

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

# ПРОБЛЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ НА ТРАНСПОРТЕ

МАТЕРИАЛЫ  
X МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ  
(Гомель, 26–27 ноября 2020 г.)

Часть 5

Под общей редакцией *Ю. И. КУЛАЖЕНКО*

Гомель 2020

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),  
**Д. И. Бочкарев, К. А. Бочков, Т. А. Власюк, И. А. Еловой, Д. В. Леоненко,**  
**В. Я. Негрей, В. М. Овчинников, А. А. Поддубный, А. В. Пулято, А. Г. Ташкинов**

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 X Междунар.  
П78 науч.-практ. конф. (Гомель, 26–27 ноября, 2020 г.) : в 5 ч. Ч. 5 / М-во  
трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Бел. ж. д., Белорус. гос. ун-т  
трансп. ; под общ. ред. Ю. И. Кулаженко. – Гомель : БелГУТ, 2020. – 229 с.  
ISBN 978-985-554-946-9 (ч. 5)

Рассматриваются безопасность и надежность подвижного состава и систем электроснабжения; 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 978-985-554-946-9 (ч. 5)  
ISBN 978-985-554-941-4

© Оформление. БелГУТ, 2020

## **УВАЖАЕМЫЕ УЧАСТНИКИ КОНФЕРЕНЦИИ!**

*От имени организационного комитета приветствую вас на юбилейной X Международной научно-практической конференции «Проблемы безопасности на транспорте».*

*Обеспечение безопасности является необходимым условием эффективного функционирования транспортного комплекса. Для решения задач по данной проблематике необходимо сотрудничество ученых и специалистов в различных областях деятельности. Программа конференции направлена на обсуждение широкого круга вопросов по безопасности транспортных систем, пассажирских перевозок, надежности подвижного состава, систем автоматики, телемеханики и связи, транспортной инфраструктуры, строительного комплекса, экологической, энергетической и экономической безопасности, транспортной безопасности при угрозе и возникновении чрезвычайных ситуаций, фундаментальным научным исследованиям в области безопасности транспортных систем, что позволит найти комплексные, эффективные решения сложнейших задач в области безопасности на транспорте.*

*Несмотря на сложную эпидемиологическую ситуацию в мире в этом году отмечается рекордный интерес к конференции – в очной и дистанционной формах в работе конференции принимает участие около 500 докладчиков. Запланирована работа 10 секций.*

*Данное мероприятие является хорошей возможностью ознакомить участников с научными достижениями ученых и специалистов, передовыми производственными технологиями, а также установить новые научно-производственные связи с учеными и специалистами из разных стран. Мы рады приветствовать на нашей конференции ученых из Беларуси, Азербайджана, Болгарии, Германии, Казахстана, Китая, Литвы, России, Словакии, Узбекистана, Украины, Эстонии.*

*По уже сложившейся за многие годы традиции конференция «Проблемы безопасности на транспорте» проводится при поддержке Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь и Белорусской железной дороги. По нашему мнению, такое сотрудничество, активный диалог между учеными и практиками по проблемам безопасности позволит сформулировать новые подходы и найти эффективные решения актуальных задач обеспечения безопасности в транспортном комплексе.*

*Благодарю вас за участие в работе конференции, 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**

## **УВАЖАЕМЫЕ УЧАСТНИКИ КОНФЕРЕНЦИИ!**

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

*Обеспечение безопасности движения было и остается одним из приоритетных направлений деятельности Белорусской железной дороги. Безопасность движения всегда являлась главным индикатором качества перевозочного процесса. За прошедшие годы в этом направлении проделана огромная работа, а многие полученные в ходе обсуждений на предыдущих конференциях результаты уже реализованы на практике.*

*Однако время не стоит на месте. Белорусская железная дорога активно внедряет инновации в свою деятельность: продолжается электрификация железнодорожных участков, вводится в эксплуатацию инновационный подвижной состав, повышаются скорости движения пассажирских и грузовых поездов, на станциях, в дистанциях и депо внедряются новые технологии и технические средства, расширяется использование информационно-коммуникационных и интеллектуальных систем. В связи с этим вопросы обеспечения безопасности транспортных процессов выходят на новый уровень, требуют новых организационных, технических и технологических решений, изменения качественного подхода к теоретической и практической подготовке сотрудников.*

*Международная научно-практическая конференция «Проблемы безопасности на транспорте» является хорошей возможностью для участников поделиться информацией о научных достижениях в области обеспечения безопасности движения и опытом внедрения современной техники и технологий на производственных объектах. Высокую научную значимость конференции подтверждает интерес сотен ученых из десятков вузов, предприятий и организаций Беларуси, Азербайджана, Болгарии, Германии, Казахстана, Китая, Литвы, России, Украины, Узбекистана.*

*Желаю всем участникам конференции плодотворной работы и успехов в решении задач обеспечения безопасности движения в транспортных системах.*

**В. М. МОРОЗОВ,**

*Начальник Белорусской железной дороги*

# БЕЗОПАСНОСТЬ И НАДЕЖНОСТЬ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА И СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

---

## НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ КОЛЕСНЫХ ПАР ЭЛЕКТРОВЗОВ СЕРИИ БКГ

*О. С. АНАНЬЕВА, С. В. ГЛАЗОВСКИЙ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

На железной дороге в настоящее время неразрушающему контролю (НК) придается особое значение. Эффективность систем неразрушающего контроля может быть повышена при условии внедрения автоматизированных дефектоскопических комплексов и современных информационных технологий передачи и анализа данных неразрушающего контроля, повышения уровня квалификации персонала, кардинального улучшения организации неразрушающего контроля на предприятиях и совершенствования системы управления неразрушающего контроля на железнодорожном транспорте.

Неразрушающий контроль и, в частности, дефектоскопия как его разновидность должны обеспечивать качество, надежность и безопасность эксплуатации огромного числа самых разных технических объектов, в частности объектов железнодорожного транспорта. Колеса локомотива могут быть цельнокатаными (безбандажными) и составными (бандажными).

Колесная пара в эксплуатации обеспечивает безопасность движения и является наиболее нагруженной и ответственной частью локомотива, поэтому она должна обладать высокой прочностью и износостойкостью, достаточной упругостью и надежностью.

К основным неисправностям колесных пар в эксплуатации относятся: износ бандажа (прокат), выбоины, ползуны, подрез гребня, ослабление бандажа, колесного центра, зубчатого колеса; трещины, вмятины, отколы зубьев зубчатого колеса; трещины, риски, забоины, вмятины на шейках оси.

Для определения неисправностей используются следующие методы НК: магнитопорошковый, вихретоковый, феррозондовый, акустический.

Магнитопорошковый метод НК основан на притяжении магнитных частиц силами неоднородного магнитного поля, образующегося над дефектами в намагниченных объектах, с образованием в зонах дефектов индикаторных рисунков в виде скоплений магнитных частиц. Магнитопорошковый метод позволяет обнаруживать поверхностные и подповерхностные дефекты типа нарушений сплошности материала: трещины различного происхождения, флокены, закаты, надрывы, волосовины, расслоения, дефекты сварных и других соединений.

Работа вихретоковых дефектоскопов основана на возбуждении в контролируемой детали вихревых токов. Эти токи создаются с помощью вихретоковых преобразователей (ВП). Дефекты обнаруживаются в той части детали, по которой протекают вихревые токи. Глубина проникновения вихревых токов в деталь меняется в пределах от долей миллиметра до нескольких миллиметров. Она зависит от частоты возбуждающего тока, электропроводности и магнитной проницаемости материала детали.

Феррозондовый метод НК позволяет обнаруживать дефекты в предварительно намагниченной детали. Дефекты обнаруживаются за счет выявления пространственных искажений магнитного поля над дефектом. Искаженное поле над дефектом именуется полем рассеяния дефекта, или полем дефекта. Обнаруживаются поверхностные и подповерхностные (лежащие в толще материала) дефекты типа нарушений сплошности: волосовины, трещины, раковины, закаты, ужимы и т. п. Метод применяют для обнаружения дефектов сварных швов: непроваров, трещин, неметаллических включений, пор и т. п. В зависимости от размеров выявляемых поверхностных и подповерхностных дефектов, а также глубины их залегания устанавливают одиннадцать условных уровней чувствительности метода.

Для того чтобы определить, необходим ли дополнительный контроль определенных деталей колесной пары, следует произвести расчет на прочность. В результате этого расчета можно будет сделать вывод о необходимости применения дополнительных видов неразрушающего контроля.

Колесная пара является ответственной частью локомотива. Во многом безопасность движения поездов зависит от конструкции, материала, технологии изготовления и ремонта колесных пар. Важное значение для повышения прочности и надежности осей имеют достаточно точные сведения

о нагрузках, действующих на ось, а также методы расчета, позволяющие дать наиболее достоверную оценку напряженного состояния оси в условиях эксплуатации.

Объектами исследования являются ось и цельнокатаное колесо локомотива серии БКГ. На нагруженность и соответственно на сопротивление усталости оси основное влияние оказывают силы, вызывающие изгиб оси в вертикальной плоскости. В данном случае определяются максимальные действующие напряжения в наиболее опасных сечениях оси.

Расчет прочности оси колесной пары выполнялся в соответствии с ГОСТ 31373–2008 и ГОСТ 32.93–97.

Поведенный анализ показал, что максимальная вертикальная сила возникает при движении локомотива в кривой радиусом 610 м при скорости 20 км/ч и составляет 186,2 кН. Максимальная боковая (горизонтальная) сила равна 92,5 кН и возникает при движении локомотива в кривой радиусом 610 м при скорости 60 км/ч. При движении по стрелочным переводам максимальные величины являются следующими: вертикальная сила – 189,1 кН, горизонтальная сила – 89,1 кН. Указанные максимальные значения сил являются характерными для данного подвижного состава, а их значения используются в дальнейших расчетах.

Оси, изготовленные из осевой стали по ГОСТ 4728 и упрочненные накаткой роликами в соответствии с ГОСТ 3281, должны иметь пределы выносливости в расчетных сечениях не менее регламентированных значений. Минимальный расчетный коэффициент запаса усталостной прочности колеса при принятом пределе выносливости 140 МПа равен 2,144, что выше минимального установленного значения коэффициента запаса сопротивления усталости колеса 1,7.

При принятом пределе выносливости материала колеса для железнодорожного подвижного состава минимальный коэффициент запаса усталостной прочности равен 2,144, что выше минимального установленного значения коэффициента запаса сопротивления усталости колеса 1,7. Это в целом удовлетворяет требованиям ГОСТ 4835–2013 и ГОСТ 31373–2008.

По данным, полученным в результате анализа на напряженно-деформированное состояние колеса, были обнаружены места, которые наиболее подвержены дефектам. Эти места располагаются на центральной части колеса, возле оси. Поэтому предлагается кроме использования магнитопорошкового метода при дефектоскопии колесного центра использовать метод акустической эмиссии. Данный метод хорош тем, что позволяет выявлять опасные дефекты на стадии их развития. Это дает возможность не только своевременно обнаружить деформацию, но и в дальнейшем отслеживать состояние проверяемого объекта, планировать срочные меры по устранению проблемы, если она достигнет своего предельного состояния.

Акустическая эмиссия – это пассивный метод неразрушающего контроля. Главная цель ее использования – это выявление трещин, разломов, расслоений, коррозионных процессов. При этом она помогает находить не статические, а развивающиеся дефекты. Именно они являются наиболее опасными, так как грозят серьезными неприятностями в самом ближайшем будущем. В отличие от других методов НК, контроль акустической эмиссией не требует применения каких-либо внешних источников сигнала. Он предполагает улавливание упругих колебаний, генерируемых самим проверяемым объектом, благодаря чему обеспечивается высокая точность обнаружения деформаций. Приборы для акустико-эмиссионного контроля включают в себя два преобразователя и комплект устройств для получения информации с датчиков, ее обработки и вывода на периферийное оборудование, каждый из которых регистрирует время улавливания сигнала.

Преимущество данного метода состоит в отсутствии необходимости в специальной подготовке объекта к проверке. Оборудование может устанавливаться на поверхностях с любой степенью загрязненности, причем дает при этом неизменно точные результаты.

Применение полученных результатов позволит внедрить новые технологически и экономически выгодные методы неразрушающего контроля колесных пар локомотивов серии БКГ, например метод акустической эмиссии, что позволит, в том числе, экономить энергоресурсы предприятия.

#### Список литературы

- 1 ГОСТ 4835–2013. Колесные пары железнодорожных вагонов. Технические условия (с Поправкой). – 32 с.
- 2 ГОСТ 31373–2008. Колёсные пары локомотивов и моторвагонного подвижного состава. Расчёты и испытания на прочность. – 12 с.
- 3 ГОСТ 32.93–97. Тяговый подвижной состав. Оси колесных пар. Методика расчета на прочность. – 80 с.
- 4 ГОСТ 33783–2016. Колесные пары железнодорожного подвижного состава. Методы определения показателей прочности. – 62 с.

5 Цвик, Л. Б. Компьютерные технологии и моделирование полей напряжений и деформаций : учеб. пособие / Л. Б. Цвик. – Иркутск : Изд-во ИрГТУ, 2005. – 132 с.

6 Инструкция по неразрушающему магнитопорошковому контролю деталей локомотивов и моторвагонного подвижного состава Белорусской железной дороги. – Минск : Белорусская железная дорога, 2004. – 98 с.

7 Герасимов, В. Г. Неразрушающий контроль : практ. пособие. В 5 кн. Кн. 3. Электромагнитный контроль / В. Г. Герасимов, А. Д. Покровский, В. В. Сухоруков ; под ред. В. В. Сухорукова. – М. : Высш. шк., 1992. – 312 с.

УДК 621.311:625.42

## **ТЯГОВАЯ ПОДСТАНЦИЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА С НАКОПИТЕЛЯМИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ**

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

Накопители электрической энергии (НЭЭ) на сегодняшний день являются быстро развивающимся классом высокотехнологических устройств, область применения которых расширяется с каждым годом, и тем самым открываются новые возможности их использования в электроэнергетическом комплексе. Системы накопления электроэнергии (СНЭ) представляют собой принципиально новые элементы в системах передачи и распределения электроэнергии, основная задача которых заключается в компенсации пиков мощности, снижении потерь электроэнергии, регулировании частоты и напряжения электрической сети в режиме реального времени, обеспечении требуемого качества электроэнергии и режимов бесперебойного питания в случае возникновения внештатных ситуаций.

В области систем тягового электроснабжения (СТЭ) применение СНЭ является одним из весьма перспективных направлений, так как режимы работы СТЭ характеризуются крайне неравномерной нагрузкой, определяемой случайным количеством и типом электроподвижного состава, работающего на электрифицированных участках железных дорог.

Режимы работы электроподвижного состава (тяги или электрического рекуперативного торможения) непосредственно влияют на СТЭ: уровень напряжения в контактной сети при большой нагрузке плеч питания тяговых подстанций может значительно отличаться от номинального и влиять на скорость движения ЭПС 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. Как известно, 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 ЭПС 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, при определенной комбинации режимов тяги и рекуперации на плечах питания тяговой подстанции может выходить за предельно допустимые значения, что отрицательно сказывается на остальных потребителях и др.

Применение НЭЭ в рассматриваемых системах направлено на повышение надежности их работы и улучшение энергетических показателей. При этом в зависимости от конкретного случая возможны следующие варианты применения НЭЭ: непосредственно на самом электроподвижном составе, на тяговых подстанциях (ТП), на выводах питающих линий, на постах секционирования, на промежуточных станциях, а также на перегонах между ТП. Применение СНЭ стационарного исполнения позволяет сгладить пиковые значения потребляемой мощности, стабилизировать напряжение на шинах подстанции, а также снизить расход электрической энергии. Следует отметить, что СНЭ стационарного исполнения, установленные, например, на перегонах и промежуточных станциях, могут выполнять функции ТП – питание тяговых нагрузок и потребление энергии рекуперации, при отсутствии на фидерной зоне электроподвижного состава, работающего в режиме тяги.

В рамках проводимой научно-исследовательской работы на кафедре «Локомотивы» учреждения образования «Белорусский государственный университет транспорта» было разработано устройство ТП постоянного тока с НЭЭ. Главная задача предлагаемого устройства заключается в устранении неравномерности потребления электроэнергии по времени и уменьшении ее потерь, а также повышении надежности работы СТЭ в целом. Основные элементы ТП постоянного тока с НЭЭ представлены на рисунке 1, где 1 – преобразовательный трансформатор, 2 – выпрямительно-

инверторный агрегат, 3 – контактный рельс, 4 – обратная рельсовая цепь, 5 – главный контактор, 6 – зарядный контактор, 7 – вспомогательный контактор, 8 – шунтирующий контактор, 9 – ограничитель зарядного тока, 10 – датчик контроля, 11 – система управления, 12 – первый блок накопителя энергии, 13 – второй блок накопителя энергии.

