценообразования, разработать по ним укрупненные технико-экономические и стоимостные показатели. Для возможности широкого применения данного метода целесообразно формирование информационно-справочной электронной автоматизированной системы по строительству объектов транспортной инфраструктуры, работающей в онлайн-режиме. Система должна накапливать информацию о стоимостных, технико-экономических и конструктивных характеристиках строящихся объектов, о проведенных в Республике Беларусь подрядных торгах в части договорных (контрактных) цен и обеспечивать удобный поиск такой информации среди аналогичных объектов.

#### Список литературы

- 1 Самаль, Н. К. Теоретико-методическое обеспечение формирования сметной стоимости строительства объектов многофункционального назначения : автореф. дис. ... канд. экон. наук : 08.00.05 / Н. К. Самаль ; БГУУ. – Минск, 2022. – 27 с.
- 2 Голубова, О. С. Экономика строительства : учеб. пособие / О. С. Голубова, Л. К. Корбан. – Минск : Выш. шк., 2021. – 476 с.

УДК 624.21

## ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ АВТОДОРОЖНЫХ МОСТОВ ИЗ ИНВЕНТАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

*И. М. ЦАРЕНКОВА, Я. В. ШУТОВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В Республике Беларусь в составе сети автомобильных дорог общего пользования имеется 5298 мостов и путепроводов общей протяженностью 187 тысяч погонных метров. Больше половины из них требуют ремонта или реконструкции, вызванных длительными сроками эксплуатации и возрастающими транспортными нагрузками [1]. Особое внимание при этом уделяется обеспечению бесперебойного транспортного сообщения через водные преграды на автомобильных дорогах. Кроме того, при развитии транспортной инфраструктуры регионов выполняется пионерная прокладка временных дорог и мостов, необходимых для поставки оборудования и материалов на строительные площадки. Временные сборно-разборные мосты являются неотъемлемой частью инфраструктуры любого развивающегося района.

Во всех этих случаях экономически обосновано применение конструкций многоразового использования, так как после окончания производства работ оборачиваемое имущество можно использовать на других строительных объектах.



Мировой опыт показал, что наиболее целесообразной конструкцией временных мостов являются металлические сборно-разборные системы, которые изготавливаются на заводе и заблаговременно хранятся в специальных хранилищах, воинских частях транспортных войск, дорожных организаций или иных структур, а после временной эксплуатации доставляются обратно на склад, где консервируются до востребования [2].

В целях совершенствования технических решений при применении мостовых конструкций рассмотрены характеристики ключевых образцов наиболее широко применяемых объектов и проведен их анализ.

САРМ-М предназначен для возведения новых и восстановления разрушенных высоководных мостов на автомобильных дорогах в короткие сроки.

Из элементов комплекта САРМ-М возводят однопролетные и многопролетные мосты с пролетами 18,6, 25,6 и 32,6 м как разрезной, так и неразрезной систем под двухпутное и однопутное движение с промежуточными опорами, устанавливаемыми на основания, которые сооружаются на инвентарных винтовых сваях или из местных материалов (таблица 1).

В качестве опор могут быть использованы сохранившиеся капитальные и временные опоры.

Комплект моста состоит из 3 пролетных строений с ездой поверху с расчетным пролетом 32,6 м и шириной проезжей части 7,2 м; 2 промежуточных опор высотой 8,84 м с ростверками на винтовых сваях; 5 пролетных строений въездов с ездой поверху с пролетом 9,3 м и шириной проезжей части 7,2 м; 2 береговых аппарелей длиной 7,97 м; 3 промежуточных телескопических и двух береговых опор, опирающихся на грунт с помощью башмаков; монтажное оборудование и приспособления для транспортирования.

Комплект среднего моста САРМ состоит из трех пролетных строений с ездой поверху расчетным пролетом 32,6 м и габаритом проезда 7,2 м, двух промежуточных опор высотой 8,84 м, монтажного оборудования и приспособлений для транспортировки.

Из комплекта может быть собрано шесть пролетных строений расчетным пролетом 32,6 м и габаритом проезда 4,2 м.

Основные недостатки САРМ связаны с промежуточными опорами, а именно с большим шагом изменения высоты опоры – 2 м.

С целью сокращения времени на сборку моста, уменьшения численности расчета и решения других вопросов была проведена модернизация САРМ. В усовершенствованной материальной части САРМ-М введены изменения.

В комплект включены инвентарные винтовые сваи диаметром 203 и 850 мм; ригели ростверков опор и узлы сопряжения ригелей с винтовыми сваями; укороченные стойки опоры; раскосы опор, упорная рама, опорная плита новой конструкции, удлиненный аванбек.

Из комплекта изъяты короткий аванбек, подкос аванбека, береговой лежень. Для перевозки комплекта моста САРМ-М применены автомобили типа КамАЗ.

Вследствие внесенных изменений время возведения моста сократилось в 1,5–2 раза, а численность расчета – в 5–6 раз.

Таблица 1 – Характеристики автодорожных мостов из инвентарных конструкций

Характеристика	Показатели	
	Однополосный мост	Двухполосный мост
Расчетная временная нагрузка: – автомобильная – гусеничная, т	Н-13 40	Н-13 60
Ширина проезжей части, м	4,2	7,2
Общая длина моста, собираемого из одного комплекта (без въездов), м	193,4	95,6
Длина въездов на исходном берегу, м	22,8	22,8
Длина въездов на противоположном берегу, м	30,4	30,4
Общая длина моста с въездами, м	247,7	149,9
Шаг изменения высоты надстройки, м	1 или 2	1 или 2
Расчетная потребность для перевозки комплекта САРМ-М, ед.: – автомобилей КамАЗ-5410 с полуприцепами ОДАЗ-9370	45	45
Расчетная потребность четырехосных платформ для перевозки комплекта железнодорожным транспортом	20	20
Масса комплекта САРМ-М без монтажного оборудования, т	349,9	349,9
Общая масса комплекта, т	368,2	368,2

## Список литературы

1 О Государственной программе «Дороги Беларуси» на 2021–2025 годы [Электронный ресурс] : постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 8 апр. 2021 г., № 212 // Нац. правовой интернет-портал Респ. Беларусь. – Режим доступа : <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=C22100212>. – Дата доступа : 07.09.2022.

2 **Топоров, А. В.** Метод обоснования рациональной конфигурации подсистемы транспортного обеспечения в интересах группировки войск (сил) / А. В. Топоров, В. И. Бабенков, Д. Ю. Богданов // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук, 2019. – № 4 (109). – С. 33–40.

УДК 625.03

## ВЛИЯНИЕ СИТУАЦИИ НА ВЫБОР ПРОЕКТНОГО РЕШЕНИЯ ПО ПЕРЕУСТРОЙСТВУ КРИВОЙ

*А. А. ЦЕНЯН, А. Б. КАПИТОНЕЦ,  
Белорусская железная дорога, г. Минск*

*В. А. СОЛОМОНОВ  
Белорусская железная дорога, г. Гомель*

*В. В. РОМАНЕНКО  
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Проектное решение принимается в результате оценки и последующего анализа состояния фактической кривой, параметров геометрического положения кривой и технических условий содержания рельсовой колеи, а также в сравнении установленных параметров проектным и допускаемыми значениям, причем каждый участок рассматривается в индивидуальном порядке.

Такой подход необходим ввиду особенностей не только геометрических параметров, но и наличия ограничивающих условий, таких как переезды, посадочные платформы, опоры контактной сети и т. п. В отдельную группу можно выделить кривые, которые включают стрелочные переводы, замена либо перенос которых вызовут дополнительные объемы работ, поэтому для таких случаев необходимо разрабатывать несколько вариантов. Например, на станции Негорелое во II главном пути расположена двухрадиусная кривая с  $R_1 = 946$  м и  $R_2 = 844$  м. В первой элементарной кривой находится стрелочный перевод № 2 производства VAE Riga, причем существенной особенностью является его расположение в пределах не круговой, а переходной кривой. Стрелочный перевод подлежит замене ввиду выработки ресурса, а укладка вместо него однотипного не представляется возможной. Во второй элементарной кривой находится переезд.

Кривая имеет геометрическое положение, которое характеризует ее как «расстроенную» имеющую 1-ю степень расстройств из-за значений показателя по кривизне в пределах 2-й элементарной кривой, а также статус «не паспортизована» [1].

Для перевода кривой в статус «паспортизована» необходимо провести выправочные работы, при этом привести геометрическое положение кривой либо в проектное, либо в некое расчетное, которое необходимо принять за паспортное. Выбор положения, в которое будет приводиться кривая, должен основываться на обеспечении минимальных объемов работ при переустройстве, а наличие в пределах 1-й переходной кривой стрелочного перевода № 2 VAE Riga и переезда в пределах 2-й элементарной круговой кривой является препятствием для существенного изменения положения оси пути в пределах всей кривой.

Наличие переезда в пределах 2-й элементарной кривой не позволит переустроить кривую в однорядусную. При рассмотрении вариантов переустройства 1-й элементарной кривой необходимо учесть, что заменить стрелочный перевод на однотипный не представляется возможности. Для сокращения величины сдвижек оси пути стрелочный перевод VAE можно заменить на криволинейный с радиусом главного пути 900 м.

Стрелочный перевод № 2 эксплуатируется в пределах переходной кривой ПК 799+655 – ПК 799+697, для того, чтобы была возможность уложить его в участок кривой постоянного радиуса предлагается рассмотреть два варианта:

– круговую кривую 1-й элементарной кривой сместить в сторону прямого пути так, чтобы стрелочный перевод № 2 находился полностью в радиусе 900 м, положение 2-й элементарной кривой оставить без изменения;

– стрелочный перевод № 2 сместить на круговую кривую 1-й элементарной кривой, запроектировав всю кривую радиусом 900 м, но при этом необходимо будет перенести и стрелочный перевод № 4 (съезд); положение 2-й элементарной кривой можно будет оставить без изменения.

Построение модели геометрического положения кривой основывается на математической зависимости ее параметров (радиус, возвышение наружного рельса и длина переходной кривой) и скорости движения поездов.

Для приведения кривой в паспортное положение предполагается проведение выправочных работ. Учитывая наличие в пределах 1-й переходной кривой стрелочного перевода № 2, которое предполагается заменить с заменой на криволинейный с радиусом главного пути 900 м, и переезда в пределах 2-й элементарной круговой кривой, целесообразно принять положение кривой с устройством двух радиусов:  $R_1 = 900$  м и  $R_2 = 845$  м. предлагается рассмотреть два варианта проектных решений.

*Вариант № 1.* Круговая кривая 1-й элементарной кривой смещается в сторону прямого пути на 40 м для вписывания стрелочного перевода № 2 полностью в радиус 900 м, при этом положение 2-й элементарной кривой остается без изменения (рисунок 1).

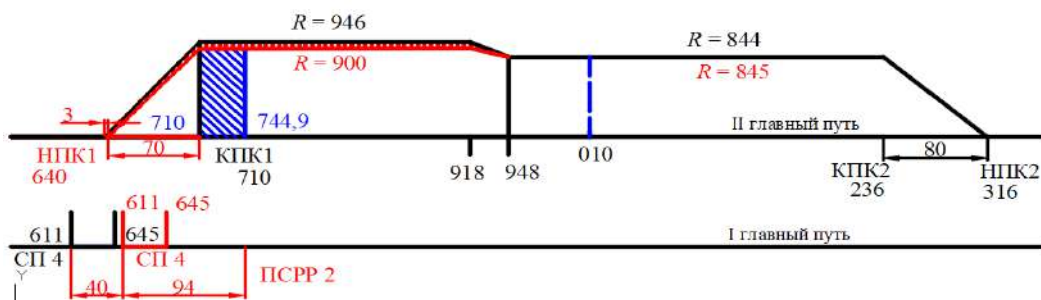


Рисунок 1 – Схема переустройства кривой согласно варианту № 1

*Вариант № 2.* Стрелочный перевод № 2 вписать в круговую кривую 1-й элементарной кривой, которая будет иметь радиус 900 м, но при этом для сохранения длины обыкновенного съезда необходимо будет перенести стрелочный перевод № 4 (съезд) на 40 м; положение 2-й элементарной кривой оставить без изменения (рисунок 2).

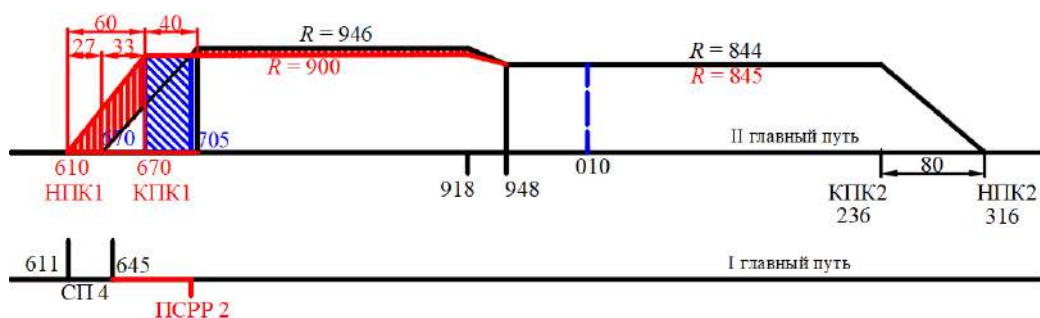


Рисунок 2 – Схема переустройства кривой согласно варианту № 2

Для приведения переходных кривых в паспортное положение для 1-го варианта необходимо длину 1-й переходной уменьшить на 13 м, при этом длину круговой кривой увеличить на 40 м, а длину 2-й переходной кривой оставить без изменений. Для второго варианта длину 1-й переходной уменьшить на 3 м, а длину 2-й переходной кривой оставить без изменений, но при этом сместить стрелочный перевод № 4 на 40 м.

При производстве рихтовочных и выправочных работ предусмотрено совмещение обеих переходных кривых по кривизне и уровню в точках НПК1, КПК1, КПК2, НАК2, а именно для 1-го варианта соответственно 35, 52, 5 и 1 м, а для 2-го варианта – 5, 12, 5 и 1 м.

Чтобы обеспечить радиусы, принятые для паспортизации, для 1-й элементарной кривой  $R = 900$  м ( $f = 56$  мм) необходима сдвигка участка пути в плане. Максимальная величина сдвигки в

области  $R_{\max} = 1166$  м ( $f = 43$  мм) составит  $56 - 43 = 13$  мм, что в свою очередь не вызовет серьезных изменений в положении кривой. Для 2-й элементарной кривой  $R = 845$  м ( $f = 59$  мм) также необходима сдвигка участка пути в плане. Максимальная величина сдвигки в области  $R_{\min} = 940$  м ( $f = 53$  мм) составит  $59 - 53 = 6$  мм, что в также не вызовет серьезных сдвижек в плане.

Анализируя рисунки 1, 2 и варианты переустройства, можно сделать вывод о необходимости определения еще и финансовых расходов по выбору организации работ, так как переустройство кривой по первому варианту вызовет большие сдвигки пути в плане, а согласно второму – при минимальных сдвигках необходимо будет сместить стрелочный перевод, расположенный на соседнем пути.

#### Список литературы

1 Методика по оценке фактических параметров устройства кривых участков пути мобильными диагностическими средствами для их паспортизации : офиц. изд. : утв. приказом от 02.11.2020 № 838 НЗ : Введ. в действие 06.11.2020. – Минск, 2020. – 10 с.

УДК 629

## ОБ ОТДЕЛЬНЫХ НАПРАВЛЕНИЯХ ЗАЩИТЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ И ПОДВИЖНОГО СОСТАВА В ВОЕННОЕ ВРЕМЯ

*В. В. ЦЫБУЛЬКО*

*Военная академия Республики Беларусь, г. Минск*

Защита поездов и воинских эшелонов, железнодорожной инфраструктуры во время ведения боевых действий, а также в мирное время от угроз террористической деятельности имеет большое значение, так как в военное и мирное время железная дорога обеспечивает перевозку вооружения, военной техники и средств материально-технического обеспечения. С использованием поездов железной дороги перевозятся важные грузы, значительную долю которых могут составлять опасные и особоважные грузы. В результате воздействия противника или террористических групп по элементам железнодорожной инфраструктуры выходит из строя подвижной состав, разрушаются верхнее строение пути, земляное полотно, искусственные сооружения, происходят потери перевозимых грузов и людей, разрушаются станции и узлы. В военное время аварии и крушение железнодорожных составов, повреждение элементов железнодорожной инфраструктуры следует рассматривать исходя из двух направлений действий противника: во-первых, в результате применения противником противотранспортных мин мгновенного и замедленного действия, противотранспортных бомб-мин, а также бомб замедленного действия; во-вторых, в результате огневого воздействия различными ударными системами, в том числе средствами воздушного нападения (СВН) с использованием высокоточного оружия (управляемые ракеты, снаряды и бомбы) (ВТО).

Для предотвращения аварий и крушений на железных дорогах по причине разрушения пути снарядами и бомбами как в мирное, так и в военное время во многих государствах применяется и применялось большое количество различных средств и способов. Рассматривая противодействие применению противником противотранспортных мин различного действия, противотранспортных бомб-мин, а также бомб замедленного действия, опираясь на опыт войн и локальных конфликтов, следует остановиться на отдельных способах защиты от них подвижного состава. Несколько примеров из истории... Для борьбы с вьетнамскими партизанами в 1965 году на железной дороге Сайгон – Ханой англичане применяли танк, оборудованный колёсами для движения по железнодорожным рельсам – так называемый «WickhamTrolley». А американцы для охраны железных дорог на юге Вьетнама предложили обеспечить безопасный пропуск поездов путём применения двух платформ, которые предшествовали локомотиву, а затем за поездом следовал танк «WickhamTrolley». Однако полностью исключить аварии и крушения не удалось. В годы Великой Отечественной войны в Советской армии для предотвращения крушения поездов от подрыва на пропущенных при разминировании минах после восстановления железнодорожных участков использовались контрольные поезда. Задачей контрольных поездов являлось приведение к срабатыванию мин нажим-

ного действия и противопоездных мин замедленного действия, срок замедления которых истек [1]. Недостатком указанных способов является то, что они не могут с высокой надежностью защитить поезд от аварий и крушений в следующих ситуациях: на разрушенных или получивших дефекты участках пути; от подрыва на противотанковых минах нажимного действия, так как для их срабатывания защитное средство должно иметь нагрузку на ось не менее 22–24 т; от подрыва на противопоездных минах замедленного действия, на минах с электромагнитными взрывателями, на управляемых минах. В настоящее время рассматривают способ защиты поездов от аварий и крушений, реализуемый в многофункциональном устройстве. Суть данного способа заключается в том, что охраняемый поезд отправляется со станции вслед за устройством для защиты поездов от аварий и крушений и перемещается по перегону за ним на расстоянии тормозного пути. Устройство для защиты поездов от аварий и крушений может включать: тяговое средство с видеокамерой наблюдения, радиосистемой, приводящей к срабатыванию радиоуправляемых мин, и режущим органом для повреждения проводных линий управления взрывами мин; две четырехосные платформы с массой балласта, обеспечивающего нагрузку 22–24 т/ось; съемную тележку с цепным устройством для приведения к срабатыванию мин со штыревыми взрывателями и электромагнитным тралом. Такой способ может обеспечить своевременную остановку охраняемого поезда при подрыве защитного устройства. При дефектах и разрушениях верхнего строения пути обеспечивается максимальная защита, так как машинист охраняемого поезда имеет возможность своевременно остановить состав при аварии или повреждении следующего перед ним защитного устройства.