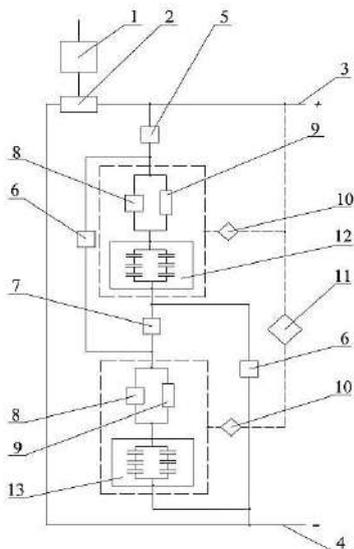


Рисунок 1 – ТП постоянного тока с НЭЭ

Работа предложенной ТП с НЭЭ заключается в следующем: при первоначальной подаче напряжения зарядный ток через преобразовательный трансформатор 1 и выпрямительно-инверторный агрегат 2 поступает на первый блок 12 и второй блок 13 накопителя энергии через ограничители зарядного тока 9, при этом первый блок 12 и второй блок 13 накопителя энергии включаются на напряжение контактной сети (зарядается отдельно), для этого замыкаются главный контактор 5 и зарядные контакторы 6. При достижении на первом блоке 12 и втором блоке 13 накопителя энергии напряжения  $U_{61} = U_{62} = 0,8 \cdot 0,6U_n = 0,48U_n$  система управления 11 замыкает шунтирующие контакторы 8 первого блока 12 и второго блока 13 накопителя энергии, и дозаряд первого блока 12 и второго блока 13 накопителя энергии осуществляется через них. При достижении на первом блоке 12 и втором блоке 13 накопителя энергии напряжения  $U_{61} = U_{62} = 0,6U_n$  система управления 11 размыкает главный контактор 5 и зарядные контакторы 6, а затем замыкает вспомогательный контактор 7, при этом первый блок 12 и второй блок 13 накопителя энергии соединяются последовательно. В результате суммарное напряжение установки составит  $U_c = 1,2U_n$ . Уровень напряжения на накопителе энергии контролируется при помощи датчиков 10, установленных на первом блоке 12 и втором блоке 13 накопителя энергии.

После заряда первого блока 12 и второго блока 13 накопителя энергии и соединения их последовательно установка подготовлена к работе и находится в режиме ожидания. Система управления 11 определяет наличие ЭПС, работающего в режиме тяги, вблизи тяговой подстанции и при помощи главного контактора 5 подключает первый блок 12 и второй блок 13 накопителя энергии к тяговой сети параллельно контактному рельсу 3 и обратной рельсовой цепи 4. Когда в процессе разряда суммарное напряжение на выходе накопителя энергии окажется меньше, чем напряжение в контактной сети, установка будет переведена в режим дозаряда. При этом вспомогательный контактор 7 размыкается, накопитель энергии окажется подключенным параллельно (на полное напряжение тяговой сети) и процесс заряда будет осуществляться по алгоритму, описанному выше.

Принципиальным отличием предлагаемой ТП постоянного тока с НЭЭ является возможность поддержания высокого уровня напряжения в контактной сети при больших тяговых нагрузках за счет последовательного соединения первого и второго блоков с результирующим напряжением  $U_c = 1,2U_n$ , что позволит повысить пропускную способность системы тягового электроснабжения, снизить расход электрической энергии, стабилизировать графики нагрузки в тяговой сети, повысить надежность электроснабжения и увеличить срок службы оборудования тяговых подстанций и системы тягового электроснабжения, при этом заряд накопителя энергии от тяговой подстанции будет осуществляться в моменты «простаивания» или низких нагрузок на тяговую сеть, а также при рекуперации на ЭПС.

УДК 629.4.023.14

## УСИЛЕНИЕ ВЕРХНЕЙ ОБВЯЗКИ ПОЛУВАГОНА ДЛЯ ПЕРЕВОЗКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЩЕПЫ

П. М. АФАНАСЬКОВ, Е. Н. КОНОВАЛОВ, В. В. БЕЛОГУБ  
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

О. NIKOLAEV  
AS Valga Depoo, Valga, Estonia

Сотрудниками отраслевой научно-исследовательской лаборатории «Технические и технологические оценки ресурса единиц подвижного состава» (далее – ОНИЛ «ТТОРЕПС») было проведено

обследование партии вагонов модели 23-4000-1 и модели 23-4000-2, предназначенных для перевозки технологической щепы, принадлежащих OÜ Teslar Trans (Эстония). Все вагоны из представленной партии исчерпали свой нормативный срок службы, установленный заводом-изготовителем (32 года), и были обследованы с целью установления нового срока службы, не превышающего полуторный от назначенного заводом-изготовителем.

Обследование технического состояния показало, что коррозионный износ основных несущих элементов рам и кузовов вагонов не превышает допустимых значений. Так, коррозионный износ от проектных значений элементов рам не превышает 7 %, а кузовов не превышает 8 %. Незначительные коррозионные повреждения обусловлены тем, что вагоны данной модели практически не сталкиваются с агрессивной коррозионной средой и подвергаются преимущественно атмосферной коррозии. По результатам анализа неисправностей вагонов выявлена закономерность появления трещин по сварному соединению верхней обвязки в районе сочленения торцевой и боковой стен. Данный тип неисправности присущ вагонам модели 23-4000-01, это можно объяснить тем, что вагоны модели 23-4000-01 имеют конструктивное отличие от вагонов модели 23-4000-02 в построении консольных частей боковых стен вагона [1]. На рисунке 1, *а* представлен общий вид полувагона, предназначенный для перевозки технологической щепы модели 23-4000-01, на рисунке 1, *б* – модели 23-4000-02.



Рисунок 1 – Конструктивное отличие вагонов модели 23-4000-01 и модели 23-4000-02

Сотрудниками ОНИЛ «ТТОРЕПС» было принято решение назначить дополнительную работу в рамках проведения текущего ремонта в виде усиления конструкции узла сочленения верхней обвязки боковых и торцевых стен с четырех сторон вагона, так как данная неисправность носит системный характер. Совместно со специалистами AS Valga Depoo был разработан комплект проектной документации на усиление данного узла АЛВЯ 23.4000.02.000, представленный на рисунке 2. Усиление производится путем постановки ремонтных стальных накладок с геометрическими характеристиками 180×80×6 мм и выполненных из Ст3сп4 [2].

Для оценки прочности конструкции кузова вагона модели 23-4000-01 по допускаемым напряжениям нормативной документацией [3] установлено два (I и III) расчетных режима нагружения. Наиболее показательным в данном случае является I расчетный режим, учитывающий ударные нагрузки, возникающие при маневровых работах и роспуске вагона с сортировочной горки. Расчеты на прочность выполнены с учетом реального физического состояния вагона № 59455998, отобранного из общей партии вагонов в результате технического обследования как вагон, находящийся в

наихудшем техническом состоянии. Для расчета на прочность несущей металлоконструкции кузова вагона и анализа эффективности рассматриваемого усиления разработана конечно-элементная модель вагона.

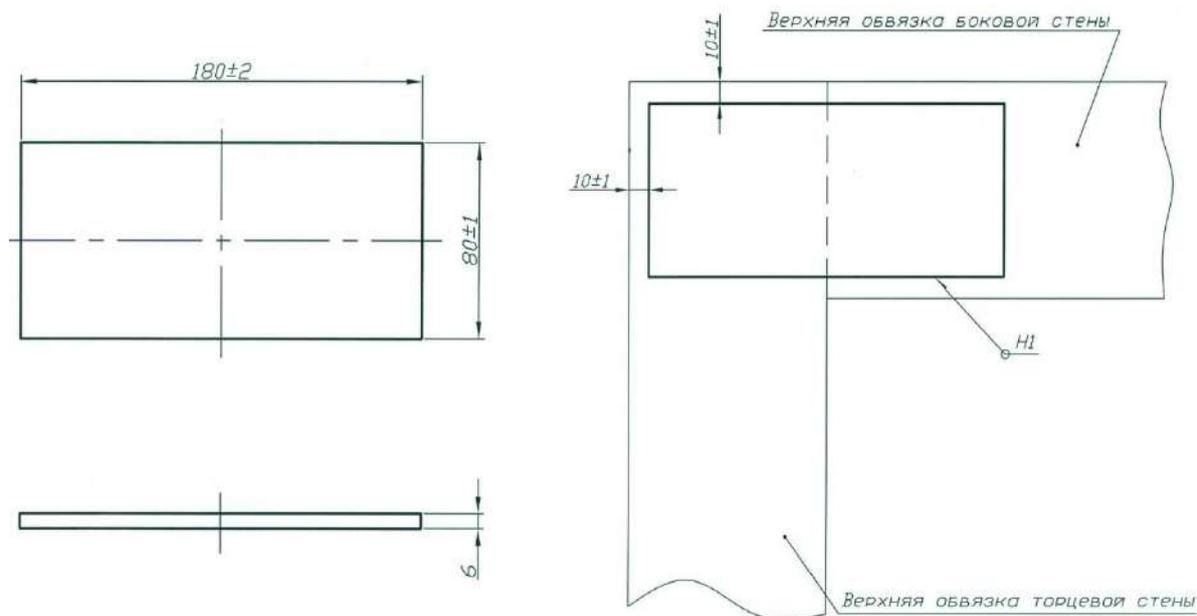


Рисунок 2 – Проект усиления конструкции вагона модели 23-4000-01

Результаты расчета базовой конструкции вагона модели 23-4000-01 показали, что максимальные напряжения, в элементах рассматриваемого узла, возникают в верхней обвязке торцевой стены и не превышают 278,59 МПа, при допуске 327,75 МПа. В элементах верхней обвязки боковой стены напряжения достигают уровня 68 % от допускаемых. Анализируя уровень и поля распределения напряжений, видим, что конструкция вагона удовлетворяет требованиям [3], а трещины и разрывы верхней обвязки в районе сочленения торцевой и боковой стен, вероятнее всего, являются следствием нарушения процедуры погрузочно-разгрузочных работ. После внесения изменений в конечно-элементную модель для оценки эффективности предложенного варианта усиления был произведен повторный расчет.

Конструкционное решение по усилению верхней обвязки позволило перераспределить и снизить уровень напряжений в исследуемом узле на 16 %.

#### Список литературы

- 1 Пастухов, И. Ф. Конструкция вагонов : учеб. для колледжей и техникумов ж.-д. транспорта / И. Ф. Пастухов, В. В. Пигунов, Р. О. Кошкалда. – М. : Маршрут, 2004. – 504 с.
- 2 ГОСТ 14637–89. Прокат толстолистовой из углеродистой стали обыкновенного качества. Технические условия. – М. : Стандартинформ, 2018. – 10 с.
- 3 ГОСТ 33211–2014. Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам. – М. : Стандартинформ, 2018. – 53 с.

УДК 629.4.023.14

### ПОДХОД К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ВАГОНОВ-САМОСВАЛОВ ДЛЯ ПЕРЕВОЗКИ СЫПУЧИХ ГРУЗОВ ПОСЛЕ ДЛИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

*П. М. АФАНАСЬКОВ, М. И. ПАСТУХОВ, Р. И. ЧЕРНИН*  
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

На сегодняшний день на железнодорожных сетях стран – участниц Содружества Независимых Государств (СНГ) и стран Балтии имеется значительное количество единиц грузового подвижного состава, срок службы которых приближается или превышает установленный заводом- изгото-

вителем. Выведение вагона из эксплуатации, по достижении назначенного срока службы, в первую очередь базируется на условии безопасности движения поездов.

В связи с проявившимся дефицитом подвижного состава специализированного типа, из-за технической и экономической сложности его обновления по истечении нормативного срока службы, Советом по железнодорожному транспорту стран СНГ и Балтии было принято решение о частичном отказе от регламентированных нормативных сроков службы для тех единиц подвижного состава, индивидуальный ресурс которых позволяет продолжить их эксплуатацию [1]. На территории Республики Беларусь в 2018 году вступил в действие СТБ-2534–2018 «Железнодорожный подвижной состав. Порядок продления срока службы. Общие положения», согласно которому грузовым вагонам может быть продлен срок службы свыше полуторного, но не более двойного; основным критерием продления срока службы является наличие остаточного ресурса у вагона, который оценивается по специально разработанным методикам.

Многолетний опыт обследования технического состояния вагонов после длительной эксплуатации сотрудниками Белорусского государственного университета транспорта показывает, что указанный в технических условиях срок службы зачастую далек от предельного, это связано как с запасом прочности, заложенным при проектировании конструкции, так и с особенностями эксплуатации конкретного типа вагонов. Стоит отметить, что проблема оценки ресурса вагонов, выработавших нормативный срок службы, актуальна не только для Республики Беларусь, но и для других стран [2].

На Белорусской железной дороге для транспортировки сыпучих и кусковых грузов широкое распространение приобрели вагоны-самосвалы, оборудованные устройством механической разгрузки. Для вагонов-самосвалов модели 31-656 нормативный срок службы составляет 22 года и значительная доля вагонов его выработала. Необходимо отметить, что специфика эксплуатации вагонов рассматриваемого типа отличается от условий эксплуатации грузовых вагонов.

Для обеспечения безопасности движения подвижной состав, имеющий срок службы выше нормативного, требует дополнительного контроля. Оценка технического состояния несущей конструкции вагонов-самосвалов, эксплуатируемых свыше полуторного срока службы, демонстрирует целесообразность проведения исследований в области разработки процедуры прогнозирования их остаточного ресурса после выработки нормативного срока службы, при условии обеспечения их дальнейшей безопасной эксплуатации.

Предлагаемый подход к оценке остаточного ресурса вагонов-самосвалов включает в себя ряд процедур, представленных на рисунке 1. В рамках первого этапа необходимо изучить особенности конструкции вагона-самосвала и на основании конструкторской документации установить номинальные толщины всех элементов. Провести анализ специфики эксплуатации вагонов данного типа.

На втором этапе необходимо произвести обследование технического состояния вагонов методами неразрушающего контроля (визуальный контроль и ультразвуковая толщинометрия), что позволит выявить ряд зон, подверженных образованию дефектов.

При выполнении третьего этапа разрабатывается трехмерная конечно-элементная модель вагона-самосвала с возможностью дифференцированного учета наихудших ситуаций деградации металлоконструкции, установленной по результатам обследования технического состояния на втором этапе работ.

После проведения анализа напряженно-деформированного состояния металлоконструкций вагона-самосвала на нагрузки, регламентированные [3], с учетом результатов обследования конструкции, на четвертом этапе разрабатывается схема наклейки тензометрических датчиков.

Результаты проведенных виртуальных расчетов (этап 4) и натурных испытаний (этап 5) продемонстрируют достаточно полную картину напряженно-деформированного состояния конструкции вагона, но учитывая их длительную эксплуатацию, необходимо располагать информацией о фактических значениях физико-механических характеристик материала, из которого изготовлен вагон. Опираясь на данные, полученные на четвертом и пятом этапах, необходимо установить зоны, из которых будет произведена вырезка образцов металла, для углубленного исследования.

Исходными данными для определения наличия или отсутствия остаточного ресурса у вагона будут фактические механические свойства материала вагона-самосвала после длительной эксплуатации и результаты экспериментальных натурных исследований напряженного состояния металлоконструкции.



Рисунок 1 – Методика оценки технического состояния вагона-самосвала после длительной эксплуатации

#### Список литературы

- 1 О корректировке «Положения о продлении срока службы грузовых вагонов, курсирующих в международном сообщении» / Ю. П. Бороненко [и др.] // Евразия Вести. – 2012. – № X. – С. 13–14.
- 2 **Voiko, A.** Assessment of remaining resource of tank wagons with expired life time : Summary of Doctoral Dissertation: Engineering sciences / A. Voiko // Riga Technical University. – Riga. – 2013. – 39 p.
- 3 Нормы для расчета и проектирования новых вагонов-самосвалов (думпкаров) колеи 1520 мм. – М.: ВНИИВ, 1986. – 155 с.

УДК 629.45

### МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ПРОЧНОСТНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПАССАЖИРСКОГО ВАГОНА С УСОВЕРШЕНСТВОВАННОЙ НЕСУЩЕЙ КОНСТРУКЦИЕЙ КУЗОВА

*С. Н. АШУРКОВА, Д. Я. АНТИПИН*

*Брянский государственный технический университет, Республика Беларусь*

В современных условиях рынка пассажирских перевозок железнодорожным транспортом с увеличенными скоростями движения и комфортностью перевозок пассажиров к подвижному составу предъявляются высокие требования по прочности, жесткости, устойчивости, долговечности и безопасности с минимально возможной массой кузова вагона. При этом устойчивая тенденция наблю-

дается в применении конструкций с негофрированной наружной обшивкой со стрингерными вариантами подкрепления. Анализ данных конструкций показал, что они не обеспечивают в полной мере требования к уменьшению металлоемкости конструкции [1, 2]. Одним из перспективных способов решения этой проблемы является применение облегченных профилей, в частности перфорированных. Применение облегченных несущих конструкций боковых стен пассажирских вагонов с негофрированной наружной обшивкой свидетельствует о необходимости разработки технических решений, обеспечивающих прочность кузова вагона и безопасность его в эксплуатации [3].

В работе в качестве объекта исследования принят кузов пассажирского вагона модели 61-4447 производства ОАО «Тверской вагоностроительный завод».

На основании проведенных исследований в области проектирования подвижного состава со стрингерными вариантами подкрепления в несущей конструкции кузова вагона-аналога предлагается заменить гофрированные панели подоконного пояса, двухслойные панели надоконного пояса и межоконных простенков на панели с негофрированной несущей обшивкой толщиной 1,5 мм, подкрепленной стрингерами в виде типового гнутого зетового профиля размером  $40 \times 65 \times 45 \times 2,5$  мм. Основная перфорация для исследования принята на основании выполненных многовариантных расчетов с продолговатыми отверстиями с характеристиками: шаг перфорации – 220 мм, диаметр отверстия – 40 мм, расстояние между центрами отверстий – 50 мм [4].

Наиболее распространенным и зарекомендовавшим себя методом для оценки прочностных характеристик сложных пространственных конструкций является метод конечных элементов. Разработка пластинчатой конечноэлементной модели вагона-аналога осуществлялась на основе твердотельной пространственной модели в среде программного комплекса Siemens PLM Software NX посредством встроенных программных алгоритмов [5].

Разработанная пластинчатая конечноэлементная модель с целью уточнения дополнена объемными элементами, моделирующими влияние внутреннего и навесного оборудования. Адекватность расчетной модели кузова пассажирского вагона подтверждена результатами верификации, выполненной сопоставлением значений напряжений в среднем сечении кузова с данными натурных стендовых испытаний, проведенных ЗАО НО «Тверской институт вагоностроения», а также удовлетворительным соответствием значения первой собственной частоты изгибных колебаний кузова в вертикальной плоскости данным натурных испытаний и требованиям ГОСТ 34093.

Динамическая нагруженность кузова пассажирского вагона оценивалась на основе гибридной динамической модели вагона, разработанной в программном комплексе «Универсальный механизм», включающей в себя упругий кузов, соединенный силовыми элементами с двумя твердотельными подсистемами – тележками [6].

Верификация разработанной гибридной модели пассажирского вагона выполнена на основании данных ходовых динамических испытаний, проводимых для исследуемого вагона. Анализ полученных результатов показал, что значения экспериментальных и расчетных динамических показателей в рассматриваемом диапазоне скоростей движения качественно и количественно близки и максимальная разница значений в процентном соотношении не превышает 21 %.

Расчет конечноэлементной модели вагона с предлагаемой несущей конструкцией выполнен в статической постановке для I, III расчетных режимов. Наложение ограничивающих связей в пространстве и приложение продольных, поперечных и вертикальных нагрузок в модели осуществлялось в соответствии с требованиями ГОСТ 34093 и ГОСТ 55182. По результатам расчетов сделан вывод, что максимальные расчетные напряжения в целом по конструкции кузова вагона не превышают допустимых.

Устойчивость конструкции кузова оценивалась в нелинейной постановке с учетом геометрической нелинейности и нелинейных упругопластических свойств материала металлоконструкции, по критериям локальной и глобальной потери устойчивости [1–4], и выполнена по значению расчетного коэффициента запаса устойчивости путем сравнения с допустимым. Минимальное расчетное значение коэффициента запаса устойчивости для элементов подкрепляющего набора кузова составило 1,37 при допустимом значении 1,1, что свидетельствует об обеспечении устойчивости сжатых несущих элементов кузова при действии на него нормативных нагрузок.

Жесткость несущей конструкции кузова вагонов с массой брутто оценена по первой частоте собственных изгибных колебаний кузова [1–3]. На основании результатов расчета значение частоты первого тона изгибных колебаний рассматриваемой конструкции кузова вагона выше нормативного значения (8 Гц).

Анализ усталостной долговечности конструкции кузова пассажирского вагона с перфорированными подкрепляющими элементами в работе выполнялся в соответствии с методиками С. В. Серенсена, В. П. Когаева и В. В. Болотина для наиболее нагруженных зон кузова вагона в два этапа [6, 7]: в среде программного комплекса «Универсальный механизм» рассчитаны динамические силы, действующие на несущую конструкцию кузова вагона в процессе движения вагона; диапазоны динамических усилий прикладывались к детализированным конечно-элементным моделям несущей конструкции. На основании полученных результатов расчетов для трех рассматриваемых зон конструкции можно сделать вывод, что наименьшие сроки службы наблюдаются в зоне перфорированного стрингера. При этом сроки службы кузова вагона не превышают минимальный назначенный срок службы вагона-аналога с кузовом из углеродистых сталей, что подтверждает долговечность конструкции. Следовательно, предложенную конструкцию кузова вагона можно рекомендовать к использованию на железных дорогах России.

#### Список литературы

- 1 **Ашуркова, С. Н.** Выбор рациональной несущей конструкции кузова пассажирского вагона с подкрепляющими элементами перфорированного сечения / С. Н. Ашуркова, Д. Я. Антипин // Транспорт Урала. – 2019. – № 2(61). – С. 23–27.
- 2 **Ашуркова, С. Н.** Исследование влияния конструкции подкрепляющего набора боковой стены пассажирского вагона на его технико-экономические показатели / С. Н. Ашуркова, А. М. Высоккий, Д. Я. Антипин // Молодые ученые – ускорению научно-технического прогресса в XXI веке : сб. материалов III Всероссийской науч.-техн. конф. аспирантов, магистрантов и молодых ученых с международным участием. – Ижевск : ИННОВА, 2015. – С. 849–852.
- 3 **Колчина, Е. В.** Исследование жесткостных характеристик и прочности кузова пассажирского вагона салонного типа / Е. В. Колчина, Д. Я. Антипин, А. В. Смольянинов // Инновационный транспорт – 2016: специализация железных дорог: сб. материалов Междунар. науч.-техн. конф., посвященной 60-летию основания Уральского государственного университета путей сообщения. – Екатеринбург : УГУПС, 2017. – С. 639–643.
- 4 **Ашуркова, С. Н.** Обоснование конструктивных решений несущих конструкций кузовов пассажирских вагонов с перфорированными подкрепляющими элементами / С. Н. Ашуркова, Д. Я. Антипин // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2019. – № 6(79). – С. 69–76.
- 5 **Ашуркова, С. Н.** Использование современных промышленных программных комплексов для обоснования рациональной конструкции боковых стен пассажирских вагонов / С. Н. Ашуркова, Д. Я. Антипин // Информационно-телекоммуникационные системы и технологии : сб. Всероссийской науч.-практ. конф. – Кемерово, 2015. – С. 243.
- 6 **Антипин, Д. Я.** Обоснование динамических моделей для анализа нагруженности несущих конструкций кузовов пассажирских вагонов / Д. Я. Антипин, С. Н. Ашуркова, Е. В. Чепикова // Будущее машиностроения России: сб. докладов девятой Всероссийской конф. молодых ученых и специалистов. – М. : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2016. – С. 695–697.
- 7 **Антипин, Д. Я.** Прогнозирование усталостной долговечности несущей конструкции кузова пассажирского вагона с перфорированными подкрепляющими элементами / Д. Я. Антипин, С. Н. Ашуркова // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2019. – № 7(80). – С. 59–65.

УДК 658.012:681.32

## ИДЕНТИФИКАЦИЯ ОБЪЕКТОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИЙ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО СДВИГА И КЛЕТОЧНЫХ АВТОМАТОВ

*С. Н. БЕЛАН, В. А. ГРЕБЕНЬ, В. С. ТОМЫЧ, И. А. КОРНИЕВСКИЙ*  
*Государственный университет инфраструктуры и технологий, г. Киев, Украина*

На современном этапе развития транспортной отрасли важное значение имеет совершенствование эксплуатационной работы на базе широкого использования информационных технологий, телекоммуникационных систем и логистических методов управления. В период информатизации отрасли необходимо уметь ориентироваться в огромном потоке информации, знать о методах и принципах разработки информационных технологий, сетях передачи данных. Потоки информации в системе управления предприятиями железнодорожного транспорта сложные и разветвленные. Ни одна из функций управления не может обеспечить поддержание заданных параметров системы без достаточной информации и связи. Высокий уровень механизации и автоматизации получения и обработки исходных данных в таких системах во многом определяет, как качество получаемой информации, так и качество управления в целом. Одним из важных направлений в развитии информационных систем является создание систем автоматической идентификации объектов железнодорожного транспорта.

Данная сатья посвящена разработке и описанию методов идентификации подвижного состава железной дороги на основе технологии параллельного сдвига (ТПС) и клеточных автоматов (КА) [1–4].

В исследованиях рассматриваются оптико-электронные методы идентификации, которые основаны на фиксации изображения знака идентификатора движущегося объекта и дальнейшей его обработке. Для четкой и надежной идентификации используются различные методы предварительной обработки изображений. Полученное изображение бинаризуется и удаляются шумы. В результате получают бинарное изображение, где черные пиксели принадлежат идентификатору вагона или локомотива.

Алгоритм идентификации изображения идентификатора состоит из трех этапов, также может быть добавлен этап выделения подвижного объекта на видеоизображении:

- 1) выделение движущихся объектов на видеоизображении;
- 2) выделение поля идентификатора (чаще всего это номерная пластина) на входном изображении;
- 3) сегментация элементов изображения идентификатора (символы номерной пластины);
- 4) распознавание выделенных элементов изображения.

Задача выделения движущихся объектов представляет собой сумму двух подзадач: выделение пикселей переднего плана и объединения их в объекты. Для первой подзадачи существует несколько алгоритмов. Здесь проблема выбора соответствующего алгоритма решается очень просто, так как эффективность алгоритма пропорциональна его сложности.

Вторая подзадача решается для локализации номера. То есть алгоритмы, применяемые для ее решения, не являются общими и не могут использоваться для решения других задач. Алгоритм не является точным (с точки зрения выделения границ объекта), в данной работе не нужен, но является надежным (с точки зрения вероятности попадания номера в область выделения) и быстродействующим.

После выделения поля с изображением идентификатора используются клеточные технологии и технологии параллельного сдвига [1–4]. С помощью ТПС осуществляется определение скорости движения объекта на основе анализа функции пересечения площадей (ФПП), а также определяется идентификатор последовательностью кодов, описывающих его. Полученную последовательность сравнивают с эталонными значениями и идентифицируют ее либо нет.

ТПС основана на нескольких направлениях сдвига, что дает возможность обрабатывать изображения идентификаторов, изменивших свою ориентацию в пространстве. Чем больше направлений сдвига, тем точнее результат идентификации. ТПС позволяет реализовать систему, которая способна идентифицировать объекты, движущиеся в различных направлениях. При этом система определяет ФПП для одного направления, а эталонные ФПП<sub>э</sub> сформированы для всех основных направлений изображения идентификатора. Поскольку изображения идентификаторов формируются заранее и известны, то незначительные отклонения от эталонных форм ФПП не дают ложной идентификации.

В работе используются методы, основанные на контурной обработке изображения идентификатора. Для выделения контуров используются операторы Робертса [5], Собеля [6] и другие операторы выделения контуров. Такие операторы используют поле размером 3×3 и анализируют коды пикселей, расположенных в данных полях, используя соответствующие математические выражения.

После получения контурного изображения необходимо представить их в таком виде, который будет приемлемым для дальнейшей обработки. Например, можно выделить прямые линии и найти среди них те, которые вместе составляют прямоугольник похожий на номер. После этого можно анализировать выделенные прямые линии. Поиск прямоугольника заключается в выделении пар параллельных прямых с пропорциями, соответствующими автомобильной номерной пластинке.

Для сегментации идентификатора учитывается тот фактор, что все идентификаторы и их структуры заранее известны, так как создаются разработчиками системы нумерации. Согласно первоначально известной структуре разработаны методы, которые отделяют группы черных пикселей на изображении и определяют их форму, по которой судят о форме элемента идентификатора. После того как все группы черных пикселей идентифицированы, осуществляется идентификация всего изображения.

ТПС реализует метод, который не использует сегментацию отдельных элементов изображения, а формируется ФПП всего изображения идентификатора. ФПП для каждого идентификатора в нескольких направлениях является уникальной и дает высокую точность идентификации. Также ТПС позволяет определять объекты, движущиеся в разных направлениях.

Система, реализующая методы идентификации, содержит видеореги­стратор, преобразующий входное изображение в совокупность электрических сигналов, блок хранения изображения, блок выделения, блок формирования кодов элементов изображения, блок вычисления ФПП, блок сравнения и блок хранения. Для выделения элементов изображения на спроектированном изображении знака используется специальная клеточная среда (клеточный автомат), которая организована таким образом, чтобы в ней было организовано окно у знака. Такое виртуальное окно должно передвигаться по всему полю идентификационного знака и останавливаться в момент охвата элементов изображения.

#### **Заключение**

В данной работе проведен анализ современных средств идентификации изображений объектов железнодорожного транспорта. Рассмотрены их преимущества и недостатки. Предложена система идентификации объектов железнодорожного транспорта, реализуемой на оптико-электронном принципе считывания. Предложенная система не требует больших аппаратных затрат. Идентификация объекта осуществляется в реальном времени во время движения объекта. Такой подход не требует установки дополнительных технических средств на один движущийся объект. Реализация технологии параллельного сдвига позволила осуществлять идентификацию объектов, которые движутся в различных направлениях и с различной скоростью.

#### **Список литературы**

- 1 **Bilan, S.** Image Processing and Pattern Recognition Based on Parallel Shift Technology / S. Bilan, S. Yuzhakov. – CRC Press, 2018.
- 2 **Bilan, S.** Saving of Etalons in Image Processing Systems Based on the Parallel Shift Technology, Advances in Image and Video Processing / S. Bilan, S. Yuzhakov. – Vol. 2. – No. 6. – 2014. – P. 36–41.
- 3 **Bilan, S.** Handbook of Research on Intelligent Data Processing and Information Security Systems / S. Bilan, S. I. Al-Zoubi. – IGI Global. – November. – 2019. – P. 470.
- 4 **Bilan, S.** New Methods and Paradigms for Modeling Dynamic Processes Based on Cellular Automata / S. Bilan, M. Bilan, R. L. Motornyuk // IGI-Global. – 2020. – P. 200.
- 5 **Hegarty, M.** Steganography, The World of Secret Communications / M. Hegarty, A. J. Keane // CreateSpace Independent Publishing Platform. – 2018. – 88 p.
- 6 **Engel, K.** Real-time volume graphics / K. Engel. – 2006. – С. 112–114.

УДК 629.4

## **ОЦЕНКА БЕЗОПАСНОСТИ ПАССАЖИРСКОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ПРИ ОПРОКИДЫВАНИИ ВАГОНОВ**

*О. И. БОНДАРЕНКО, Д. А. БОНДАРЕНКО*

*Брянский государственный технический университет, Российская Федерация*

Проблемам безопасности на железнодорожном транспорте в настоящее время уделяется большое внимание. Однако статистика крушений и аварийных ситуаций, произошедших на железных дорогах России и ближнего зарубежья, растет с каждым годом. Анализ последствий аварийных ситуаций на пассажирском подвижном составе показывает, что пассажиры поездов и члены поездных бригад получают серьезные травмы при авариях, связанных со столкновением поезда с препятствием и опрокидыванием вагонов на насыпь железнодорожного полотна [1]. Наиболее тяжелые травмы пассажиры получают при падении с полок, падении на них багажа, ударах об элементы интерьера и столкновениях с другими пассажирами [2]. В связи с этим важной задачей при исследовании безопасности пассажирского железнодорожного транспорта является оценка травмирования пассажиров, находящихся в нем.

Крупнейшие производители наземных транспортных средств в центрах исследования безопасности вновь разрабатываемого транспорта используют проблемно-ориентированные антропометрические манекены различных конфигураций [3]. Манекены в точности повторяют свойства человеческого тела и способны передавать огромный массив информации посредством регистрирующей аппаратуры, устанавливаемой на них. Однако в век компьютерных технологий на первый план выходят испытания транспорта на безопасность с использованием виртуальных манекенов для краш-тестов, отличающиеся своей экономичностью и многофункциональностью.