Рассматривая прикрытие объектов от огневого воздействия различными ударными системами, в том числе СВН с использованием ими элементов ВТО, следует обозначить возможность создания комплексной целостной системы защиты подвижных составов и элементов железнодорожной инфраструктуры. Необходимо отметить, что одной из задач обеспечения эффективного функционирования железнодорожной инфраструктуры и подвижного состава является правильный выбор и эффективное применение средств их защиты. Эти средства должны отвечать следующим требованиям: в наибольшей степени снижать заметность объектов и эффективность воздействия по ним противника; обеспечивать возможности по техническому прикрытие и восстановлению железных дорог и инфраструктуры; иметь минимальные габариты и массу; иметь незначительную стоимость. Для защиты объектов железнодорожной инфраструктуры и подвижного состава следует рассматривать возможность создания комплексов средств защиты (КСЗ). КСЗ должен быть предназначен для защиты железнодорожной инфраструктуры и подвижного состава от средств разведки и наведения оружия противника. К основным функциям, которые он должен выполнять, относятся обнаружение СВН, атакующих элементов ВТО противника; информирование защищаемых объектов об ударе ВТО [2]. КСЗ можно размещать на отдельной ходовой базе или прицепе и включать его в штатный состав вооружения и техники защищаемого объекта. В него целесообразно включать следующие подсистемы: 1) разведывательную – радиолокационное средство, способное обнаружить СВН и атакующие элементы ВТО; 2) информационно-управляющую – средства оповещения о возможном ударе, средства управления, связи, передачи и обмена информацией; 3) подсистему противодействия СВН и атакующим элементам ВТО, включающую в себя средства постановки комбинированных протяженных аэрозольных дымовых завес, групповые пеногенераторы маскирующих пен, пенные импульсные распятнители местности; средства постановки помех, средства имитации физических полей железнодорожных объектов на основе химических реагентов; средства снижения заметности, дистанционно управляемые дымовые шашки; табельные средства маскировки (маскировочные сети, надувные макеты и имитаторы и т. д.); средства активной огневой защиты от атак СВН и элементов ВТО противника. При построении данной подсистемы защиты от элементов ВТО необходимо учитывать, что большая часть средств поражения доставляется воздушными носителями (боевые самолеты, вертолеты, БЛА). Исходя из этого следует отметить, что основой борьбы со СВН должны быть силы и средства, входящие в систему ПВО. Исходя из этого при разработке КСЗ для достижения максимального противодействия средствам поражения, размещенным на СВН, мероприятия и средства защиты необходимо разделить на активные и пассивные. К активным средствам защиты прежде всего следует отнести применение зенитных ракетных комплексов и систем (ЗРК, ЗРС), которые можно размещать в том числе и на оборудованных платформах подвижного состава. Многие типы современных ЗРК и ЗРС способны эффективно поражать СВН противника до выхода их на рубеж пуска авиационных средств поражения, баллистические и дру-

гие типы ракет – до момента раскрытия их кассетной боевой части. Пассивная защита должна быть обеспечена за счет использования высокой мобильности защищаемого объекта и применения мероприятий по снижению заметности.

Таким образом, рассмотренные направления защиты железнодорожной инфраструктуры и подвижного состава в военное и в мирное время при угрозах террористических атак позволят в определенной степени снизить эффективность поражения противником и сохранить их возможности по функционированию и жизнедеятельности.

#### Список литературы

- 1 **Исаева, Н. В.** Защита поездов от аварий и крушений / Н. В. Исаева, Е. В. Щеглов // Вестник Военной академии материально-технического обеспечения им. генерала армии А. В. Хрулева. – 2018. – № 3 (15). – С. 43–48.
- 2 **Ашин, В. В.** Основные средства для защиты объектов железнодорожной сети / В. В. Ашин // Вестник Военной академии материально-технического обеспечения им. генерала армии А. В. Хрулева. – 2017. – № 4 (12). – С. 119–126.

УДК 625.151, 625.171, 629.464.47

## ТЕХНОЛОГИЯ КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ СТРЕЛОЧНЫХ ПЕРЕВОДОВ ДИАГНОСТИЧЕСКИМИ РОБОТАМИ

*А. А. ЧЕКИН*

*Самарский государственный университет путей сообщения, Российская Федерация*

Железнодорожная станция представляет собой сложную систему, включающую в себя инфраструктурные объекты, которые требуют регулярного контроля. На станции проверке подлежат главные и приемоотправочные пути, а также стрелочные переводы. Применительно к хозяйству пути регулярно контролируется более 30 параметров, большая часть из которых относится к параметрам стрелочного перевода [1].

Для контроля состояния стрелочных переводов применяются различные измерительные средства диагностики, достоинства и недостатки которых приведены в таблице 1. Более 90 % всех стрелочных переводов контролируются механическими и автоматизированными путевыми шаблонами. Однако сам процесс измерения, особенно на крупных станциях, занимает немало времени, так как зависит от ряда факторов: занятость путей, скорость передвижения оператора, работа в условиях реального перевозочного процесса. В данном процессе ключевым недостатком остается присутствие человека на путях и отсутствие полной автоматизации всех алгоритмов.

Таблица 1 – Сравнительная таблица измерительных средств диагностики

Измерительное средство	Достоинства	Недостатки
1 Механические шаблоны	Простота и надежность в использовании, стоимость	Ведение отчетной документации в бумажном виде, сильное влияние «человеческого» фактора на результат измерения
2 Автоматизированные шаблоны	Автоматизированное измерение большинства параметров стрелочного перевода и передача измерительной информации по защищенному каналу	Влияние «человеческого» фактора, связанное с корректной установкой шаблона на путь
3 Путьизмерительные тележки	Расширенный перечень измеряемых параметров	Трудоемкий процесс измерения, связанный с занятостью путей и скоростью передвижения оператора по путям, присутствие человека на путях и отсутствие полной автоматизации всех процессов
4 Мобильные средства	Расширенный перечень измеряемых параметров, скорость проведения диагностики	Экономически невыгодное использование в пределах станции
5 Автономные средства (ИИС КСИ)	Полная автономия всех процессов: от измерения до получения выходных форм, сокращение затрат на диагностику станционной инфраструктуры за счет проведения её в рамках штатной маневровой работы локомотива, отсутствие экипажа, избыточность диагностической информации	Для полного промера станции требуется внесение коррективов в график движения локомотива

Концептуально для решения задач контроля состояния стационарной инфраструктуры наиболее рациональным является применение диагностических роботов [2]. Диагностический робот представляет собой автономную информационно-измерительную систему, которая может быть установлена практически на любую подвижную единицу (носитель) и отличается своей компактностью и независимостью от штатных систем подвижной единицы. От подвижной единицы система использует только электропитание. Это решение как нельзя лучше подходит для задач контроля состояния стационарной инфраструктуры, включая контроль стрелочных переводов. Использование диагностических роботов позволяет существенно сократить затраты на диагностику, исключить влияние «человеческого фактора» и проводить контроль под реальной поездной нагрузкой.

Для решения задач систематического и упорядоченного контроля железнодорожной инфраструктуры, основной из которых является контроль стрелочных переводов, специалистами НПЦ ИНФОТРАНС была разработана автономная информационно-измерительная система контроля состояния стационарной инфраструктуры (ИИС КСИ), работающая по принципу диагностического робота. Эксплуатационная отработка ИИС КСИ, установленной на маневровом локомотиве ТЭМ18ДМ (рисунок 1), осуществлялась в рамках штатной эксплуатации локомотива на станции Кинель Куйбышевской дирекции инфраструктуры.



Рисунок 1 – Внешний вид ИИС КСИ

Измерительный модуль системы контроля геометрии пути и стрелочных переводов формирует фактическую модель пути, где облако точек, получаемое лазерными сканерами нанизывается на траекторию, которая формируется бесплатформенной инерциальной навигационной системой. Для оценки параметров стрелочного перевода требуется осуществить промер ИИС КСИ по прямому и боковому путям стрелочного перевода. В рамках промера осуществляется автоматическая привязка результатов измерений к железнодорожному пути с помощью ГНСС. При помощи точной привязки определяется острок стрелочного перевода, по которому происходит совмещение прямого и бокового пути и получение единой 3D-модели [3]. Используя паспортную информацию о проекте и типе стрелочного перевода, определяют контрольные сечения, в которых осуществляется измерение основных контролируемых параметров (рисунок 2).

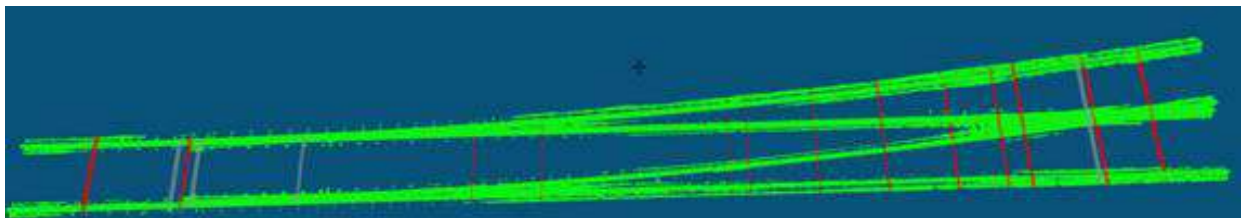


Рисунок 2 – Пример 3D-модели совмещенного стрелочного перевода

По результатам работы ИИС КСИ формируются формы ПУ-29 стрелочных переводов, полученные полностью в автоматическом режиме (рисунок 3).







Изменения климата в сторону потепления, приводит к тому, что конструкции линейных сооружений, подвергаются тепловому и радиационному солнечному воздействию больше, чем когда проектировались, аккумулируют тепло и воздействуют на грунты основания, физические свойства которых зависят от глубины залегания нулевых или отрицательных температур.

В широком смысле современная лесовозная дорога – это линейное сооружение, по которому перемещается груженное лесом транспортное средство, от места заготовки леса до места его переработки, в любое время года. Это расстояние может иметь десятки километров. Данная дорога состоит из отрезков разной протяжённости, разного конструктивного исполнения и проходит по разной местности.