Для оценки безопасности пассажирского подвижного состава в работе применялась разработанная ранее модель виртуального антропометрического манекена модели Hybrid III 50th Percentile Male [4], описывающая среднестатистического взрослого мужчину. Манекен представляется совокупностью твердых тел, описывающих части тела человека, соединенных между собой шарнирными соединениями – «суставами человека». Разработанная модель антропометрического манекена позволяет производить анализ характера и уровней динамических воздействий на элементы манекена: линейных и угловых перемещений, скоростей и ускорений, а также контактных ударных усилий.

Для оценки травмирования пассажиров при аварийном опрокидывании пассажирского вагона разработанная модель антропометрического манекена помещалась в твердотельную модель пассажирского вагона модели 61-4458, в которую также включены все основные элементы салона. Габаритные размеры элементов интерьеров соответствуют технической документации производителя [5]. В работе рассмотрены две планировки расположения пассажирских мест в салоне вагона: типовая (4 кресла в ряд) и повышенной комфортности (3 кресла в ряд).

В скомпонованной модели вагона с пассажирами учтены жесткостные характеристики элементов интерьера при назначении параметров контакта элементов манекена с поверхностями взаимодействия с помощью контактных элементов типа точка-плоскость. Учтены упруго-диссипативные характеристики материала элементов манекена для моделирования мягких тканей, на которые действуют максимальные ударные воздействия. Взаимодействие модели манекена с моделями, описывающими ручную кладь, не рассматривалось. Схема расположения манекена в модели вагона показана на рисунке 1. Моделирование опрокидывания осуществляется на правую сторону вагона с номерами кресел 3, 4 и 7.

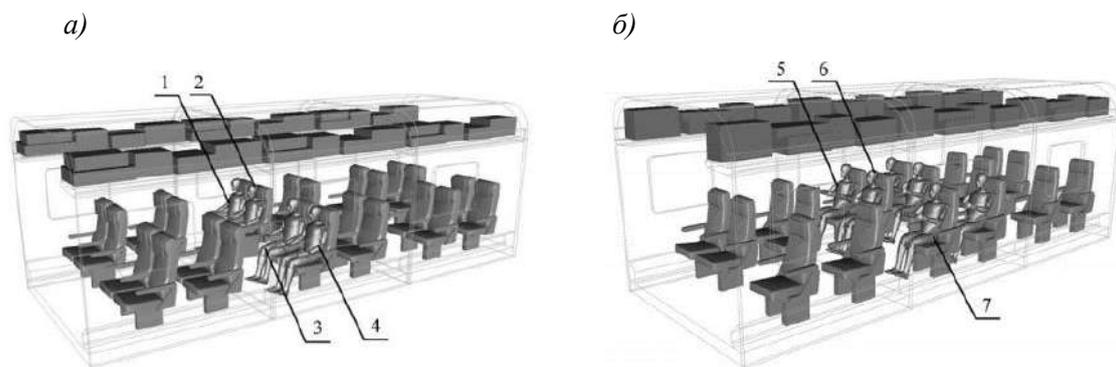


Рисунок 1 – Расположение манекена в салоне пассажирского вагона с разной планировкой:  
а – с типовой; б – с улучшенной

Оценка уровня травмирования пассажиров основана на расчете универсальных показателей – критериев травмирования: критерий травмирования головы  $HIC$ , критерий травмирования шеи  $Nij$ , критерий травмирования бедра  $FFC$  [6]. При расчете критериев учитываются ускорения, осевые усилия растяжения-сжатия, изгибающие моменты, действующие на модель манекена и его части. Полученные значения рассчитанных критериев сведены в таблицу 1.

Анализ результатов моделирования показал незначительные различия значений критериев травмирования относительно рассматриваемой планировки салона пассажирского вагона. Выявлены наиболее опасные положения манекена в рассматриваемом вагоне при аварийной ситуации с опрокидыванием вагона на насыпь железнодорожного полотна. Близкие к предельно допустимым значениям критерии травмирования головы и шейного отдела позвоночника для расположения манекена на местах 1, 3 и 5 говорят о возможных серьезных травмах головы и шеи пассажиров в реальных условиях. Также получены высокие значения критерия травмирования головы для манекенов, располагающегося на местах 2 и 6. Это обусловлено взаимодействием манекенов с элементами интерьера и манекенов друг с другом. Рассчитанный критерий травмирования бедра лежит в среднем диапазоне значений и не превышает допустимого предела. Это свидетельствует об отсутствии тяжелых травм бедренной части манекенов. В целом все полученные значения не превышают предельно допустимых, что говорит о высокой вероятности выживаемости пассажиров вагона при его аварийном опрокидывании на насыпь железнодорожного полотна.

Таблица 1 – Расчетные значения критериев травмирования пассажиров при аварийном опрокидывании вагона

Место расположения манекена в салоне вагона	Критерий травмирования		
	<i>HIC</i>	$N_{ij}$	<i>FFC</i>
1	965	1,3	6975
2	978	1,2	7230
3	932	1,3	6900
4	378	1,0	5468
5	925	1,32	7669
6	906	1,11	6848
7	386	1,13	6400
Предельно допускаемое значение	1000	1,4	10000

#### Список литературы

1 Антипин, Д. Я. Разработка компьютерной модели соударения пассажирского поезда с препятствием / Д. Я. Антипин, С. Г. Шорохов // *Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии : материалы междунард. науч.-техн. конф.* 2014. – С. 61–62.

2 Бондаренко, О. И. Оценка уровня травмирования пассажиров вагонов в аварийных ситуациях при взаимодействии с багажом / О. И. Бондаренко, Д. Я. Антипин, С. Г. Шорохов // *Транспорт Урала.* – 2020. – № 1(64). – С. 30–34.

3 Антипин, Д. Я. Применение моделей антропометрических манекенов для оценки безопасности пассажирского подвижного состава / Д. Я. Антипин, В. В. Кобищанов, С. Г. Шорохов // *Наука и образование транспорту.* – 2015. – № 1. – С. 6–9.

4 Bondarenko, O. I. Modeling of nonlinear shock deformation of passenger car bodies with emergency exits / O. I. Bondarenko, S. G. Shorokhov, V. A. Lebedev // *Journal of Physics: Conference Series. International Scientific Conference "Conference on Applied Physics, Information Technologies and Engineering – APITECH-2019"* ; Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations; Polytechnical Institute of Siberian Federal University. – 2019.

5 Антипин, Д. Я. Оценка динамической нагруженности отечественных пассажирских вагонов при аварийных соударениях поездов с препятствиями / В. В. Кобищанов, Д. Я. Антипин, С. Г. Шорохов // *Технологическое обеспечение ремонта и повышение динамических качеств железнодорожного подвижного состава : материалы третьей всероссийской науч.-техн. конф. с международным участием. В 3 ч. ; И. И. Галиев (отв. редактор).* – 2015. – С. 50–56.

6 Антипин, Д. Я. Анализ уровней черепно-мозговых травм пассажиров при аварийном соударении поезда с грузовым вагоном / Д. Я. Антипин, С. Г. Шорохов // *Проблемы техносферной безопасности – 2015 : материалы 4-й Междунард. науч.-практ. конф. молодых ученых и специалистов. Академия государственной противопожарной службы МЧС России,* 2015. – С. 251–254.

УДК 625.03

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ БОКОВЫХ НАГРУЗОК ОТ КОЛЕС НА РЕЛЬСЫ

*Ю. П. БОРОНЕНКО, Р. В. РАХИМОВ*

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

Надежным способом получения достоверных результатов по исследованию взаимодействия подвижного состава и железнодорожного пути являются экспериментальные методы. На железных дорогах России для измерения бокового воздействия подвижного состава на железнодорожный путь используются методы Шлюмпфа согласно ГОСТ Р 55050-2012 [1] и «РЖД-2016» [2]. Эти методы реализуются с применением тензорезисторов, устанавливаемых на шейке рельса. Обработка получаемых сигналов позволяет измерять силу между колесом и рельсом только в момент расположения колеса над сечениями тензорезисторов, непрерывная регистрация сил в контакте «колесо – рельс» невозможна. При этом результаты измерений зависят от скорости движения и частоты квантования измерительной аппаратуры. Из-за этих особенностей для получения статистически достоверного объема экспериментальных данных при проведении испытаний по воздействию на путь требуются многократные проходы испытуемого подвижного состава по измерительному участку пути.

В настоящее время разработан и теоретически обоснован новый метод кусочно-непрерывной регистрации боковых сил от взаимодействия колеса с рельсом по измерению нормальных напряжений в двух сечениях рельса [3], обеспечивающий повышенную точность измерений боковых сил на значительной части межшпального промежутка.

В результате комплексных исследований [4] с применением метода конечных элементов установлено, что лучшим вариантом для восстановления боковых сил от взаимодействия колеса с рельсом по измерению нормальных напряжений в двух сечениях рельса является установка восьми тензорезисторов на высотах 67,5 и 72,5 мм от подошвы рельса в двух вертикальных поперечных сечениях, расстояние между которыми составляет 440 мм, находящихся симметрично относительно вертикальной центральной поперечной плоскости межшпального промежутка (рисунок 1). Такое расположение тензорезисторов обеспечивает стандартное отклонение восстановленной боковой силы не более 4 % по длине измерительной зоны примерно 140 мм.

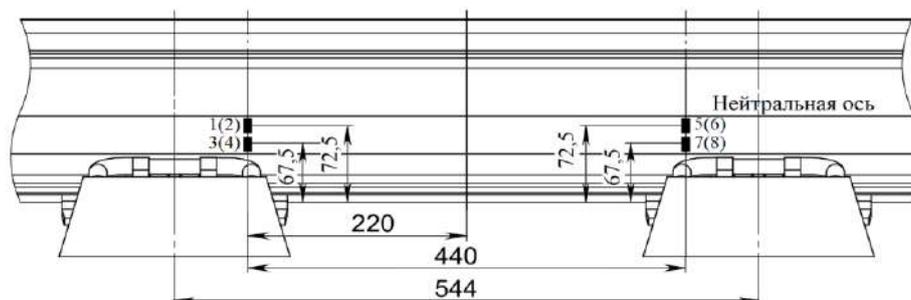


Рисунок 1 – Схема расположения тензорезисторов на шейке рельса для измерения боковых сил от колес на рельсы:  
1–8 – номера тензорезисторов

Для проверки точности измерений боковых сил от взаимодействия колеса с рельсом по измерению нормальных напряжений в двух сечениях рельса были проведены экспериментальные исследования на железнодорожном пути [5].

Для экспериментов использовался фрагмент железнодорожного пути с рельсами типа Р65 длиной 3000 мм, уложенный на деревянные опоры, шаг укладки которых составлял 544 мм. Для регистрации сигналов и вычисления боковых сил от взаимодействия колеса с рельсом на обе стороны шейки рельса в двух вертикальных поперечных сечениях была произведена наклейка восьми тензорезисторов с номинальной базой 3 мм на высотах 65,5 и 72,5 мм от подошвы рельса (см. рисунок 1) и тензорезисторы были соединены по схеме полного измерительного моста с четырехпроводной схемой подключения с регистрирующей аппаратурой.

В процессе экспериментов для определения масштабов измерения тензометрической схемы и имитации вертикального и бокового воздействия колеса на рельс было использовано специальное устройство, позволяющее осуществлять нагружение рельса вертикальной силой, расположенной в продольной плоскости рельса, и вертикальной силой, смещенной относительно продольной плоскости рельса на  $\pm 20$  мм, и горизонтальной силой.

На первом этапе эксперимента по сечениям рельса с помощью устройства для нагружения рельса прикладывалась центральная вертикальная статическая нагрузка  $Q$ , равная 25 и 50 кН, с последующим ее снижением до полной разгрузки; на втором этапе эксперимента – вертикальная статическая нагрузка  $Q$ , равная 25 и 50 кН, прикладывалась по сечениям рельса со смещением относительно продольной плоскости рельса на 20 мм наружу и внутрь от середины головки рельса. На всех этапах эксперимента одновременно с вертикальной нагрузкой на фрагмент рельса прикладывалась горизонтальная поперечная нагрузка  $P$ , равная  $0,2Q$  и  $0,4Q$ , на расстоянии 20 мм от уровня головки рельса.

По результатам эксперимента были определены зависимости восстановленной боковой силы от точки приложения нагрузки согласно предложенному методу. Установлено, что средние значения восстановленных боковых сил на длине измерительной зоны примерно 140 мм составляют:

- при действии вертикальной силы величиной 50 кН и боковой силы величиной 20 кН –  $20,16 \pm 0,47$  кН, относительная погрешность при этом равна 2,37 %;
- при действии вертикальной силы величиной 50 кН и боковой силы величиной 10 кН –  $10,04 \pm 0,24$  кН, относительная погрешность при этом равна 2,43 %;
- при действии вертикальной силы величиной 25 кН и боковой силы величиной 10 кН –  $10,02 \pm 0,28$  кН, относительная погрешность при этом равна 2,82 %;
- при действии вертикальной силы величиной 25 кН и боковой силы величиной 5 кН –  $5,06 \pm 0,15$  кН, относительная погрешность при этом равна 3,01 %.

Таким образом, проведенные экспериментальные исследования по определению боковых нагрузок от взаимодействия колеса с рельсом на железнодорожном пути подтвердили результаты теоретических исследований и эффективность метода кусочно-непрерывной регистрации боковых сил по измерению нормальных напряжений в двух сечениях рельса.

Следовательно, предложенный метод [3] рекомендуется для использования при определении силового воздействия подвижного состава на железнодорожный путь, что позволит обеспечить повышенную точность измерений, сократить необходимое число проходов испытуемого подвижного состава и количество тензорезисторов для получения достоверных статистических данных, за счет этого уменьшит сроки и стоимость испытаний по воздействию на путь по сравнению с испытаниями, согласно методу Шлюмпфа по ГОСТ Р 55050-2012 и методу «РЖД-2016».

#### Список литературы

1 **ГОСТ Р 55050-2012.** Железнодорожный подвижной состав. Нормы допустимого воздействия на железнодорожный путь и методы испытаний (с Изменением № 1 от 01.10.2014 г.). – М. : Стандартинформ, 2013. – 15 с.

2 **Коссов, В. С.** Определение показателей воздействия подвижного состава на железнодорожный путь методом «РЖД-2016» / В. С. Коссов, А. А. Лунин // Подвижной состав XXI века: идеи, требования, проекты : материалы XII Междунар. науч.-технич. конф. – СПб. : ПГУПС, 2017. – С. 123–126.

3 Пат. 2720188 Российская Федерация: МПК G01L 1/22 (2006.01). Способ измерения боковых сил, действующих от колеса на рельс, и устройство для его осуществления / Ю. П. Бороненко, Р. В. Рахимов, А. С. Даукша ; заявитель и патентообладатель АО «НВЦ «Вагоны». – № 2019114559; заявл. 13.05.2019; опубл. 27.04.2020; бюл. № 12. – 11 с.

4 **Бороненко, Ю. П.** Измерение боковых нагрузок от колес на рельсы / Ю. П. Бороненко, Р. В. Рахимов // Транспорт Российской Федерации. – 2019. – № 4(83). – С. 45–50.

5 **Бороненко, Ю. П.** Экспериментальное определение боковых нагрузок от взаимодействия колеса с рельсом / Ю. П. Бороненко, Р. В. Рахимов // Транспорт Российской Федерации. – 2019. – № 6(85). – С. 50–53.

УДК 621.331

## ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ ОПТИМИЗАЦИИ НАПРЯЖЕНИЯ В ТЯГОВОЙ СЕТИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

*Д. А. БОСЫЙ, В. В. БЛИНДЮК*

*Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта  
им. акад. В. Лазаряна, Украина*

Режим напряжения в тяговой сети, при отсутствии эксплуатационных ограничений, определяет провозную и пропускную способность электрифицированной железной дороги, которая влияет на установленный вес и количество пропущенных поездов за определенный промежуток времени. Обеспечение необходимого уровня напряжения в тяговых сетях электрифицированных железных дорог должно осуществляться применением необходимых технически возможных мер во время разработки и изготовления оборудования и комплектующих изделий, проектирования и построения системы тягового электроснабжения на базе обоснованного выбора ее конфигурации и параметров и рациональных схем подключения к системе внешнего электроснабжения.

Особенностями передачи электроэнергии по тяговой сети являются изменение положения электродвижущего состава (ЭПС) и изменение режимов их работы, ограничения, которые определяются влиянием поездов друг на друга в зависимости от их взаимного расположения, а также ограничения, связанные, в целом, с обеспечением перевозочного процесса. Одним из основных показателей качества электрической энергии, которая передается в системе тягового электроснабжения (СТЭ), является напряжения на шинах тяговой подстанции и, следовательно, на токоприемниках электровозов, который, однако, зависит не только от изменения тяговой нагрузки, но и от изменения нагрузки районных потребителей и питающей энергосистемы, а характер факторов, которые влияют на напряжение, является нелинейным и нестационарным. При этом уровень напряжения как показатель качества должен рассматриваться как некоторый параметр, который оптимизирует передачу и потребление электроэнергии для ЭПС.

В работе исследуется управляемая распределенная система электроснабжения. На основе разработанной компьютерной модели этой системы и экспериментальных данных движения поезда были исследованы технико-экономические показатели работы системы при разных режимах работы системы электроснабжения. Главной целью работы является стабилизация уровня напряже-

ния на максимально экономически эффективном уровне и уменьшение потерь электроэнергии в контактной сети. Все теоретические расчеты показали улучшение качества электрической энергии в результате внедрения и применения закона управления напряжением на шинах 3,3 кВ тяговой подстанции. По полученным результатам можно сделать следующие выводы.

1 Применение системы управляемого распределенного электроснабжения позволяет стабилизировать напряжение на участках с нагруженным движением и при внедрении ускоренного или скоростного движения поездов.

2 Использование распределенной системы позволит решить вопрос увеличения межподстанционной зоны. Распределенная система не нуждается в постоянном пребывании обслуживающего персонала на территории подстанции, т. е. при внедрении современных подстанций модульного типа отпадает необходимость строительства подстанций с отдельным помещением и большой площадью. Также упрощается выбор места для строительства подстанции, которое обычно определяется не технико-экономической эффективностью функционирования системы, а близостью населенных пунктов.

3 Разработанная методология расчета позволяет упростить процесс проработки данных и улучшить быстродействие расчета целой системы для более быстрого реагирования и корректировки управления напряжением на тяговых подстанциях.

4 Концепция управляемого распределенного питания – первый шаг для внедрения интеллектуальной системы электроснабжения, которая позволит более экономично использовать энергетические ресурсы, уменьшить себестоимость перевозок, играющих большую роль в стоимости товара для конечного потребителя – населения страны.

УДК 621.331

## **ПОТЕРИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПРИ ОГРАНИЧЕННОМ УПРАВЛЕНИИ УСТРОЙСТВАМИ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ**

*Д. А. БОСЫЙ, И. А. ТЕРТЫШНАЯ*

*Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта  
им. акад. В. Лазаряна, Украина*

Электрифицированные железные дороги играют важную роль в экономической и социальной сферах государства, осуществляя перевозки самых разнообразных грузов по всей территории страны. Поэтому при ежедневной перевозке жизненно важных грузов по всем регионам нашей страны и непрерывном пассажиропотоке выход из строя любого элемента конструкции электрифицированной железной дороги может привести к необратимым последствиям. Одним из важных элементов электрифицированной железной дороги является система электроснабжения, которая является сложным техническим сооружением. Система работает в непрерывном режиме и практически в любых условиях, обладает высокой степенью надежности. Однако в процессе эксплуатации возникают различные повреждения элементов системы и аварийные ситуации, связанные с воздействием механических, метеорологических, химических, человеческих и других факторов. Это, в свою очередь, приводит к перерывам в движении поездов и, что критично для железной дороги, срывам графика движения. Также сама система электроснабжения влияет на окружающую среду через наведенное напряжение, мешающее влияние на линии связи, коррозию металлических сооружений и прочее.

Очень важное значение в хозяйстве электроснабжения железных дорог имеет внедрение новейших технологий и передовых разработок. Это улучшает скорость, надежность, экономичность процесса перевозок. Так, совершенствование выпрямительных преобразователей уменьшает потери электроэнергии, снижает влияние контактной сети на линии связи, дает возможность установить простые фильтрующие устройства, уменьшает затраты на строительство. Одним из основных устройств на тяговых подстанциях постоянного тока является выпрямительный агрегат, который состоит из тягового трансформатора, выпрямителя/инвертора и сглаживающего устройства. Поэтому выпрямительные преобразователи должны подвергаться исследованиям для их совершенствования, анализа работы и возможности улучшения их характеристик.

В работе исследуется влияние ограниченного управления установок, которое приводит к увеличению технологических потерь электроэнергии в системе тягового электроснабжения. Режимы работы выпрямительных установок анализируются с помощью современных математических и имитационных моделей.

Результаты исследований показали, что увеличение потерь электроэнергии в системе тягового электроснабжения обусловлено протеканием по контактной сети уравнивающих токов, которые появляются вследствие разности напряжений по модулю и фазе на шинах смежных тяговых подстанций. Кроме этого, несоответствие показателей качества электроэнергии наносит ущерб за счет преждевременного выхода электрооборудования из строя и штрафных санкций со стороны потребителей и иных систем электроснабжения.

От состояния электрооборудования тяговых подстанций напрямую зависит безопасность движения поездов, пропускная способность участков железной дороги, обеспечение транзита электроэнергии питающих энергосистем.

Также на качество работы оборудования в хозяйстве электроснабжения влияет качество подготовки персонала соответствующей квалификации.

УДК 621.331

## **СНИЖЕНИЕ ВЫСШИХ ГАРМОНИЧЕСКИХ СОСТАВЛЯЮЩИХ НА ТЯГОВЫХ ПОДСТАНЦИЯХ ПОСТОЯННОГО ТОКА**

*Д. А. БОСЫЙ, Х. И. ТЫЖБИР*

*Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта  
им. акад. В. Лазаряна, Украина*

Электрифицированные железные дороги занимают важное место в экономике современных стран. Все электроприемники системы тягового электроснабжения проектируются и изготавливаются в расчете на определенные номинальные электрические параметры: частоту, напряжение, ток и т. д. При этом предполагается, что подведенное напряжение переменного тока синусоидальное и для трехфазных систем, кроме того, симметричное. В основе проектирования электроприемников лежит требование обеспечения их самой экономной работы именно при номинальных параметрах.

Резкопеременные, однофазные и нелинейные тяговые нагрузки электрифицированных железных дорог в определенных режимах работы могут служить причиной искажения некоторых показателей качества электрической энергии, таких как несимметрия, несинусоидальность и колебания напряжения, как непосредственно в системе электроснабжения железных дорог, так и на стороне других потребителей, питающихся от ее сетей.

На участках, электрифицированных на постоянном токе, преобразование на тяговых подстанциях трехфазного переменного тока в выпрямленный напряжением 3,3 кВ вызывает появление высших гармоник тока (напряжения) в сетях общего назначения, что может вызвать нарушение норм по коэффициенту гармонической составляющей напряжения и искажения синусоидальности кривых межфазных (фазных) напряжений. Наличие перечисленных искажений приводит к возникновению ряда негативных процессов. Если в сети появляется напряжение высшей гармоники очевидно, что растет амплитудное значение напряжения, а также его действующее значение. При появлении тока гармоники с большим порядковым номером проявляется поверхностный эффект (вытеснение тока к поверхности проводника), что приводит к дополнительным потерям тепла, нагрев изоляции электрооборудования и снижение срока его службы. Несинусоидальные токи приводят к большему дополнительному нагреву вращающихся машин, а также к большему дополнительному нагреву и увеличению диэлектрических потерь в конденсаторах, кабелях.

Проникновение высших гармоник в сеть приводит к нарушениям работы устройств телемеханики, автоматики, релейной защиты. В сети возможно возникновение резонансных режимов на высших гармониках, при этом резко возрастают токи и напряжения на отдельных участках сети. В двигателях гармоники напряжения и тока приводят к появлению дополнительных потерь в обмотках ротора, в цепях статора, а также, в стали статора и ротора. Через вихревые токи и поверхностный эффект потери в проводниках статора и ротора больше, чем определяются омическим сопротивлением. Всё это

влечет повышение общей температуры машины и местные перегревы, что может привести к серьезным последствиям. Также следует отметить, что при определенных условиях наложения гармоник может возникнуть механическая вибрация ротора. В трансформаторах гармоники напряжения вызывают увеличение потерь на гистерезис, потери, связанные с вихревыми токами в стали, и потери в обмотках. Кроме того, сокращается срок службы изоляции. В батареях конденсаторов гармоники тока также приводят к дополнительным потерям энергии. Вследствие этого происходит дополнительный нагрев конденсатора, который может привести к выходу последнего из строя. Также возможно повреждение конденсатора при возникновении гармоничных резонансов в сети.

Гармоники могут нарушать работу устройств защиты или ухудшать их характеристики. Характер нарушения зависит от принципа работы устройства. Самыми распространенными являются ложные срабатывания, которые наиболее вероятны в работе систем защиты, основанных на измерении сопротивлений. Влияние гармоник на коммерческие приборы измерения мощности и учета электроэнергии приводит к увеличению погрешности результатов измерений.

Также следует отметить влияние гармоник, возникающих в силовых цепях, на сигналы в линиях связи. Низкий уровень шума приводит к определенному дискомфорту, при его увеличении часть передаваемой информации теряется, в некоторых случаях связь становится невозможной.

Определение уровней высших гармоник напряжения, тока и других параметров несинусоидальных режимов производится на основании схем замещения, справедливых для каждой высшей гармоники отдельно.

Для ограничения влияния электрифицированной железной дороги на качество электроэнергии в точках присоединения сетей общего назначения используются специальные мероприятия и средства. Для участков постоянного тока напряжением 3,3 кВ применяются 12-пульсовые преобразователи, при которых в питающих сетях не возникают гармоники напряжения с частотой ниже 550 Гц, а гармоники частотой 550 Гц и выше имеют значительно меньшие амплитуды, чем в случае применения 6-пульсовых преобразователей.

Дополнительно при необходимости устанавливаются индуктивно-емкостные фильтры, применение которых позволяет снизить значение высших гармонических составляющих на тяговых подстанциях постоянного тока, что приведет в общем к повышению качества электроэнергии. Определить параметры данных устройств удобно при помощи современных методов математического моделирования.

УДК 621.331

## **МОДЕРНИЗАЦИЯ СОЛНЕЧНОГО ТРЕКЕРА СИСТЕМОЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА**

*Д. А. БОСЫЙ, В. Г. ХИМОНЕНКО*

*Днепровский национальный университет железнодорожного транспорта  
им. акад. В. Лазаряна, Украина*

Солнечная энергия – один из самых перспективных и динамичных возобновляемых источников энергии. Ежегодно прирост мощностей, которые вводятся в эксплуатацию, составляет примерно 40–50 %. Всего за последние 15 лет доля солнечного электричества в мировой энергетике превысила отметку в 5 %. Совершенствование технологии изготовления фотоэлектрических модулей привело к существенному снижению себестоимости электроэнергии. В более чем 30 странах мира (в частности, Германии, Чили, Австралии, Мексике) солнечная энергия стала дешевле, чем получаемая из традиционных источников (нефть, газ, уголь). Одной из технологий, увеличивающих добычу солнечной энергии, является солнечный трекер.

Солнечный трекер представляет собой систему, предназначенную для ориентации на солнце рабочих поверхностей систем, генерирующих электричество, либо систем, концентрирующих (генерирующих) тепловую энергию. Точная ориентация рабочих поверхностей систем на солнце необходима для достижения их максимальной производительности. Задача трекера – уменьшить угол падения солнца на рабочую поверхность солнечных панелей (PV-модулей, CPV – концентри-

рованных фотоэлектрических модулей, CSP-систем, HCPV-систем, параболических отражателей и др.). Такой прибор позволит контролировать положение солнечных панелей сразу в двух плоскостях. Именно при падении солнечного света под прямым углом достигается минимальное значение отражения, а следовательно – максимальное использование энергии лучей солнечной панелью. В зависимости от количества степеней свободы движения солнечные трекеры бывают одно- и двухкоординатными. Двухкоординатные трекеры обеспечивают наибольший КПД фотопревращения в течение всего года (99,5 % от теоретически возможного). Однокоординатные обеспечивают желаемый максимум только в определенный сезон года, а суммарная годовая добыча солнечной энергии составляет лишь 75–80 % от возможного, что также значительно лучше, чем 40–70 %, которые падают на неподвижную панель.

Несмотря на все преимущества управляемых фотопанелей, трекеры устанавливаются далеко не на всех солнечных электростанциях. Тому есть несколько причин:

- трекер всегда повышает стоимость монтажа системы;
- усложнение конструкции крепления приводит к уменьшению ее надежности (на крупных электростанциях понадобится дополнительный штат работников для обслуживания и ремонта трекеров);
- наличие подвижных деталей требует обслуживания даже при отсутствии аварий;
- подвижные крепления панели значительно уменьшают ее устойчивость и надежность при сильном ветре.

Таким образом, можно сделать вывод, что установка фотопанелей на солнечный трекер способна повысить уровень выработки электроэнергии на 30–40 %.

В работе предлагается модернизировать существующую систему ориентации солнечной панели с помощью нейроконтроллера и специального алгоритма управления. Это позволит автоматически поворачивать панель за солнцем с максимальной точностью и генерацией солнечной энергии в любое время года.

В результате выполненной работы можно сделать выводы, что с помощью систем искусственного интеллекта можно автоматизировать систему генерации солнечной энергии, а также увеличить точность слежения за солнцем и обеспечить наибольшее КПД фотопреобразования в течение всего года.

УДК 614.8.084: 159.944

## **ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ НАДЕЖНОСТЬ РАБОТНИКОВ ЛОКОМОТИВНЫХ БРИГАД КАК РЕШАЮЩИЙ ФАКТОР БЕЗОПАСНОСТИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА**

*В. Г. БРУСЕНЦОВ, В. Г. ПУЗЫРЬ, О. В. КОСТЫРКИН*

*Украинский государственный университет железнодорожного транспорта, г. Харьков*

Проблема надежности человека-оператора является чрезвычайно актуальной во всём мире. Известно, что большинство аварий в сложных технических системах, приводящих к тяжелым потерям, происходит по вине человека. [1, 2]. На железнодорожном транспорте безопасность движения также в значительной степени определяется человеческим фактором. При этом одной из важнейших составляющих является уровень профессиональной надежности работников локомотивных бригад. По их вине происходит до 80 % аварий с тяжелыми последствиями [3]. Ежегодные аналитические материалы о состоянии безопасности в железнодорожной отрасли свидетельствуют: порядка 90 % происшествий (проездов запрещающих сигналов, аварий и катастроф) случилось по вине машинистов. Но разве все они нерадивые рабочие? Конечно, нет. Статистические данные подтверждают, что многие из тех, что допустили проезды запрещающих сигналов – дисциплинированные, ответственные люди, опытные, а нередко и высококвалифицированные машинисты.

Проблема надежности человека-оператора разрабатывается достаточно интенсивно в различных областях. [4]. Поскольку основным условием надежной работы является поддержание заданного уровня деятельности в течение определенного отрезка времени, надежность работы человека-оператора может быть определена как способность к сохранению необходимых рабочих качеств в условиях возможного осложнения обстановки или как «сохранность», устойчивость оп-

тимальных рабочих параметров индивида. Существует ряд определений понятия «надежность деятельности человека» относительно его операторских функций. Основное внимание в этих определениях обращается на проявления надежности, такие как качество выполнения задания, отклонение показателей деятельности от требуемых значений и др. Подобные определения акцентируют внимание на внутренних, потенциальных возможностях и способностях человека в обеспечении надежности, однако не в полной мере раскрывают специфичность данного понятия с точки зрения процессуальных (устойчивость функционирования) и результирующих (безотказность, безошибочность и т. п.) характеристик.

Большинство аварийных ситуаций на железнодорожном транспорте возникает в связи со снижением уровня профессиональной надежности рабочих локомотивных бригад в частности по снижению уровня функциональной надежности (утомление, стресс и т. п.) [5]. В связи с этим актуальным является поиск и внедрение методов объективной оценки уровня функциональной надежности работников, прежде всего уровня здоровья, что и является целью работы.

При создании системы контроля уровня функциональной надежности работников локомотивных бригад возникает вопрос объективности ее оценивания [6], который затрудняется тем, что функциональная надежность является сложным явлением и включает долговременную и текущую составляющие. Долговременная меняется достаточно медленно и определяет уровень текущей. В зависимости от уровня долговременной составляющей существенно меняется вероятность перехода функциональной надежности к «недопустимому уровню» при колебаниях текущей. При низком уровне вероятность такого перехода достаточно велика, а при высоком – наоборот. Поскольку долговременная составляющая состоит из уровня здоровья и биологического возраста, для ее контроля необходимо иметь инструмент их измерения (прежде всего – уровня здоровья). При этом методы оценки данного качества должны удовлетворять ряду специфических требований, таких как валидность, простота процедуры, отсутствие неблагоприятных воздействий на обследуемого. В связи с этим было проанализировано большое количество существующих методов. Оказалось, что разработка таких методов имеет значительную историю. В основном они строятся на том, что объективным критерием здоровья человека является уровень физической работоспособности.