Участки дорог, расположенные ближе к местам переработки леса, в большинстве случаев имеют твёрдое покрытие и пригодны для проезда гружёного лесом транспорта, круглогодично, так как в основном располагаются возле населённых пунктов. По мере приближения дороги к месту валки леса (чем дальше в лес, тем она более не проходима в летний период) покрытие упрощается, появляются затопленные участки, образующиеся от колеи транспорта и заполненные атмосферными осадками.

Многокилометровый участок имеющий такую структуру: лесосека (участок валки леса) – лесовозный ус (временный лесовозный путь) – ветка (ответвление от магистрали) – магистраль (лесовозная дорога) – деревоперерабатывающее предприятие (конечная точка), предназначенный для транспортировки леса, может оказаться бесполезным при наличии лишь в одном месте непроходимого участка, образовавшегося в результате выпадения атмосферных осадков или наступившей зимней оттепели.

Для оперативной оценки и быстроты реакции в принятии решений на автомобильных дорогах, включая лесовозные дороги, всё чаще вводят геотехнический мониторинг насыпей земляного полотна и грунтов основания.

Опережающая информация о процессах, которые происходят в теле земляного полотна, даёт возможность оперативно принимать меры, вплоть до приостановки движения, выполнения опережающих ремонтов, тем самым поддерживая в целом транспортную лесовозную сеть в работоспособном состоянии.

Известно, что температура тела насыпи и влажность грунта насыпи разные в зависимости от сезона, но они разные и в одном сезоне в зависимости от места расположения участка дороги на местности. Гружёный транспорт, водно-тепловой режим местности, воздействуя на дорожное покрытие, по-разному деформируют его.

Получается, конструкция дорожной одежды одна, а деформируется по-разному. Вследствие различных деформаций, связанных с изменением климата, покрытие дороги разрушается не на всём протяжении, а местами (в определённых местах общего лесовозного пути). Как правило, это происходит в лесных массивах, в непосредственной близости от производства лесовалочных работ, и останавливает движение по лесовозному пути полностью.

В нашей стране теоретико-вероятностные подходы предупреждения деформаций земляного полотна для разных климатических зон изучены достаточно широко [2].

Реальная диагностика температуры и влажности тела насыпи, лесовозной дороги, включая зоны с многолетнемерзлыми грунтами, также существует в нашей стране и даёт возможность выполнять вывоз лесоматериалов круглогодично путем своевременных, превентивных и локально решаемых мер или ремонтов.

Беспроводные приборы для измерения влажности и температуры состоят из датчиков, закладываемых в тело насыпи (при строительстве) и сенсорного приёмника, обеспечивающего приём и передачу данных до 1,0 км диспетчеру (на персональный компьютер или телефон) [3].

По тому же принципу действуют и кабельные системы. Принцип действия приборов основан на измерении температуры грунта в реальном времени, выводе информации на экран прибора, считыванием и внесением оператором показаний в полевой журнал. Датчики могут быть расположены на расстоянии до 1,2 км от прибора (по максимальной длине кабеля), количество датчиков не ограничено.

Автоматизация геотехнического мониторинга включает в себя сбор измерений, её первичную обработку; сопоставление контролируемых показателей с программной базой, визуализацией результатов; хранение и передачу далее полученной информации.

Опережающие мероприятия, при получении достоверной информации о состоянии тела насыпи автомобильной дороги, в конечном счёте экономически более предпочтительны, чем капитальный ремонт участка дороги [4].

Рекомендации и обоснования конструктивно-технологических решений, для быстрого применения, разрабатываются заранее и могут включать [5]:

- отвод поверхностной воды от тела земляного полотна;
- очистку откосов от снежного покрова (для охлаждения тела насыпи);
- устройство на откосах насыпи каменной наброски для их охлаждения (в том числе для предотвращения перегрева тела насыпи в летнее время);
- глубинное охлаждение оснований с помощью сезонно охлаждающих устройств (СОУ);
- теплоизоляцию продольных водоотводных систем.

Температурно-влажностный режим грунтов, включая грунты, находящиеся в многолетнемерзлом состоянии, определяет их несущую способность; от него зависят особенности конструктивных решений не только при проектировании, но и при получении своевременной и достоверной информации; он определяет экономически выверенный способ содержания дороги и поддержания её в работоспособном состоянии.

#### Список литературы

1 Чудинов, С. А. Повышение надежности лесовозных дорог в условиях изменения климата / С. А. Чудинов, О. Н. Байц // Проблемы безопасности на транспорте : материалы XI Междунар. науч.-практ. конф. (Гомель, 25–26 ноября 2021 г.) : в 2 ч. Ч. 2 ; под общ. ред. Ю. И. Кулаженко. – Гомель : БелГУТ, 2021 – С. 46–48.

2 Скрыльников, И. Г. Проектирование и эксплуатация земляного полотна автомобильных дорог в районах распространения многолетнемерзлых грунтов (с использованием теории риска) : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05–23–11 / И. Г. Стрельников; ВолГАСУ. – Волгоград, 2012. – 22 с.

3 ОДМ 218.2.091–2017. Геотехнический мониторинг сооружений инженерной защиты автомобильных дорог / Фед. дор. агентство. – М., 2019.

4 Чудинов, С. А. Повышение эффективности строительства и эксплуатации лесовозных автомобильных дорог / С. А. Чудинов, Ю. О. Емельянова // Инновационное развитие техники и технологий наземного транспорта : сборник статей II Всерос. науч.-практ. конф. (Екатеринбург, 16 декабря 2020 г.). – Екатеринбург : УрФУ, 2021. – С. 30–31.

5 Чудинов, С. А. Адаптационные технологии в строительстве лесовозных дорог в условиях изменения климата / С. А. Чудинов // Вестник Марийского государственного технического университета. Сер. Лес. Экология. Природопользование. – 2010. – № 2 (9). – С. 76–81.

УДК 624.138.41

## ПРИМЕНЕНИЕ ЛИГНОСУЛЬФОНАТОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

*С. А. ЧУДИНОВ, Н. В. ЛАДЕЙЩИКОВ*

*Уральский государственный лесотехнический университет,  
г. Екатеринбург, Российская Федерация*

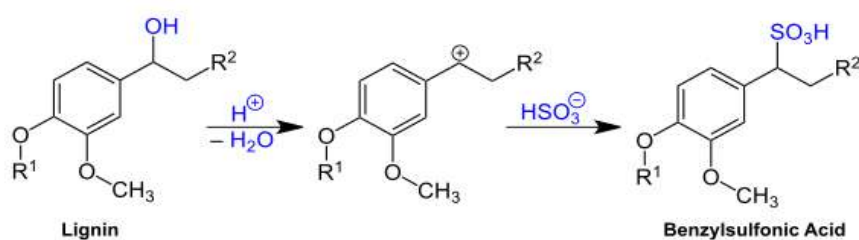
Безопасность эксплуатации автомобильных дорог зависит от их транспортно-эксплуатационного состояния в течение всего срока службы. Особенно это важно для автомобильных дорог, эксплуатирующихся с высокими транспортными нагрузками, к которым относятся лесовозные автомобильные дороги. Обеспечение требуемых качественных показателей лесовозных автомобильных дорог в течение всего срока их службы является необходимым условием для бесперебойного функционирования лесозаготовительной отрасли и безопасной эксплуатации транспортной инфраструктуры. Для повышения качества лесовозных автомобильных дорог применяются различные эффективные технологии и дорожно-строительные материалы.

Лигнин (*лат. lignum – дерево*) – сложный природный полимер, входящий в состав растений, продукт биосинтеза. Лигнин – самый распространенный полимер на Земле после целлюлозы. В естественном состоянии в растениях лигнин связан с целлюлозой и образует с ней структуру, по-

добную по физико-механическим свойствам железобетону (лигнин подобен бетону, микроволокна целлюлозы – арматуре), в первую очередь – прочности.

Основа любого производства на целлюлозно-бумажных комбинатах – глубокая термическая и химическая переработка древесного сырья. Лигнин образуется в большом количестве при переработке целлюлозы. Его как технологические отходы подают в склады-накопители на хранение. Запасы гидролизного лигнина в России составляют десятки миллионов тонн, они сопоставимы с отходами лесопиления и деревообработки. Вопросы утилизации гидролизного лигнина – одни из наиболее важных в производстве различного рода продукции, где он является побочным остаточным продуктом, загрязняющим окружающую среду. Кроме того, в сульфитном производстве образуются растворы сульфитных лигнинов (лигносульфонатов), часть которых накапливается в лигнохранилищах, а часть уходит со сточными водами предприятия в реки и озера.

Лигносульфонат – продукт переработки растительного древесного сырья на ЦБК.



Лигносульфонаты – это общее название солей лигносульфоновых кислот. Являются природными водорастворимыми сульфопроизводными лигнина. Лигносульфонаты имеют высокую поверхностную активность, что позволяет использовать их в качестве анионных поверхностно-активных веществ в различных областях промышленности, в том числе и в дорожном строительстве.

Лесовозные дороги являются одной из важнейших составляющих лесопромышленной инфраструктуры, и одна из наиболее острых проблем лесопромышленного комплекса России – нехватка и низкое качество лесовозных дорог, во многих случаях вынуждающие вести заготовку древесины преимущественно в холодное время года. Одной из более эффективных и перспективных методик снижения стоимости строительства и ремонта лесных автомобильных дорог можно считать использование в дорожных покрытиях укрепленных грунтов.

Многочисленные исследования отечественных и зарубежных ученых показывают целесообразность применения цемента в качестве вяжущего для укрепления грунтов [1, 2]. Наиболее распространенными как в мире, так и на территории Российской Федерации являются глинистые грунты, сложность укрепления и широкого использования которых в дорожных одеждах связана с особенностями их физико-технических свойств. Поэтому повышение эффективности и качества глинистых грунтов, укрепленных портландцементом, является одной из актуальных задач, которая не может быть успешно решена без модификации химическими добавками, влияющими на структуру и свойства получаемого материала.