Установлено, что наиболее полное представление о функциональных резервах организма может быть составлено в условиях нагрузок, при которых задействовано не менее 2/3 мышечного массива. Такие нагрузки обеспечивают предельную интенсификацию всех физиологических систем и позволяют выявить не только глубинные механизмы обеспечения работоспособности, но и пограничные с нормой состояния и скрытые проявления недостаточности функций.

Представления об уровне физической работоспособности в значительной степени расширяются при одновременной регистрации физиологических показателей, характеризующих функциональные возможности сердечно-сосудистой, дыхательной и нервной систем, двигательную функцию, состояние обменных процессов.

Из рассмотренных методов определения уровня физической работоспособности наиболее привлекательной на сегодня видится методика количественной экспресс-оценки уровня физического/соматического здоровья индивида, разработанная проф. Г. Л. Апанасенко [7].

С применением данной методики была обследована большая группа работников локомотивных бригад нескольких локомотивных депо Украины. Результаты исследования показали: значительная часть работников (около 40 %) имеет уровень здоровья «низкий» и «ниже среднего». Это означает, что их функциональная надежность существенно снижена еще до работы и под влиянием факторов труда может снизиться до недопустимого уровня. Можно сделать вывод, что существующий уровень функциональной надежности работников локомотивных бригад представляет угрозу для безопасности движения и, следовательно, должен контролироваться.

Для оценки такой составляющей, как «уровень здоровья» целесообразно, по мнению авторов, применять метод количественной экспресс-оценки уровня физического/соматического здоровья индивида. Кроме оценивания функциональной надежности такой контроль будет способствовать повышению уровня здоровья работников по принципу биологической обратной связи, согласно которому получение информации о состоянии здоровья побуждает человека к его поддержанию или улучшению.

### Список литературы

- 1 **Бодров, В. А.** Психология и надежность: человек в системах управления техникой / В. А. Бодров, В. Я. Орлов. – М. : Ин-т психологии РАН, 1998. – 285 с.
- 2 **Cott, H. V.** Human Errors: Their Causes and Reduction / H. V. Cott // Human Errors in Medicine : ed. by M. S. Bogner. – Lawrence Erlbaum Associates, Publishers. – New Jersey : Hillsdale. – 1994. – P. 63–65.
- 3 **Нерсесян, Л. С.** Железнодорожная психология / Л. С. Нерсесян. – М. : Реинфор, 2005. – 533 с.
- 4 **Войтенко, А. М.** К вопросу о профессиональной надежности летчика / А. М. Войтенко, В. А. Пономаренко // Военно-медицинский журнал. – 1993. – № 5. – С. 51–53.
- 5 **Серииков, В. В.** Динамика профессиональной и функциональной надёжности работников локомотивных бригад в условиях сменной работы / В. В. Серииков, А. А. Закревская, В. Я. Колягин // Человеческий фактор: проблемы психологии и эргономики. – Тверь, 2014. – № 4(71). – С. 56–62.
- 6 **Брусенцов, В. Г.** Внедрение системы контроля функциональной надежности железнодорожных операторов / В. Г. Брусенцов, В. Г. Пузырь // Вісник СНУ ім. В. Даля. – № 5(176). Ч. 2. – 2012. – С. 167–169.
- 7 **Апанасенко, Г. Л.** Медицинская валеология. / Г. Л. Апанасенко, Л. А. Попова. – Киев : Здоровье, 1998. – 248 с.

УДК 629.45

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПАССАЖИРСКИХ ВАГОНОВ ПОСЛЕ ДЛИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

*Е. В. БУГАЕВА, Н. В. БЕЛОГУБ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Значительная доля инвентарного парка пассажирских вагонов Белорусской железной дороги имеет срок службы, превышающий нормативный 28 лет, установленный заводом-изготовителем. В то же время, ввиду невозможности единовременной замены указанных вагонов на новые, для обеспечения пассажирских перевозок, в том числе сезонных, такие вагоны привлекаются к эксплуатации после проведения процедуры продления срока службы. Продление срока службы осуществляется, как правило, по техническому решению в рамках планового вида ремонта либо путем проведения модернизации при капитально-восстановительном ремонте (КВР) на основе Технических условий (ТУ).

КВР проводится в рамках проведения КР-2, в соответствии с ТУ, позволяет продлить срок службы вагона на 20 лет и обеспечивает получение экономии по следующим составляющим [2]:

1) повышение несущей способности кузова позволяет продлить срок службы вагона сверх нормативного и получить от этого определенный эффект  $\mathcal{E}_1$ ;

2) продление срока службы вагона за счет проведения КВР дает возможность отдалить капитальные вложения на приобретение нового вагона и за счет этого получить эффект  $\mathcal{E}_2$ ;

3) модернизация внутреннего оборудования вагона при проведении КВР позволяет получить вагон повышенной комфортности. Экономический эффект  $\mathcal{E}_3$  от применения по назначению вагона повышенной комфортности получается сразу же после КВР, тогда как в базовом варианте это возможно только после приобретения нового вагона;

4) при производстве КВР возникают отходы, которые могут быть реализованы с получением эффекта  $\mathcal{E}_4$ ;

5) при производстве КВР снимаются отдельные узлы и детали, которые после ремонта могут быть использованы при проведении деповского и капитального ремонтов. Может быть получен экономический эффект  $\mathcal{E}_5$  за счет использования старогодных деталей.

Таким образом, общий экономический эффект

$$\mathcal{E}_{\text{общ}} = \mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2 + \mathcal{E}_3 + \mathcal{E}_4 + \mathcal{E}_5.$$

Проведение капитально-восстановительного ремонта требует дополнительных затрат:

1) наряду с повышением комфортности – дополнительные расходы  $\mathcal{Z}_1$  на повышение несущей способности;

2) проводится модернизация вагона с применением новейших материалов, деталей, узлов и установкой дополнительных систем, обеспечивающих повышение комфортабельности вагона. Это приведет к появлению дополнительных затрат  $\mathcal{Z}_2$  при последующих ТО, деповских и капитальных первого объема ремонтах на интервале времени от проведения КВР до списания по базовому варианту. После приобретения нового вагона в базовом варианте считаем, что будет приобретаться вагон повышенной комфортности. Общие затраты

$$\mathcal{Z}_{\text{общ}} = \mathcal{Z}_1 + \mathcal{Z}_2.$$

На рисунке 1 приведена структура ремонтных циклов для базового и предлагаемого вариантов, а также временная схема появления эффекта и затрат при КВР.

Приведенная процедура проведения КВР с продлением срока службы предусматривает существенный объем работ по усилению металлоконструкции вагона или замену на новые элементы, причем реализуется для вагонов, нормативный срок службы которых еще не истек.

Коллективом отраслевой научно-исследовательской лаборатории «Технические и технологические оценки ресурса единиц подвижного состава» выполнен комплекс исследований по оценке остаточного ресурса базовых элементов несущих конструкций пассажирских вагонов постройки Тверского вагоностроительного завода после их длительной эксплуатации (свыше полуторного назначенного срока службы). Отличительной особенностью технологии оценки остаточного ресурса является использование в качестве исходных данных значений фактических механических характеристик материала после длительной эксплуатации вагона и результатов экспериментальных натурных исследований напряженного состояния металлоконструкции в контрольных точках при различных характерных режимах нагружения. Расчет остаточного ресурса выполнен по методике, изложенной в [3] с учетом допущений. По результатам расчетно-экспериментальной оценки долговечности по критерию усталостной прочности опытного образца вагона после 45 лет эксплуатации сделано заключение, что металлическая несущая конструкция обладает остаточным ресурсом не менее 13 лет эксплуатации. Причем каких-либо дополнительных существенных изменений и усилений конструкции базовых элементов не требуется.

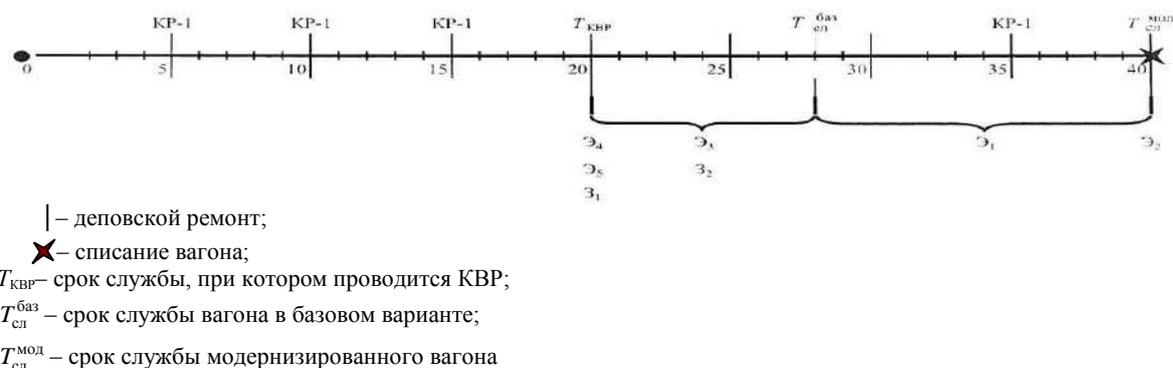


Рисунок 1 – Структура ремонтных циклов и временная схема появления эффекта и затрат

Следует отметить, что проведение модернизации в рамках капитально-восстановительного ремонта с продлением срока службы предусматривает выполнение требований п. 10 ст. 6 ТР ТС 001 [1], что влечет за собой существенные финансовые затраты на испытания и сертификацию в объеме, аналогичном новой продукции. В соответствии с [2] под модернизацией железнодорожного подвижного состава с продлением срока службы подразумевается комплекс работ по улучшению технико-экономических характеристик существующего железнодорожного подвижного состава путем внесения в базовую конструкцию изменений с целью продления срока службы, чего в соответствии с вышесказанным не потребуется.

Таким образом, повышение эффективности использования пассажирских вагонов заключается в устранении их морального износа: изменении и обновлении интерьера внутри вагона в соответствии с современными требованиями и потребностями пассажиров; повышении эргономических качеств и прочее. Указанные работы могут быть выполнены в рамках плановых видов ремонта. При должной проработке вопроса такой подвижной состав может оказаться в ряде случаев конкурентом современным электро- и дизель-поездам, курсирующим на достаточно дальние расстояния и имеющим только места для сидения.

#### Список литературы

- 1 ТР ТС 001/2011. О безопасности железнодорожного подвижного состава : утв. Решением комиссии Таможенного союза от 15 июня 2011 г. № 70. – Минск : БелГИСС.
- 2 Бугаева, Е. В. Интегрированная поддержка жизненного цикла технических средств железнодорожного транспорта : [монография] / Е. В. Бугаева. – Гомель : БелГУТ, 2011. – 197 с.
- 3 Путято, А. В. Прогнозирование остаточного ресурса вагона хоппер-дозатора после длительной эксплуатации с учетом фактических физико-химических характеристик материала несущей конструкции / А. В. Путято, Е. Н. Коновалов, П. М. Афанасьев // Механика машин, механизмов и материалов. – 2016. – № 1(34). – С. 26–35.

## **РОБОТИЗАЦИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ**

*В. В. БУРЧЕНКОВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

*И. В. АСАДЧИЙ*

*Белорусская железная дорога, г. Минск*

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 роботизированного осмотра и ремонта.

Автоматическое выявление дефектов деталей и узлов ходовой части вагонов на ходу поезда может выполняться с помощью системы автоматического обмера колесных пар Комплекс-2, системы обнаружения дефектов колес по поверхности катания LASCA, системы автоматического обмера колес АСОК, многофункционального комплекса технических средств КТСМ-02. Эти информационно-измерительные системы располагаются, в основном, перед пунктами технического обслуживания ПТО крупных узловых станций и обеспечивают осмотрщиков и ремонтников грузовых вагонов предварительной информацией о выявленных дефектах.

В настоящее время железные дороги ряда стран уделяют повышенное внимание внедрению роботизированных технологий технического осмотра и ремонта подвижного состава. Осмотр вагонов является важнейшим элементом для обеспечения безопасности перевозочного процесса. Актуальной проблемой остается обслуживание и предрейсовый осмотр составов грузовых вагонов. Осмотрщик, осуществляющий контроль вагонов, несет большую ответственность за их исправное состояние. Из-за существенного увеличения числа вагонов в составе (до 70 и более) объем работы увеличивается.

Внедрение роботов для осмотра ходовой части вагона обеспечит более быстрое выявление и локализацию дефектов. Для решения проблемы после соответствующего перепрограммирования может быть использована передвижная платформа робота фирмы Digital Vanguard. Этот робот снабжен манипулятором и телескопической «роборукой», а также набором вспомогательного оборудования, которое можно преобразовать для диагностирования ходовой части вагона. Стандартная комплектация предложенного робота-осмотрщика включает в себя следующие составляющие: беспроводный цифровой робот на гусеничном ходу; 2G командная консоль; Bluetooth-манипулятор; USB-гарнитуру и контроллер Playstation; USB-клавиатуру и концентратор; Mil-Std питание; зарядное устройство с двумя пакетами 24V батарей; антенна робота KIT со штативом.

Особенностями данного робота являются: порт для дополнительного зондирования и обнаружения устройств, допускающий одновременное использование нескольких функций; телескопическая и шарнирная «рука» с 6 осями движения; возможность передвижения по лестнице; три стандартные видеокамеры и инфракрасный излучатель для работы в условиях недостаточной освещенности; регулирование скорости движения робототехнической платформы; возможность многократного увеличения изображений видеокамер и аудиозапись сообщений осмотрщика. Дисплей пульта имеет характеристики: 39.6 см (15.6") Full HD 1080p 1920×1080 800 NIT, что позволяет использовать его даже при солнечном освещении. Пульт соответствует IP65, MIL-STD 810G, MIL-STD-461F, ANSI/ISA 12.12.01.

С помощью видеокамер высокого разрешения, установленных на манипуляторе, данная модель позволит осмотрщику определить дефекты тормозных колодок, боковых рам тележек, букс, центрального рессорного подвешивания, гасителей колебаний, подпятников, буксового рессорного подвешивания. Размещение на дополнительной консоли лазерного профиломера позволит заменить трудозатратные операции с абсолютным шаблоном, а лазерная измерительная рулетка упрощит операции с фиксацией линейных размеров.

Особое внимание стоит уделить дополнению платформы цифровыми камерами Vanguard Infrared. Установка на гибкий, дистанционно управляемый кронштейн таких инфракрасных камер отлично подойдет для осмотра ходовой части в труднодоступных местах, особенно в условиях недостаточной освещенности.

В целях расширения диагностических функций в конструкцию робота добавлен магнитопорошковый дефектоскоп с компактным намагничивающим устройством. Прибор позволит выявлять микротрещины в колёсных парах вагона, что расширит возможности применения робота. Также предполагается использовать ультразвуковой дефектоскоп для обнаружения дефектов в деталях из различных металлических и неметаллических материалов методами неразрушающего контроля.

Применение технических решений на основе крепления дополнительных датчиков на руке манипулятора подтвердило принципиальную пригодность этой технологии для мониторинга технического состояния подвижного состава.

Специально разработанные алгоритмы управления манипулятором позволяют обнаруживать и классифицировать дефекты в недоступных для осмотра местах. Благодаря этому измеряемые сигналы могут быть преобразованы в полезную информацию без выкатки тележек.

Посредством монтажа нескольких консолей на одной платформе очередность действий осматривщика преобразуется в серию последовательно выполняемых манипуляций на пульте управления робототехнического комплекса. Для этого необходимо выполнить минимальные технические мероприятия. Поскольку посадочные места для дополнительных приборов предусмотрены на этапе резервирования опций для расширения функциональных свойств, появляется возможность повысить качество технического осмотра подвижного состава. Становится доступным контроль излома оси колесной пары, осевой шейки или внутренней стороны колеса, контроль дефектов поверхности катания колес подвижного состава, фиксация изломов боковой рамы вагонной тележки, обнаружение трещин в автосцепных устройствах, проверка исправности рычажной тормозной системы и воздухораспределителей. Следует отметить, что робот-осмотрщик позволяет как осуществлять мониторинг технического состояния отдельных узлов и деталей грузовых вагонов, так и собирать информацию о выявленных дефектах в автоматическом режиме с передачей данных результатов контроля в ПТО в режиме online.

Определение порядкового номера вагона с дефектной тележкой, колесной парой и номера оси в вагоне возможно при использовании индуктивных отметчиков счета осей (датчиков колес подвижного состава). Использование счетчиков импульсов, функционирующих по специальным алгоритмам, дает возможность осуществлять счет физических вагонов независимо от числа осей в них, а также фиксировать отдельные оси в вагоне. Благодаря объединению и совмещению данных по дефектам и системы счета осей в проверяемом составе реализуется возможность конкретной локализации вагонной оси или боковой рамы тележки с дефектом.

Заслуживает внимания опыт компании DANOBAT по созданию полностью автоматического цифрового производства по обслуживанию и ремонту грузовых полувагонов, используемых для перевозки ценных минеральных руд. Комплекс роботизированных установок имеет возможность ремонтировать вагон каждые 28 минут и является самым передовым в мире, полностью автоматизированным решением для технического обслуживания поездов. Разработаны полностью автоматизированные решения для въезда, разборки, ремонта и повторной сборки вагонов без какого-либо вмешательства человека, кроме программирования, технического обслуживания и проверки. Производственная линия разделена на четыре отдельные зоны, каждая из которых оборудована собственными средствами и автоматическими системами обработки для обслуживания кузовов полувагонов, тележек и колесных пар.

**Заключение.** В представленном исследовании предложена модель робототехнической системы для осмотра ходовой части вагона, выполняющей ряд функций осматривщика, определены параметры и рабочие характеристики робота. Данная модель заменяет участие человека в ряде монотонных, трудоемких операций осмотра ходовой части вагона, помогает экономить материалы и время. Достоинством предложенной технологии является многократное увеличение числа измерений дефектов подвижного состава, в отличие от ручного осмотра, осуществляющего в большинстве случаев однократное измерение в дискретных точках ходовой части вагонов. Робот-осмотрщик на 40–50 % сокращает время осмотра состава вагонов и снижает потребность в отдельных приспособлениях и инструментах для контроля технического состояния подвижного состава.

## О ВЛИЯНИИ РАСПОЛОЖЕНИЯ ОПОР НА НИЗШУЮ ЧАСТОТУ ИЗГИБНЫХ КОЛЕБАНИЙ В БАЛОЧНЫХ МОДЕЛЯХ КУЗОВА ВАГОНА

В. В. ВАСИЛЕВСКИЙ, А. Н. СКАЧКОВ, А. А. ЮХНЕВСКИЙ  
АО НО «Тверской институт вагоностроения», Российская Федерация

В работе [1] при рассмотрении динамической модели кузова вагона электропоезда в виде балки Бернулли – Эйлера с эквивалентной изгибной жесткостью  $D = EJ$  и на абсолютно жестких опорах сделан вывод о том, что увеличение базы кузова  $l_6$  в случае консолей одинаковой длины приводит к повышению низшей частоты изгибных колебаний. Такой результат был получен при сравнении низших частот для двух значений относительной длины базы  $l_6 / l$  ( $l$  – длина кузова), равных 0,64 и 0,7. В общем случае этот вывод неверен. Рассматривая модель в виде балки с одинаковыми консолями  $l_k$  и постоянной погонной массой  $\mu$ , можно получить частотное уравнение в виде

$$\left[ kv_2 + \varepsilon v_1 + v_3 \right] \left[ kv_2 + \varepsilon v_1 - v_3 \right] = 0, \quad (1)$$

где  $e = l_k / l$ ,  $\alpha^4 = \mu \omega^2 l^4 / D$ ;  $\beta = \alpha e$ ;  $\gamma = \alpha - 2\beta$ ;  $k = \sin \beta ch \beta - \cos \beta sh \beta$ ;

$$v_1 = \cos \gamma sh \gamma - \sin \gamma ch \gamma; \quad v_2 = 1 - \cos \gamma ch \gamma; \quad v_3 = sh \gamma - \sin \gamma; \quad \varepsilon = 1 + \cos \beta ch \beta.$$

Первый множитель (1) соответствует симметричным формам колебаний, второй – кососимметричным. Зависимость частотного параметра  $\alpha$  от безразмерной длины консоли  $e$  показана

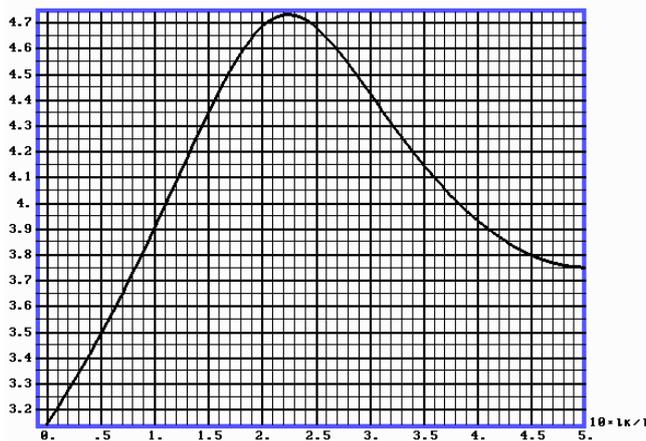


Рисунок 1 – Зависимость частотного параметра от безразмерной длины консоли

на рисунке 1. Точки, использованные в работе [1], лежат правее экстремума  $e = 0,2245$ , который соответствует безразмерному параметру  $\alpha l \approx 4,73004$ , являющемуся низшим корнем частотного уравнения для безопорной схемы:  $\cos \alpha l ch \alpha l - 1 = 0$ . То есть при  $e = 0,2245$  опоры оказываются в узлах свободной балки и перестают «мешать» ей проявлять свои экстремальные динамические качества.

Используя (1), можно построить аппроксимацию, связывающую частотный параметр  $\alpha$  со статическим прогибом от распределенной нагрузки  $\mu g$  собственного веса ( $g$  – ускорение свободного падения) концевой (правой или левой) точки:

$$V_1 = \frac{\mu g l^4}{24D} 3e^4 + 6e^3 \eta - e \eta^3 \quad (2)$$

и середины схемы:

$$V_2 = \frac{\mu g l^4}{384D} 5\eta^4 - 24e^2 \eta^2; \quad \eta = 1 - 2e. \quad (3)$$

Если ввести безразмерные параметры

$$p = \left[ 3e + 6\eta e^2 - \eta^3 \right] e, \quad g = 5\eta^2 - 24e^2 \eta^2, \quad (4)$$

то из (2), (3) получится

$$p = \frac{24V_1 D}{\mu g l^4}; \quad g = \frac{384V_2 D}{\mu g l^4}. \quad (5)$$

Введя функции

$$\varphi_i = a_{i1} + a_{i2} q + a_{i3} q^2 + a_{i4} q^3, \quad (6)$$

построим аппроксимацию для  $\alpha$  в виде  $\alpha(p, q) = \sum_{i=0}^k \varphi_i p^i$ . (7)

Произведя тем или иным образом упорядочение неизвестных коэффициентов  $a_{ij}$  из (6), построим из них вектор  $\bar{a}$ . Обозначив соответствующий этому упорядочению вектор сомножителей  $p^i q^j$  ( $i = \overline{0, k}, j = \overline{1, 4}$ ) через  $\bar{s}$ , потребуем

$$\sum_n \alpha_n - \bar{s}_n^* \bar{a}^2 \rightarrow \min, \quad (8)$$

где знак (\*) обозначает транспонирование, а суммирование ведется по всем длинам консолей для  $e = \overline{0, 5}$ . Решая (8), найдем  $\bar{a}$ :  $\bar{a} = M^{-1} \sum_n \alpha_n \bar{s}_n$ ,  $M = \sum_n \bar{s}_n \bar{s}_n^*$ .

Вычисления показали, что матрица M имеет квазигильбертову структуру, и аппроксимацию (7) не удастся получить уже при  $k = 4$ . Однако, уже для  $k = 3$  погрешность (7) лежит в пределах от -0,08 % до 0,04 %. Решения (7):  $\alpha_1 = \varphi_0 q$ ,  $\alpha_2 = \varphi_1 q + p\varphi_2 q$ ,  $\alpha_3 = \varphi_3 q + p\varphi_4 q + p^2\varphi_5 q$  показано в таблице 1.

Таблица 1 – Коэффициенты  $a_{ij}$  функций  $\varphi_i$

$i$	$a_{i1}$	$a_{i2}$	$a_{i3}$	$a_{i4}$	Погрешность, %
0	2,827443	17,21995	-51,60508	40,09381	-2,2; 5,3
1	3,108198	-10,12358	64,32363	18,04687	-0,24; 0,53
2	-21,19289	78,35605	-1263,904	1846,655	
3	3,140542	56,70123	271,2189	-1971,742	-0,08; 0,04
4	49,91955	-5223,928	33748,76	-32857,34	
5	-5828,617	-899,0873	-26059,94	61266,13	

На рисунке 2 сплошными линиями показаны зависимости  $\alpha(p)$  и  $\alpha(q)$  при точном решении, а кружочками – для аппроксимации  $\alpha_3(p, q)$ .

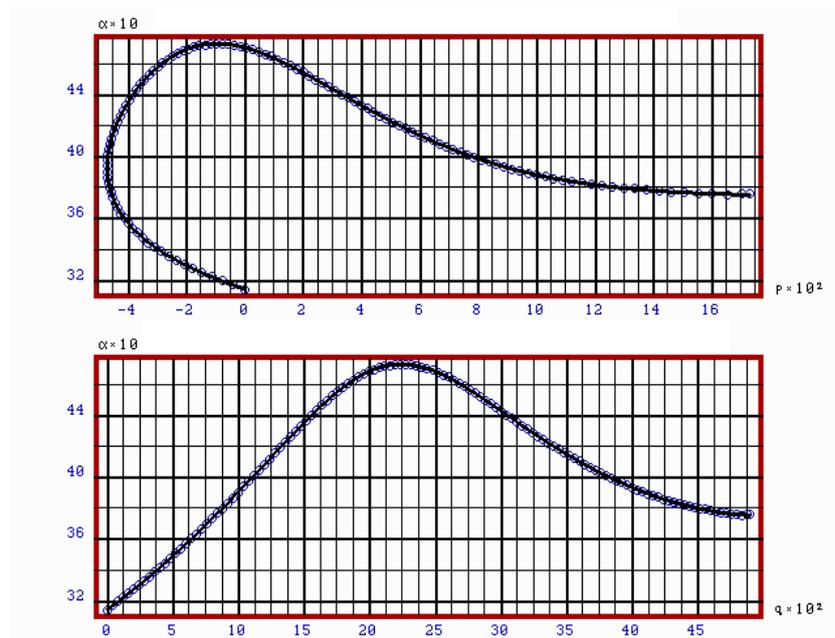


Рисунок 2 – Зависимости  $\alpha(p)$  и  $\alpha(q)$

#### Список литературы

- 1 Гучинский, В. В. Расчет частот собственных изгибных колебаний кузовов вагонов электропоезда с учетом податливости опор / В. В. Гучинский // Вестник УрГУПС. – 2019. – № 2(42). – С. 4–11.

## ОБ ОЦЕНКАХ УСТАЛОСТНОЙ ПРОЧНОСТИ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ПАССАЖИРСКИХ ВАГОНОВ ЛОКОМОТИВНОЙ ТЯГИ

*В. В. ВАСИЛЕВСКИЙ, А. А. ЮХНЕВСКИЙ, С. Л. САМОШКИН  
АО НО «Тверской институт вагоностроения», Российская Федерация*

В работе [1] обсуждаются вопросы теоретической и экспериментальной оценок усталостной прочности (УП) несущих конструкций пассажирских вагонов локомотивной тяги [1]. Состоит из двух самостоятельных частей. Первая из них посвящена описанию достоинств методов, применяемых при оценке УП объектов МВПС [2, 3] и критике соответствующих методов, используемых в пассажирском вагоностроении [4, 5]. Во второй части формулируются задачи теоретико-экспериментального и методологического характера, способные, по мнению авторов [1], улучшить качество оценок УП в пассажирском вагоностроении. В данной работе анализ из [1] дополняется, на наш взгляд, важными соображениями.

1 Нельзя не согласиться с утверждением [1] о том, что результаты усталостных испытаний (УИ) имеют значительное статистическое рассеяние. В связи с этим указания п. 5.2 и Г.1 из [3] об УИ всего одного образца являются менее предпочтительными, чем указания пп. 8.4.5, 8.4.6 и 9.5.2 из [5], устанавливающие правила назначения количества образцов для УИ в зависимости от требований к точности результатов. В то же время говорить о точности результатов и об их разбросе при УИ одного образца не имеет смысла.

2 Многократно повторяемое утверждение об отсутствии должного обоснования при назначении коэффициента  $[n]$  запаса УП неправильно: в п. 14.1 из [4] перечислены интервалы  $[n]$  в зависимости от количества информации об оцениваемой конструкции. Метод, указанный в [4] (называемый табличным), в отличие от дифференциального) является в настоящее время общепринятым и используется, например, при оценке УП специального подвижного состава [6]. Если обратиться к п. 8.2.3 из [2], где коэффициент концентрации  $K$  получается перемножением пяти частных коэффициентов, то окажется  $K = [0,616; 1,68]$ , что, на наш взгляд, является довольно широким диапазоном, требующим серьезного обоснования.

3 Назначение весьма высоких  $[n]$  (2 и 2,2 в п. 5.5 из [2]) для конструкций тележек вообще, без всякого учёта индивидуальных характеристик конструкции, материалов, особенностей эксплуатации, является, на наш взгляд, неудачными и не имеющими должного обоснования (см. п. 4.6 в [4]).

4 Указания об обязательности испытаний пустых и гружённых вагонов как на полигонах, так и на действующих линиях, является избыточным и весьма затратным. Указания пп. 4.1.4 и 5.3 из [5] устанавливают гибкие требования, учитывающие конкретную ситуацию для конкретного испытуемого объекта.

5 Утверждение [1] о том, что в [2] для МВПС не допускается превышение  $\sigma_{-1\partial}$ , неверно. На самом деле формулы (8.6), (8.9) из [2] изначально предполагали наличие  $\sigma_{ai} > \sigma_{-1\partial}$ . Рассмотрим

$$\text{уравнение (8.6) из [2]: } N_{\text{сум}} / N_G = a_p \left( n_p^m \sum_{\eta_i \geq 1/n_p} \eta_i^m t_i \right)^{-1}; \quad \eta_i = \sigma_{ai} / \sigma_{a\text{max}}, \quad (1)$$

которое относится к случаю наличия правого горизонтального участка на кривой Велера [7, с. 12, 92]:  $N_i \sigma_{ai}^m = N_G \sigma_{-1\partial}^m$ , при  $\sigma_{ai} \geq \sigma_{-1\partial}$ ;  $N_i = \infty$ ,  $\sigma_{ai} < \sigma_{-1\partial}$ ;

В этом случае согласно скорректированной гипотезе линейного суммирования повреждений

$$\text{(ГЛСП) [7, С. 94, С. 181]: } N_{\text{сум}} = a_p N_G \left[ \sum_{\sigma_{ai} \geq \sigma_{-1\partial}} \sigma_{ai} / \sigma_{-1\partial}^m t_i \right]^{-1}. \quad (3)$$

В правую часть (3) входят случайные величины  $N_G$ ,  $\sigma_{ai}$ ,  $\sigma_{-1\partial}$ ,  $t_i$ ,  $m$ , характеризуемые своими функциями распределения. Чтобы найти функцию распределения  $N_{\text{сум}}$ , применяют метод Монте-Карло, моделируя на компьютере распределение аргументов правой части (3) и получая, таким образом, случайные значения  $N_{\text{сум}}$  [8, стр. 182]. Эта процедура требует проведения большого количества дорогостоящих экспериментов и достаточно дорогого моделирования многомерного (по крайней мере пятимерного) случайного процесса. Поэтому чаще всего модернизируют (3) для «ручного» его использования, руководствуясь тем, что в случае многоциклового усталости  $\sigma_{ai} < \sigma_{-1\partial}$ . По этой

причине в знаменателе (3) не остается слагаемых и вероятность разрушения для конечных выборок определяют по случайным вариациям  $\sigma_{ai}$  и  $\sigma_{-1\partial}$  [8, С. 182]. Простой, чисто вычислительный прием обойти это ограничение – сменить правило суммирования в правой части (3), например, принять  $\sigma_{ai} > \sigma_{-1\partial}$  [6, п. 8.3.3]. Однако формула (8.6) из [2] получается с помощью другого, также чисто вычислительного приема [8, С. 182]. Разделив числитель и знаменатель (3) на  $\sigma_{amax}^m$  и обозначив

$$n_p = \frac{\sigma_{amax}}{\sigma_{-1\partial}}, \quad (4)$$

получим (3) в виде (1), что совпадает с (8.6) из [2]. Таким образом, (8.6) из [2] предполагает существование  $\sigma_{ai} \geq \sigma_{-1\partial}$ , вопреки утверждениям [1]. Следует также отметить, что методика [2] с точностью до обозначений используется при расчёте УП СПС в [6], причем там приведена как исходная формула (3), так и преобразованная формула (1) с указанием, что она получена из (3) путем введения коэффициента предельного нагружения (4). Помимо этого условия  $\sigma_{ai} > \sigma_{-1\partial}$  используется также п. 8.3.3 из [2], где в примечании 1 записана откорректированная ГЛСП:

$$\sum_{\sigma_c \geq \sigma_{-1\partial}} \frac{n_i}{N_i} = a_p.$$

6 Согласно п. 6 приложения 2 из [9] оценка среднего ресурса  $N_{cp}$  с доверительной вероятностью  $\beta$  приводит к ошибке  $\varepsilon$ :  $(1 - \varepsilon)\bar{N} \leq N_{cp} \leq (1 + \varepsilon)\bar{N}$ ,  $\bar{N} = \frac{1}{n} \sum_i N_i$ . По номограмме п. 4 в [9] можно установить, что при испытании одной детали, зависимость  $(\varepsilon, \beta)$  приблизительно прямая, проходящая через точки  $(\varepsilon_1, \beta_1)$ ;  $(\varepsilon_2, \beta_2) = (0,5, 78 \%)$ , т. е. минимальная ошибка для  $N_{cp}$  не может быть менее 27,5 %. Согласно п. 2 приложения 2 из [9] высшая группа точности соответствует  $\varepsilon = [10; 20] \%$ . В то же время, согласно п. 8.3.7 из [2], вероятность разрушения при оценке долговечности рамы тележки принимается равной 0,01 %, что совершенно нереально из-за необходимости оценивать значения  $a_p$  из формул (8.6) и (8.9), а также коэффициентов вариации  $\vartheta_e$  и  $\vartheta_c$  в формуле (8.7) из [2]. Кроме того, определение  $a_p$ ,  $\vartheta_e$ ,  $\vartheta_c$  требует огромных объемов испытаний, на порядки превышающих объем для получения кривой Велера по п. 9.5.2 из [5].