В настоящее время доказана техническая и экономическая эффективность устройства дорожных одежд со слоями из местных грунтов, укрепленных различными вяжущими [3]. Многолетние обследования эксплуатируемых участков дорог с основаниями из укрепленных грунтов позволяют утверждать, что такие материалы обладают высокими технико-экономическими и эксплуатационными качествами. Цементогрунтовые слои в дорожной одежде обеспечивают соответствующий нормативам водно-тепловой режим всей дорожной одежды, пониженное водонасыщение при устройстве земляного полотна, хорошую ровность покрытия, снижение колеобразования во всех слоях дорожной одежды и предотвращают появление усталостных трещин в дорожном покрытии [4].

В то же время известно, что конструктивные слои дорожной одежды из цементогрунта имеют существенный недостаток, заключающийся в образовании сетки трещин вследствие воздействия на них различного рода факторов. Такие трещины могут возникнуть не только из-за прилагаемых динамических и климатических нагрузок, но и из-за особенности структуры материала. При укреплении грунтов цементом применяют различные добавки с целью создания оптимальных условий твердения цемента и улучшения технологических свойств цементогрунтовых смесей, повышения

деформативных свойств цементогрунта и, как следствие, повышения прочности и долговечности изделий из этого материала, расширения количества видов грунтов, пригодных для укрепления, а также в целях экономии цемента.

Для улучшения деформативных свойств цементогрунта в мире используют различные полимерные добавки. Следует отметить, что зарубежные добавки использовать неэффективно ввиду их высокой стоимости, а применение существующих добавок отечественного производства не дает устойчиво выраженного эффекта. Поэтому возникает необходимость в разработке комплексной полимерной добавки отечественного производства, которая позволила бы улучшить физико-механические свойства дорожного цементогрунта, повысить его деформативность и трещиностойкость, снизить стоимость дорожного полимерцементогрунта. Таким образом, актуальность постановки и решения данной проблемы представляется не только очевидной, но и необходимой. Несмотря на работы предшественников, выполненные в НИИ и вузах страны, проблема повышения качества лесовозных автомобильных дорог из укрепленных грунтов с применением отходов ЦБК не получила должного развития. Однако анализ отходов гидролизной промышленности свидетельствует о целесообразности их использования в строительстве лесовозных дорог, в том числе и по причине снижения расхода битума.

#### Список литературы

- 1 Буланов, П. Е. Модификация укрепленных портландцементом глинистых грунтов для дорожных одежд комплексной гидрофобно-пластифицирующей добавкой : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05–23–05 / П. Е. Буланов ; Казан. архит.-строит. ун-т. – Казань, 2017. – 20 с.
- 2 Чельшева, Т. В. Применение лигносульфонатов для укрепления и обеспыливания лесовозных автомобильных дорог / Т. В. Чельшева // Известия вузов. Лесной журнал. – 2001. – № 5–6. – С. 64–70.
- 3 Чудинов, С. А. Укрепленные грунты в строительстве лесовозных автомобильных дорог : [монография] / С. А. Чудинов. – Екатеринбург : УГЛТУ, 2020. – 174 с.
- 4 Чудинов, С. А. Повышение надежности лесовозных дорог в условиях изменения климата / С. А. Чудинов, О. Н. Байц // Проблемы безопасности на транспорте : материалы XI Междунар. науч.-практ. конф. (Гомель, 25–26 ноября 2021 г.). В 2 ч. Ч. 2 ; под общ. ред. Ю. И. Кулаженко. – Гомель : БелГУТ, 2021. – С. 46–48.

## СОДЕРЖАНИЕ

<i>Кулаженко Ю. И.</i> Приветствие участникам конференции .....	3
<b>1 БЕЗОПАСНОСТЬ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ</b>	
<i>Авсиевич В. В., Колягин И. К., Ярыгин С. В.</i> Применение нейросетей в системах безопасности .....	4
<i>Азелица С. А., Шуст О. Н.</i> Разработка мероприятий по снижению количества и тяжести дорожно-транспортных происшествий с участием пешеходов в г. Гомеле .....	5
<i>Аляева А. С.</i> Обеспечение кибербезопасности в условиях активной цифровизации железнодорожной инфраструктуры.....	7
<i>Бабарыкина А. С.</i> Повышение устойчивости функционирования городских транспортных систем с применением геоинформационных технологий на примере города Могилева .....	9
<i>Гянджумян В. В., Варламов А. В.</i> Повышение уровня транспортной безопасности при использовании инновационного подвижного состава .....	11
<i>Деятков Д. М.</i> Снижение влияния выполнения показателя среднего веса поезда на простой местного вагона на станциях как одна из важнейших задач клиентоориентированного холдинга «РЖД» .....	12
<i>Дементьева Ю. В., Татаринцев С. Д.</i> Проблема автотранспортного травматизма на предприятиях железных дорог .....	16
<i>Елина Е. И., Глинский В. А.</i> Вопросы безопасности «физического интернета» в транспортных системах .....	19
<i>Ерофеев А. А.</i> Оценка влияния внедрения интеллектуальных систем на надежность системы управления перевозочным процессом .....	20
<i>Журавлев Д. И., Варламова Н. Х.</i> Реализация услуги по обеспечению грузоотправителей запорно-пломбировочными устройствами и закрутками на базе территориальных центров фирменного транспортного обслуживания.....	25
<i>Зенкевич А. Г.</i> Метод оценки соответствия уровня подготовки кандидата в кадровый резерв руководителей транспортного предприятия .....	27
<i>Карасевич С. Н., Роговая А. В.</i> Управление городской мобильностью снижением потребности в передвижениях .....	28
<i>Катченко Н. М., Гопова Е. А., Гегедеш М. Г., Петрачков С. А.</i> Особенности перевозки длинномерных грузов железнодорожным транспортом .....	30
<i>Козлов В. Г., Терещенко О. А., Килочицкая М. А., Лейнова Ю. О., Страдомская А. А.</i> Повышение безопасности эксплуатационной работы железнодорожных станций за счет цифровой трансформации бизнес-процессов комиссионных месячных осмотров.....	32
<i>Корнеев О. В.</i> Обеспечение устойчивого развития мультимодальных транспортных систем .....	33
<i>Литвинова И. М., Страдомский М. Ю.</i> Совершенствование системы учета происшествий при осуществлении транспортной деятельности на железнодорожном транспорте .....	35
<i>Максимова Е. С.</i> Оценка рисков в работе оперативно-диспетчерского персонала .....	37
<i>Малюченко В. К., Глинский В. А.</i> Этап «последней мили» в вопросе безопасности при организации транспортных перевозок .....	39
<i>Млявая О. В., Кузнецов В. Г.</i> Надежность графика движения поездов в системе управления рисками .....	41
<i>Москвичев О. В., Москвичева Е. Е.</i> Цифровизация рабочих мест в грузовой работе как инновационный метод повышения безопасности и качества приёма грузов к железнодорожной перевозке .....	45
<i>Москвичева Е. Е., Шималакова Е. А.</i> Осмотр фитинговых упоров вагонов-платформ при перевозке крупнотоннажных контейнеров с использованием технических средств нового поколения .....	46
<i>Муконина М. И., Швалов В. Д.</i> Методы прогнозирования и предотвращения правонарушений на железнодорожном, автомобильном и водном транспорте .....	49
<i>Негрей В. Я., Козлович Д. В.</i> Повышение безопасности и энергоэффективности перевозочного процесса .....	51
<i>Негрей В. Я., Пожидаев С. А.</i> Научно-методическое обеспечение повышения безопасности и надежности работы сортировочных устройств .....	52
<i>Негрей В. Я., Чиграй Г. В.</i> Оценка параметров безопасности работы железнодорожных переездов .....	54
<i>Солоп И. А., Чеботарева Е. А., Куренков П. В.</i> К вопросу реализации системы менеджмента безопасности движения .....	56
<i>Сосевич Н. М., Панченко В. Н., Акименко Я. В.</i> Культура безопасности движения при проведении маневровых работ.....	58
<i>Страдомский М. Ю., Кузнецов В. Г., Килочицкая М. А., Литвинова И. М.</i> О некоторых аспектах регулирования вопросов обеспечения безопасности на железнодорожном транспорте .....	61

<i>Тарасов Е. М., Тарасова А. Е., Надежкин В. А.</i> Повышение безопасности на железнодорожных переездах с использованием принципа переменной длины участка приближения .....	65
<i>Телегина Ю. П.</i> Информационные технологии в перевозочном процессе .....	67
<i>Тишуков С. В., Чемоданов Д. А.</i> Применение цифровых двойников при проектировании тягового подвижного состава .....	69
<i>Третьяков Г. М., Денисов В. В., Фокеев А. Б.</i> Повышение безопасности работы железнодорожной транспортной системы на основе технологии крепления груза в вагоне .....	70
<i>Третьяков Г. М., Кононов И. И., Прусов М. В.</i> Обеспечение безопасности подвижного состава железнодорожного транспорта и транспортных средств .....	72
<i>Филатов Е. А.</i> Адаптация требований к стрелочным горловинам улучшенных эксплуатационных качеств для практического использования .....	74
<i>Чиграй Г. В.</i> Сокращение энергетических расходов на тягу поездов на основе математических моделей в системе «колесо – рельс» .....	76
<i>Шатило С. Н., Дорошко С. В.</i> Актуальные вопросы безопасности и профилактики травматизма на объектах Белорусской железной дороги .....	78
<i>Шкурин К. М., Шкурин М. И.</i> Повышение экономической эффективности плана формирования грузовых поездов в условиях нестабильности вагонопотоков .....	80
<i>Янцевич И. Е., Иванова А. П.</i> Дистанционный мониторинг для разработки «модуля программного обеспечения» ультразвукового дефектоскопа Авикон-11 .....	82

## **2 БЕЗОПАСНОСТЬ И НАДЕЖНОСТЬ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА И СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ**

<i>Ананьева О. С., Мелешко В. В.</i> Выбор схемы тягового электроснабжения на участке Минск – Борисов .....	86
<i>Бубнова Г. А.</i> Организация подачи ресурсов в рамках проведения технического обслуживания и ремонта грузовых вагонов .....	88
<i>Бурченков В. В., Кауфман Т. В.</i> Модель системы массового обслуживания для автоматической диагностики периферийных устройств контроля подвижного состава .....	89
<i>Васильев С. М., Пищик А. В.</i> Анализ неисправностей 40-футовых ISO-контейнеров HIGH CUBE и предложения по сохранности контейнерного оборудования в эксплуатации. ....	91
<i>Ворожун И. А., Ворожун А. В.</i> Анализ сил в элементах упругого крепления труб при экстренном торможении поезда на участках пути с переменным профилем .....	93
<i>Гаранин М. А., Блинкова С. А.</i> Управление ресурсами, рисками и надежностью на объектах электроснабжения. ....	95
<i>Гизатуллина В. Г., Разон В. Ф., Здановская Н. В.</i> Основные подходы к выбору норм времени отдельных видов работ для их использования при определении производительности труда на предприятиях вагонного хозяйства .....	97
<i>Гизатуллина В. Г., Разон В. Ф., Здановская Н. В.</i> Расчет производительности труда на предприятиях вагонного хозяйства .....	99
<i>Грачев В. В., Грищенко А. В., Базилевский Ф. Ю., Панченко М. Н., Фурман В. В.</i> О причинах низкочастотных колебаний рамы тепловоза на холостом ходу силовой установки .....	101
<i>Грищенко А. В., Шрайбер М. А.</i> Модель термомеханических напряжений в изоляции ТЭД тепловозов .....	103
<i>Гучинский Р. В.</i> Особенности расчета прочности путеочистителя .....	105
<i>Довгяло В. А., Моисеенко В. Л., Пупачёв Д. С., Максимчик К. В.</i> Разработка конструкции устройства для перераспределения и планировки щебеночного балласта .....	107
<i>Долгушина Т. Ю.</i> Основные тенденции и перспективы развития подвижного состава железных дорог .....	109
<i>Дорожук Д. В.</i> Проблема гололедообразования на проводах контактной сети и линий электропередачи .....	111
<i>Евдасев И. С., Шаповалов В. А.</i> Применение цифровых двойников в электрических сетях для повышения достоверности учета потребления электроэнергии .....	113
<i>Жебанов А. В., Коркина С. В., Потапова А. Д.</i> Технология идентификации колесных пар в производственном цикле ремонта как инструмент для повышения надежности подвижного состава. ....	115
<i>Журавель С. В.</i> Применение комплекса «Магистраль» для регулировки цилиндрической мощности дизелей при проведении реостатных испытаний тепловозов .....	117
<i>Загорцев В. А., Ананьева О. С., Подольская В. Н.</i> Разработка имитационной модели системы тягового электроснабжения .....	119
<i>Загорцев В. А., Терлякович С. А.</i> Способы улучшения качества электрической энергии в системах с тяговой нагрузкой .....	121
<i>Калиева С. Т., Щербицкая Т. В., Иванов В. В.</i> Анализ надежности силовой установки тепловоза 2ТЭ116. ...	123
<i>Каплюк И. И.</i> Решение задачи о взаимодействии токоприемника и контактного провода с учетом механических, тепловых и электромагнитных процессов .....	124

<i>Комиссаров В. В., Таранова Е. С.</i> Экспресс-метод ускоренного выбора смазочных материалов для узлов трения .....	126
<i>Коркина С. В., Жебанов А. В., Краснова И. А.</i> Цифровые технологии в обеспечении безопасности движения железнодорожного транспорта .....	128
<i>Кудина Е. Ф., Приходько И. В., Курицын П. А., Коновалов С. Ю.</i> Оценка соответствия устройств защиты железнодорожного электрооборудования.....	130
<i>Кулаженко Ю. И., Кебилов А. А., Зайчик В. С.</i> Порядок оценки соответствия железнодорожного подвижного состава требованиям технического регламента ТР ТС 001/2011. ....	131
<i>Курилкин Д. Н.</i> Определение фактических тягово-энергетических характеристик автономных локомотивов по данным бортовых микропроцессорных систем управления и диагностики. ....	133
<i>Мамаев Ш. И., Нигматова Д. И., Ибадуллаев А. С., Турсунов Ш. Э.</i> Процесс износа зубьев колеса редуктора магистрального тепловоза типа UZTE16M .....	135
<i>Мамаев Ш. И., Турсунов Ш. Э., Ибадуллаев А. С., Нигматова Д. И.</i> Анализ причин отказов тормозного оборудования локомотивов по управлению эксплуатации локомотивов АО «Узбекистон темир йуллари».....	137
<i>Мамаев Ш. И., Турсунов Ш. Э., Ибадуллаев А. С., Нигматова Д. И.</i> Анализ эксплуатационной надежности тяговых электрических двигателей локомотивов ОА «Узбекистон темир йуллари» .....	138
<i>Мирадуллаева Г. Б., Зиямухамедова У. А., Тургуналиев Э. Т., Нафасов Ж. Х.</i> Теоретические основы реологических свойств покрытий для применения транспортных деталей по железным дорогам .....	140
<i>Моисеенко В. Л., Максимчик К. В., Пупачёв Д. С.</i> Разработка технической документации на стенд для испытаний шуруповерта ШВ-2М. ....	142
<i>Наумов Д. В., Тарасенко Е. А., Полторак М. А.</i> Актуальные аспекты современного состояния управления качеством обслуживания и ремонта подвижного состава железнодорожного транспорта.....	144
<i>Огородников Л. В., Брильков Г. Е.</i> Исследование состояния поршней дизеля K6S310DR. ....	146
<i>Огородников Л. В., Русов Д. П., Еремейчик И. С.</i> Расчет на прочность кузова вагона и рамы тележки дизель-поезда серии ДРБ1 .....	148
<i>Отока А. Г., Холодилов О. В.</i> Сравнение выявляющей способности методов капиллярного и магнитоповерхностного контроля в условиях локомотивного хозяйства Белорусской железной дороги .....	150
<i>Петухов С. А., Карпенко М. Ю., Шахназарян Р. А., Павлов К. А.</i> К вопросу повышения надежности и безопасности эксплуатации дизелей тепловозов .....	153
<i>Пигунов А. В., Пигунов В. В.</i> Анализ напряженно-деформированного состояния рамы универсальной платформы .....	155
<i>Понамаренко Д. И., Коновалова А. Р., Коновалов И. А.</i> Расчет усовершенствованного ротора в SolidWorks .....	156
<i>Попов А. Н., Дмитерко И. Л.</i> Снижение износа стального контртела при трении по покрытию нитрида титана. ....	158
<i>Приходько И. В., Смолякова И. П., Бельченко М. Е., Бельченко В. Е.</i> Электроизоляционный композиционный материал конструкционного назначения.....	160
<i>Саидова Л. С., Калиева С. Т., Панченко В. Н.</i> Повышение надежности работы ДВС тепловоза путем совершенствования систем диагностирования.....	161
<i>Салов В. С., Старикова А. Г.</i> Техническая диагностика токоприемников трамвая в процессе эксплуатации на основе систем компьютерного зрения. ....	162
<i>Сафронова И. А., Козменков О. Н.</i> Автоматизированная система контроля и диагностики технического состояния силовых масляных трансформаторов железнодорожного транспорта.....	164
<i>Сахаров П. А.</i> Исследование влияния характеристик поглощающих аппаратов на продольные силы в поездах при электродинамическом торможении.....	166
<i>Табачков О. В., Бошкарева Т. В.</i> Визуальный контроль коммутационных аппаратов в системе тягового электроснабжения .....	168
<i>Третьяк З. Ю., Перекрестова Н. М., Свириденко К. В.</i> О применении испытаний для подтверждения соответствия продукции требованиям технических регламентов ТР ТС 001/2011, ТР ТС 002/2011, ТР ТС 003/2011.....	170
<i>Туракулов М. Р., Кенжаев С. Н.</i> Совершенствование технологии получения синтетического чугуна .....	172
<i>Турсунов Н. К., Алимухамедов Ш. П., Кучкоров Л. А., Тоиров О. Т.</i> Прочностные характеристики литых деталей тележек подвижного состава.....	173
<i>Турсунов Н. К., Алимухамедов Ш. П., Уразбаев Т. Т., Тоиров О. Т.</i> Исследование прочностных характеристик боковых рам тележек подвижного состава.....	175
<i>Турсунов Н. К., Уразбаев Т. Т., Турсунов Т. М., Рахимов У. Т.</i> Разработка технологии изготовления литых деталей автосцепных устройств подвижного состава железнодорожного транспорта .....	177
<i>Френкель С. Я., Дединкин А. П., Захарова Г. Д.</i> Оценка качества нормирования расхода топлива тепловозом.....	179

<i>Хамидов О. Р., Зайниддинов Н. С.</i> Моделирование асинхронных тяговых электродвигателей локомотивов в программной среде Matlab/Simulink .....	181
<i>Чаганова О. С.</i> Сравнение методик расчета сил сопротивления движению поездов .....	184
<i>Чемоданов Д. А., Лаухин Ф. М.</i> Повышение качества токосъема трамвайного токоприёмника на стыках контактной сети .....	186
<i>Чернин Р. И.</i> Разработка технологической оснастки для расширения применения гидропрессовой технологии при ремонте колёсных пар вагонов с буксовыми узлами кассетного типа .....	188
<i>Шатило С. Н.</i> Оценка пожарной безопасности электропоезда Штадлер модели FLIRT ЭПМ-05-160.....	190
<i>Шимановский А. О., Демьянчук О. В.</i> Моделирование сдвига локомотивом железнодорожного состава, размещенного на станционных путях .....	192
<i>Шокучкоров К. С., Рахимов Р. В., Рузметов Я. О., Джаббаров Ш. Б., Инагамов С. Г.</i> Оценка прочности цельнокатаных колес с коническими дисками и учетом остаточного технологического напряжения .....	194

### **3 ИНФОРМАЦИОННАЯ И ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ СИСТЕМ АВТОМАТИКИ, ТЕЛЕМЕХАНИКИ И СВЯЗИ**

<i>Белькин В. О., Громыко И. Л.</i> Диагностика трансформаторов на железнодорожном транспорте с помощью приборного учета данных и сверхточных нейронных сетей .....	196
<i>Бельский А. Н., Киселева С. В.</i> Перспективы развития первичной сети связи государственной организации «Белорусская железная дорога» .....	198
<i>Бельский А. Н., Шевчук В. Г., Киселева С. В.</i> Развитие систем частотно-временного обеспечения при переходе к технологии пакетных сетей на Белорусской железной дороге .....	200
<i>Бочков К. А., Харлап С. Н.</i> Применение методов функциональной безопасности для решения задач информационной безопасности СЖАТ .....	202
<i>Буштрук Т. Н., Буштрук А. А.</i> Предиктивная аналитика в обеспечении безопасности на транспорте .....	205
<i>Веселов А. В., Шевчук В. Г., Киселева С. В.</i> Особенности применения виртуальной среды проектирования Proteus VSM при разработке устройства автоматического тестирования аккумуляторных батарей .....	207
<i>Волынцевич М. О., Шевчук В. Г.</i> Реализация технологии IP-телефонии в здании управления Белорусской железной дороги .....	209
<i>Гаврилова О. И.</i> Современные условия диктуют новые направления систем безопасности в транспортной отрасли .....	210
<i>Генварева Ю. А.</i> Техническое обслуживание устройств СЦБ как фактор обеспечения безопасности движения железнодорожного транспорта .....	213
<i>Демуськов А. Б.</i> Определение политик сетевого доступа .....	215
<i>Ефанов Д. В., Погодина Т. С.</i> Моделирование работы самодвойственных комбинационных устройств в условиях возникновения одиночных константных неисправностей .....	216
<i>Кокин С. М., Кудряшова Н. В., Сахаров Я. А., Саранский С. Н.</i> О влиянии геомагнитных возмущений на работу систем железнодорожной автоматики .....	218
<i>Комнатный Д. В.</i> Анализ искажений амплитудно-манипулированного сигнала тональных рельсовых цепей.....	220
<i>Комнатный Д. В.</i> Дипольная модель гармонического электромагнитного поля для анализа электромагнитной обстановки на объектах железнодорожного транспорта .....	222
<i>Медведев Д. Д., Хоменко С. И., Жигалин И. О.</i> Особенности измерения первичных параметров путевых фильтров.....	223
<i>Медведев Д. Д., Шевчук В. Ю.</i> Сравнительная характеристика подсистем контроля состояния букс комплекса КТСМ-03 .....	225
<i>Харлап С. Н., Медведев Д. Д., Хоменко С. И., Жигалин И. О., Катков В. Л., Логвиненко И. В.</i> Особенности методов анализа видов и последствий отказов устройств ЖАТ .....	227
<i>Шаманов В. И., Денежкин Д. В.</i> Расчётные электрические схемы рельсовых линий .....	230
<i>Швалов Д. В., Лащенков А. В., Битанова Т. В.</i> Расчет уровней кодовых сигналов в рельсовой линии при движении поезда .....	232
<i>Швалов Д. В., Плечистова Е. Р., Мамонтова А. Д.</i> Динамическая модель фазочувствительной рельсовой цепи в шунтовом режиме .....	234

### **4 ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ТРАНСПОРТА**

<i>Баева Е.С.</i> Снижение себестоимости очистки сточных вод .....	237
<i>Балабин В. Н.</i> Промышленные пароаккумуляторные локомотивы .....	238
<i>Балакин А. Ю., Мишкин А. А.</i> Оценка степени безопасности эксплуатации тепловозов с использованием технологий бортовой генерации водорода.....	239
<i>Барановская П. М.</i> Оценка влияния автомобильного транспорта крупных городов на окружающую среду .....	242



<i>Горелая О. Н.</i> Сравнение методов определения удельной поверхности на примере наноматериалов для очистки нефтесодержащих сточных вод. ....	244
<i>Громыко И. Л.</i> Диагностика качества состояния изоляции трансформатора с помощью фигур Лиссажу .....	246
<i>Дергунов В. А., Краснов А. И., Николаев Д. В.</i> Проект мусороперерабатывающего завода-поезда на базе подвижного состава РЖД для ликвидации мусорных полигонов малых городов. ....	247
<i>Десяткова Т. Д., Холопов Ю. А.</i> Пути декарбонизации транспортной отрасли на основе «зеленой» логистики. ....	249
<i>Домнина О. Л.</i> Проблема обеспечения экологической безопасности при транспортных происшествиях с сбросом опасных грузов с судов на внутренних водных путях. ....	251
<i>Жуковский Е. М., Корончик А. В., Добрынович Я. А.</i> К вопросу утилизации нефтяных шламов .....	253
<i>Зотова Т. А.</i> Экологическая безопасность на железнодорожном транспорте .....	254
<i>Коновалова А. Р., Понамаренко Д. И.</i> Испытание композитных шпал: динамической расчет. ....	256
<i>Кочеткова М. Ю., Архипов Д. Е., Бородин А. Н., Пластинин А. Е.</i> Снижение экологической нагрузки на водном транспорте за счет применения фандоматов. ....	258
<i>Кулешов А. А., Марков В. А., Фурман В. В., Плахов С. В.</i> Исследование влияния запальной дозы дизельного топлива на работу тепловозного газодизеля. ....	260
<i>Ляхов С. В., Гончаров И. П., Ермоленко С. В.</i> Использование возобновляемых источников энергии на примере организаций Минтранса. ....	262
<i>Макеев В. В., Додолев С. Г.</i> Об уменьшении энергозатрат железнодорожных зданий. ....	264
<i>Мирош Д. В., Галушко В. Н.</i> Диагностика неисправностей асинхронных двигателей как способ повышения энергетической безопасности на транспорте. ....	266
<i>Мусаткина Б. В.</i> Снижение негативного воздействия энергетического комплекса ОАО «Российские железные дороги» на окружающую среду. ....	268
<i>Нагула А. А., Нагула А. В.</i> Проблема борьбы с шумом в авиации. ....	270
<i>Овчинников В. М., Макеев В. В.</i> Об энергоэффективности тягового подвижного состава железнодорожного транспорта в Беларуси. ....	273
<i>Отделкин Н. С., Костюничев Д. Н.</i> Обеспечение экологической безопасности портовых открытых складов с сыпучими грузами. ....	276
<i>Пенькова Ю. Е., Тимофеев А. В.</i> Экологичные транспортные инициативы в рамках целей устойчивого развития. ....	278
<i>Петрова Ж. А.</i> Экотранспорт: проблемы и перспективы. ....	280
<i>Поспелов А. В., Комаров М. А., Красковский С. В., Мацукевич И. В.</i> Коррозия нержавеющей сталей под воздействием дезинфицирующих веществ .....	282
<i>Поспелов А. В., Комаров М. А., Красковский С. В., Мацукевич И. В.</i> Коррозия углеродистых сталей под воздействием дезинфицирующих веществ. ....	283
<i>Riskulov A. A., Ibadullaev A. S., Nurmetov Kh. I.</i> Thermoplastics recycling processing technology for mechanical engineering. ....	285
<i>Росляков А. Д., Курманова Л. С., Иванов В. А., Крюкова Н. И., Мунишкина А. А.</i> К вопросу использования безуглеродного топлива для повышения экологической безопасности дизелей тепловозов. ....	288
<i>Сергеева Н. А.</i> Медицинские аспекты профессиональных вредностей на железнодорожном транспорте .....	290
<i>Флягин И. С.</i> Ресурсосберегающее использование шпал на дорогах России. ....	292
<i>Хорошайлова И. Г.</i> Экологическая безопасность при ремонте пути. ....	293
<i>Яриан Р. С., Балабин В. Н.</i> Энергетическое воздействие степени гидратации этанола и коэффициента избыточного воздуха при использовании смесей «этанол – бензин» в двигателях с искровым зажиганием. ....	295

## **5 БЕЗОПАСНОСТЬ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ**

<i>Авсиевич Н. А., Авсиевич А. В.</i> Интернет вещей и железнодорожный путь. Перспективы развития .....	297
<i>Атапин В. В.</i> Предложения по контролю за состоянием бесстыкового пути .....	298
<i>Атапин В. В., Нечушкин А. С.</i> Обеспечение безопасности движения поездов с применением ретроспективного анализа состояния геометрии рельсовой колеи .....	300
<i>Ахраменко Г. В.</i> К вопросу выбора оптимальной схемы остановок при введении поездов экономкласса на линиях межрегионального сообщения в Республике Беларусь .....	302
<i>Ахраменко Г. В., Быстренкова Т. И., Шлеменкова М. И.</i> Анализ способов укрепления слабых грунтов насыпей автомобильных дорог на торфяных основаниях .....	304
<i>Бандюк Н. В.</i> Анализ транспортно-эксплуатационного состояния автомобильных дорог и пути его улучшения .....	306
<i>Бочкарев Д. И., Кацубо П. А., Петрусевич В. В.</i> Исследование коэффициента сцепления дорожного покрытия из термопласткомпозиита .....	308

<i>Бочкарев Д. И., Петрусевич В. В.</i> Экономическая эффективность профилактической обработки асфальто-бетонных покрытий автомобильных дорог.....	310
<i>Бреус Р. А., Змеев А. Т.</i> Применение логистического подхода к управлению безопасностью дорожного движения на сети автомобильных дорог.....	313
<i>Джумагалиева А. А., Галлямов Д. И.</i> Полимерные шпалы на железных дорогах мира.....	315
<i>Джумагалиева А. А., Матюшкова Л. И.</i> Важнейшие аспекты проектирования высокоскоростных железнодорожных магистралей.....	317
<i>Довгелюк Н. В., Шагулин В. С., Еронин А. М.</i> Повышение провозной способности участка ст. Лахва – ст. Ситница Белорусской железной дороги.....	319
<i>Доможирова А. Д., Гончарова Н. Ю., Упырь Р. Ю.</i> К вопросу безопасности движения поездов на горно-перевальном участке.....	320
<i>Дорофеев Я. В.</i> Совершенствование технологии укладки рельсошпальной решетки в кривых участках пути малого радиуса.....	322
<i>Дорофеев Я. В., Печорин А. С.</i> Маркировка железнодорожных рельсов.....	323
<i>Дубровская Т. А., Бакуш А. В., Романовский Д. И.</i> Особенности эксплуатации пути на направлении Зельва – Волковыск.....	325
<i>Дубровская Т. А., Кравченя И. Н., Гурин Д. С.</i> Оптимизация проектных решений по переустройству плана линии.....	326
<i>Дубровская Т. А., Кузьмичёв А. А.</i> Сравнительный анализ инженерных САПР для обеспечения безопасности при проектировании железных дорог.....	328
<i>Дубровская Т. А., Стрижак А. И., Пилипёнок А. Д., Никитин Е. В.</i> Особенности повышения скоростей движения поездов на Белорусской железной дороге.....	329
<i>Ефанов Д. В.</i> Информационные платформы комплексной интеллектуальной аналитики данных для управления безопасностью перевозочного процесса и прогнозирования природно-техногенных аварий и катастроф.....	331
<i>Жуковский Е. М.</i> Повышение надежности и долговечности автомобильных дорог с нежесткими дорожными одеждами.....	333
<i>Зелень С. С., Капитонец А. Б., Романенко В. В.</i> Современная диагностика рельсового хозяйства и ремонтные технологии устранения дефектов.....	335
<i>Зелень С. С., Краснов М. А., Романенко В. В.</i> Применение ступенчатого контроля рельсов средствами НКР для выявления дефектов.....	337
<i>Капитонец А. Б., Соломонов В. А., Краснов М. А., Романенко В. В.</i> Оценка влияния различных факторов на возможность приведения кривых в проектное положение.....	339
<i>Карасевич С. Н., Черняк Т. О.</i> Сравнение показателей аварийности на железнодорожных переездах и путепроводах.....	341
<i>Кацубо П. А., Шутов Я. В., Царенков А. А.</i> Реконструкция мостов на автомобильных дорогах – основа повышения безопасности транспортной инфраструктуры.....	343
<i>Корик С. В., Матвеев В. И., Ковтун П. В., Кравченко Н. Н., Сакаловский К. Д.</i> Совершенствование системы ведения путевого хозяйства на Белорусской железной дороге.....	345
<i>Коновалов И. А., Понамаренко Д. И.</i> Платформа на магнитной подушке.....	346
<i>Корниенко К. И., Ольгейзер И. А., Соколов В. Н.</i> О безопасности при роспуске опасных грузов в автоматизированном режиме.....	348
<i>Краснов М. А., Соломонов В. А., Зелень С. С., Романенко В. В.</i> Оптимальное управление как способ повышения эффективности работы путевого хозяйства.....	351
<i>Куценкова Л. С.</i> Влияние легирующих добавок на свойства рельсовой стали.....	353
<i>Лапушкин А. С.</i> Применение автоматизированной программы «ГЕО5 2022 – устойчивость откоса» для расчета железнодорожных насыпей.....	355
<i>Лапушкин А. С., Комиссаров В. В.</i> Влияние геометрических размеров на надежность работы пружинных прутковых клемм в составе узла рельсового скрепления.....	358
<i>Люев А. С., Мануйлов М. Н.</i> Основные направления работы служб обеспечения полетов с целью предотвращения авиационных происшествий.....	360
<i>Мазько Н. Н., Нечаева Я. А.</i> К вопросу обеспечения безопасности нахождения подвижного состава на станционных путях.....	361
<i>Макарук С. А., Лапушкин А. С.</i> Предпосылки модернизации звеносборочной линии КБ03 для сборки рельсошпальной решетки с промежуточным рельсовым скреплением типа PANDROL и VOSSLON.....	363
<i>Максюткин П. А., Куценкова Л. С.</i> Дефекты железобетонных шпал.....	365
<i>Малащенко К. С., Стельмах Н. М., Довгелюк Н. В.</i> Особенности водопонижения на станциях третьей линии Минского метрополитена.....	367
<i>Маринских Д. М., Чудинов С. А.</i> Проблемы обустройства пересечений автомобильных дорог с железнодорожными путями.....	368

<i>Мартиновский В. А., Моисеенко В. Л., Максимчик К. В., Лодня В. А.</i> Анализ тенденций развития конструкций бульдозерного оборудования .....	370
<i>Масловская Е. М., Серко О. И., Поплавская Н. А.</i> Методика определения срока строительства путепровода с использованием теории массового обслуживания .....	372
<i>Мажаско Я. А.</i> Ремонт железнодорожного моста с целью обеспечения безопасности движения поездов .....	374
<i>Мокрушин Н. Ю., Чудинов С. А.</i> Проекционные пешеходные переходы .....	375
<i>Москвичев О. В., Хишова А. А.</i> Повышение безопасности объектов транспортной инфраструктуры на примере железнодорожного вокзала станции Саратов-1-Пассажирский .....	377
<i>Науменко М. Л., Халуца И. И., Инютин В. И., Кожедуб С. С.</i> Повышение эффективности укладки сверхдлинных плетей .....	379
<i>Науменко М. Л., Халуца И. И., Инютин В. И., Кожедуб С. С.</i> Температурная работа уравнильного пролёта бесстыкового пути .....	381
<i>Никитин Е. В., Ковтун П. В.</i> Мероприятия по повышению скоростей движения поездов на отдельных участках Белорусской железной дороги .....	383
<i>Осипова О. В., Гутвин М. В., Бруцкий В. А., Суценок А. А.</i> Особенности переустройства путей необщего пользования .....	384
<i>Осипова О. В., Сакаловский К. Д., Никитин Е. В., Кравченко Н. Н.</i> Особенности содержания бесстыкового пути на Белорусской железной дороге .....	385
<i>Остриков О. М., Остриков В. О., Острикова М. Я.</i> Учет требований безопасности при проектировании инфраструктуры для железнодорожного кемпинга .....	387
<i>Петрусевич В. В., Демидович И. С., Шпилев А. С.</i> Анализ косвенных экономических затрат при строительстве и ремонте автомобильной дороги .....	389
<i>Порин В. О., Чудинов С. А.</i> Малозатратные мероприятия по повышению безопасности дорожного движения .....	390
<i>Пишениснов Н. В.</i> Водопропускные трубы на железнодорожном пути как инструмент повышения безопасности участников движения .....	392
<i>Радкевич К. И., Никитянин Д. С.</i> Восстановление пропускной способности объектов железнодорожной инфраструктуры .....	394
<i>Рахчеев В. Г., Максимов И. С., Галанский С. А., Васильева О. М., Тарасов А. В.</i> Перспектива повышения производительности шлифования рельсов железнодорожного пути .....	395
<i>Романенко В. В.</i> Влияние геометрического положения рельсовой колеи в кривой на определение ее состояния .....	398
<i>Романенко В. В., Дубровская Т. А., Соломонов В. А.</i> Оценка фактических параметров устройства кривых участков пути вагоном-путеизмерителем .....	400
<i>Румянцева А. С., Архаров Е. В., Пишениснов Н. В.</i> Особенности проектирования насыпи земляного полотна железной дороги над водопропускной трубой .....	402
<i>Стоянова О. Ф., Новикова И. В., Желтова К. А.</i> Безопасность транспортной инфраструктуры .....	404
<i>Суценок А. А.</i> Обоснование выбора технологии переустройства путевого развития ОАО «Борисовский шпалопропиточный завод» .....	405
<i>Тиханюк А. В., Довгелюк Н. В., Бараболкин П. Н.</i> Возможность электрификации участка Барановичи – Лунинец – Ситница – Калинковичи Белорусской железной дороги .....	407
<i>Холявко В. И., Инютин В. И., Кожедуб С. С., Анищенко А. В.</i> Мероприятия по охране труда в Гомельском отделении дороги .....	409
<i>Царенкова И. М., Бурдук Е. Л.</i> Инструменты исследования социально-экономического влияния дорожного хозяйства на экономику страны .....	410
<i>Царенкова И. М., Томчук И. А., Гелажин В. О.</i> Оценка целесообразности применения аналоговых методов определения стоимости в строительстве объектов транспортной инфраструктуры .....	412
<i>Царенкова И. М., Шутов Я. В.</i> Особенности применения автодорожных мостов из инвентарных конструкций .....	414
<i>Ценя А. А., Капитонец А. Б., Соломонов В. А., Романенко В. В.</i> Влияние ситуации на выбор проектного решения по переустройству кривой .....	416
<i>Цыбулько В. В.</i> Об отдельных направлениях защиты железнодорожной инфраструктуры и подвижного состава в военное время .....	418
<i>Чекин А. А.</i> Технология контроля состояния стрелочных переводов диагностическими роботами .....	420
<i>Чудинов С. А., Ладейщиков К. В.</i> Дистанционный контроль температурно-влажностного режима земляного полотна лесовозных дорог в зонах многолетнемерзлых грунтов .....	422
<i>Чудинов С. А., Ладейщиков Н. В.</i> Применение лигносульфонатов для повышения качества лесовозных автомобильных дорог .....	424

Научно-практическое издание

**ПРОБЛЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ НА ТРАНСПОРТЕ**

Материалы XII Международной научно-практической конференции,  
посвященной 160-летию Белорусской железной дороги  
(Гомель, 24–25 ноября 2022 г.)

Часть 1

Издается в авторской редакции

Технический редактор *В. Н. Кучерова*  
Корректоры: *Т. М. Маруняк, А. А. Павлюченкова,*  
Компьютерная верстка – *Е. И. Кудрявская, С. В. Ужанкова*

Подписано в печать 14.11.2022 г. Формат 60x84 1/8.  
Бумага офсетная. Гарнитура Times New Roman. Печать на ризографе.  
Усл. печ. л. 50,69. Уч.-изд. л. 48,73. Тираж 80 экз.  
Зак. №. 2510. 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 978-985-891-070-9