#### Список литературы

- 1 Пути повышения прочности несущих конструкций экипажей несамоходных пассажирских вагонов / В. В. Кочергин [и др.] // Техника железных дорог. – 2020. – № 1(49). – С. 44–49.
- 2 ГОСТ 33796-2016 Моторвагонный подвижной состав. Требования к прочности и динамическим качествам. – Введен впервые 2017–01–04. – М. : Стандартинформ, 2016. – 44 с.
- 3 ГОСТ Р 55496–2013 Моторвагонный подвижной состав. Методика динамико-прочностных испытаний. – Введен впервые 2014–01–03. – М. : Стандартинформ, 2014. – 48 с.
- 4 ГОСТ 34093–2017 Вагоны пассажирские локомотивной тяги. Требования к прочности и динамическим качествам. – Введен впервые 2018–01–01. – М. : Стандартинформ, 2017. – 42 с.
- 5 ГОСТ 33788–2016 Вагоны грузовые и пассажирские. Методы испытаний на прочность и динамические качества. – Введен впервые 2017–01–05. – М. : Стандартинформ, 2016. – 41 с.
- 6 ГОСТ 31846–2012 Специальный подвижной состав. Требования к прочности несущих конструкций и динамическим качествам. – Введен впервые 2014–01–01. – М. : Стандартинформ, 2013. – 67 с.
- 7 **Когаев, В. П.** Прочность и износостойкость деталей машин / В. П. Когаев, Ю. Н. Дроздов. – М. : Высш. шк. – 1991. – 319 с.
- 8 **Когаев, В. П.** Расчеты деталей машин и конструкций на прочность и долговечность / В. П. Когаев, Н. А. Махутов, А. П. Гусенков. – М. : Машиностроение. – 1985. – 224 с.
- 9 ГОСТ 25.50785 Расчеты и испытания на прочность при эксплуатационных режимах нагружения. Общие требования. – М. : Стандартинформ, 2005.

УДК 629.4.027.3

## ИССЛЕДОВАНИЯ ЖЕСТКОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ШАРНИРОВ ШАРОВЫХ ЛЕМНИСКАТНОГО МЕХАНИЗМА СВЯЗИ ТЕЛЕЖКИ С КУЗОВОМ ЭЛЕКТРОПОЕЗДА

*А. О. ВОРОБЬЕВ, А. А. ХОМЕНКО*

*АО НО «Тверской институт вагоностроения», Российская Федерация*

Исследована возможность применения резинометаллических шарниров в конструкции лемнискатного механизма тележки электропоезда.

В конструкции электропоездов производства Открытого акционерного общества «Тверской вагоностроительный завод» (ОАО «ТВЗ») для связи тележки с кузовом вагона используется лемнискатный механизм, прочность и жесткостные параметры которого определяют безопасность движения вагона в целом. Составными частями этого механизма являются резинометаллические шаровые шарниры, смягчающие динамические нагрузки, передаваемые от ходовой части на кузов вагона. Одним из изготовителей шарниров является предприятие общество с ограниченной ответственностью «Шахтинский экспериментальный завод» г. Шахты (ООО «ШЭЗ»). Жесткостные характеристики шарниров влияют на прочность элементов лемнискатного механизма и величину нагрузок, передаваемых от ходовых частей на кузов вагона. Общий вид шарового шарнира приведен на рисунке 1.

Испытания шарнира шарового проводились АО НО «Тверской институт вагоностроения» (АО НО «ТИВ») по рабочей программе-методике контрольных испытаний шарниров шаровых, представленной заказчиком. Место проведения работ – участок стендовых испытаний АО НО «ТИВ».

Испытаниям подвергались несколько вариантов шарниров производства ООО «ШЭЗ», отличающихся технологией изготовления и, соответственно, жесткостными параметрами, и один образец шарнира производства GMT (Германия). Перед испытаниями шаровые шарниры запрессовывались в толстостенную втулку для исключения влияния деформации наружной втулки самого шарнира на результаты испытаний.

При испытаниях шарниров определялись четыре вида жесткостей шарнира:

– радиальная или продольная жесткость;

– аксиальная или осевая жесткость;

– карданная жесткость шарнира;

– торсионная или угловая жесткость.

В соответствии с техническими требованиями к изделию «Шарнир шаровой резинометаллический», указанными в чертеже на изделие, установлены следующие допускаемые значения жесткостей:

– радиальная –  $C_r = 120 \pm 18$  кН/мм;

– осевая –  $C_a = 8,7 \pm 1,3$  кН/мм;

– карданная –  $C_k = 154 \pm 31$  Н·м/град;

– торсионная –  $C_t = 178 \pm 36$  Н·м/град.

Испытания по определению радиальной и аксиальной жесткостей проводились на испытательной машине ЦД-40, карданной и торсионной жесткостей – на специальных стендах, смонтированных на базе пазовых плит. Нагружение шаровых шарниров при определении карданной и торсионной жест-

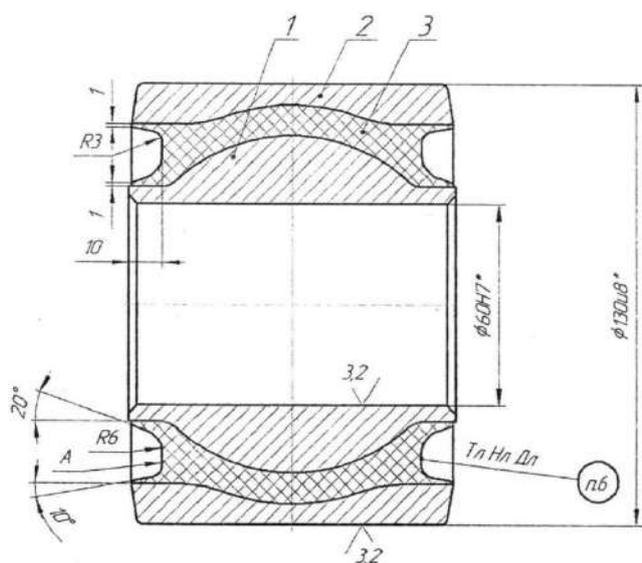


Рисунок 1 – Общий вид шарового шарнира

костей осуществлялось через систему рычагов с использованием специальных приспособлений.

Контроль величин нагрузок осуществляется с помощью датчиков силоизмерительных тензорезисторных, величины деформаций (относительных перемещений элементов шарниров) – с помощью индуктивных датчиков перемещения. Климатические условия проведения испытаний контролировались термогигрометром ИВА-6Н-Д.

Используемые при испытаниях средства измерений поверены в установленном порядке.

Для определения параметров жесткости на испытуемый образец прикладывалась соответствующая нагрузка (ступенчато от нулевого значения до максимального) и измерялось перемещение или угловое отклонение наружной втулки шарнира относительно внутренней.

Для определения жесткости по каждому образцу строились графики «нагружение – разгрузка» и определялись средние значения перемещений от фиксированной нагрузки. Жесткость шарового шарнира определялась как соотношение нагрузки к перемещению. Полученные результаты испытаний оформлялись в табличном виде. При анализе результатов они сравнивались с допускаемыми значениями, установленными в соответствии с техническими требованиями чертежа на испытуемые образцы.

Испытания шаровых шарниров проводились в помещении при нормальных климатических условиях окружающей среды:

- температура окружающего воздуха – от плюс 22 до плюс 29 °С;
- относительная влажность воздуха – от 25 до 48 %;
- атмосферное давление – от 970 до 1012 гПа.

Перед испытаниями образцы выдерживались в этих климатических условиях не менее суток.

Как результат испытаний в таблице 1 приведены данные по двум вариантам шарниров с характеристиками, наиболее близкими к нормативным значениям.

Таблица 1 – Результаты жесткостных испытаний шаровых шарниров

Номер пункта, наименование контролируемого показателя, единица измерения в соответствии с чертежом	Нормативное значение показателя продукции, в соответствии с чертежом	Фактическое значение контролируемого показателя, полученное по результатам испытаний		
		номер образца		
		1	2	фирма GMT (Германия)
Жесткость: радиальная, кН/мм	От 102 до 138	110	114	100
аксиальная, кН/мм	« 7,4 « 10	10,1	12,1	10,4
карданная, Н·м/град	« 123 « 185	211	212	181
торсионная, Н·м/град	« 142 « 214	235	202	240

По результатам проведенных жесткостных испытаний резинометаллических шаровых шарниров производства ООО «ШЭЗ», используемых в конструкции лемнискатного механизма тележки электропоезда, можно сделать вывод, что отклонения жесткостных параметров от требований чертежа не превышают 20 %. Следовательно, их можно использовать для установки в лемнискатный механизм тележки.

Для подтверждения возможности применения шаровых шарниров, изготовленных заказчиком, была дана рекомендация о проведении испытаний лемнискатного механизма в сборе или тележки с установленной на ней лемнискатным механизмом.

УДК 629.4

## ИСПЫТАНИЯ КРЕСЕЛ ДЛЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

*А. О. ВОРОБЬЕВ, А. А. ХОМЕНКО*

*АО НО «Тверской институт вагоностроения», Российская Федерация*

Специалистами АО НО «Тверской институт вагоностроения» (АО НО «ТИВ») были проведены испытания кресел для железнодорожного подвижного состава различных изготовителей. Испытательный центр АО НО «ТИВ» аккредитован на проведение всего комплекса испытаний как кресел машиниста, так и пассажирских кресел. Прочностные испытания и определение функциональной работоспособности кресел проводятся на участке стендовых испытаний АО НО «ТИВ» с использованием специальной оснастки, проектируемой после анализа технической документации и осмотра кресла.

Испытуемые кресла делятся на две основные группы: кресла машиниста (оператора) и кресла пассажирские.

Кресла машиниста предназначены для установки на рабочие места локомотивной бригады в кабинах тягового, моторвагонного и специального подвижного состава железных дорог. Кресла должны соответствовать требованиям нормативной документации по таким параметрам, как габарит и установочные размеры, масса, перемещение и регулировка узлов и деталей кресел, сжатие смягчающей прокладки для сидения и спинки, прочность элементов кресла, отсутствие острых углов, параметрам вибрационной прочности и коэффициента вибропередачи, напряженности электростатического поля, а также санитарно-химическим показателям и требованиям пожарной безопасности.

Для кресел машиниста руководящим документом является [1], введенный вместо [2]. В новом документе произошли некоторые изменения. Например, в п. 4.1.10, который отвечает за жесткость смягчающей прокладки для сидения и спинки. Сжатие смягчающих прокладок должно находиться в обновленных пределах, указанных на диаграммах приложения А [1], а также нагружение теперь осуществляется до 700 Н. Для примера приведем диаграммы сжатия смягчающей прокладки для сидения и спинки производства ООО «Агрегат», полученные по результатам испытаний (рисунки 1, 2).

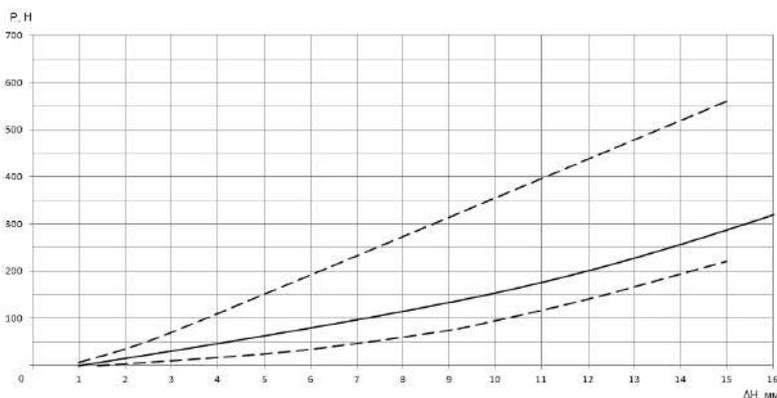


Рисунок 1 – Диаграмма сжатия смягчающей прокладки для сиденья (штриховыми линиями указаны нормативные пределы по [1])

Кресла пассажирские предназначены для оборудования пассажирских вагонов локомотивной тяги и салонов моторвагонного подвижного состава. В соответствии с геометрическими параметрами, наличием регулировок положения элементов кресла и оборудованием элементов кресла различными опциями для удобства пассажиров, такими как откидной столик, подставка для ног и карман для печатной продукции, а также в зависимости от дальности следования вагона кресла пассажирские делятся на I, II и III класс. По конструктивному исполнению кресла пассажирские подразделяют на одноместные, двухместные, трёхместные и др.

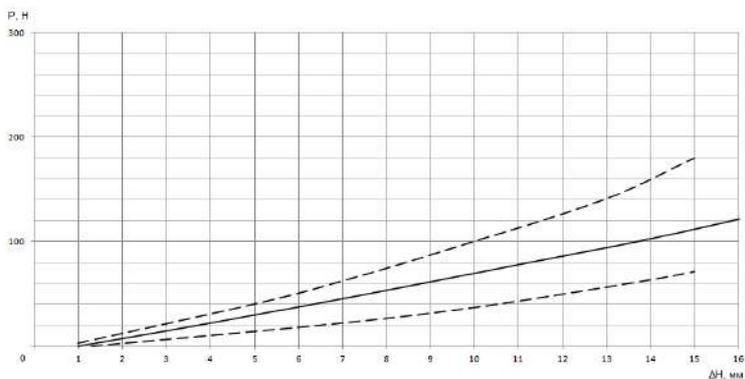


Рисунок 2 – Диаграмма сжатия смягчающей прокладки для спинки (штриховыми линиями указаны нормативные пределы по [1])

Для кресел пассажирских нормативным документом является [3], введенный вместо [4]. Данный документ содержит в себе большое количество требований, во многом аналогичных требованиям к креслу машиниста. Например, к геометрическим размерам, регулировкам элементов кресла, прочности элементов кресла, отсутствию острых углов, вибрационной прочности и определению коэффициента вибропередачи, соответствию напряженности электростатического поля и другим.

Для вибрационных испытаний используется вибростенд с максимальной массой испытуемых изделий до 300 кг. При определении санитарно-химических показателей используется климатическая камера. Измерения напряженности электростатического поля проводят измерителем параметров электростатического поля ИПЭП-1.

Результаты испытаний заносят в бланк регистрации первичных данных, затем обрабатывают и анализируют. По результатам испытаний оформляется протокол.

Специалистами АО НО «ТИВ» были проведены испытания кресел пассажирских практически всех классов и конструктивных исполнений, изготовленных различными предприятиями. Большинство из них соответствовали требованиям нормативной документации. Наибольшие отклонения выявлены при проведении вибрационных испытаний и при определении санитарно-химических показателей, которые зависят, прежде всего, от качества применяемых отделочных материалов.

При проведении испытаний типового ряда как кресел машиниста, так и пассажирских кресел для сокращения минимально необходимого объема испытаний принималось решение о выборе типовых представителей, который осуществлялся с учетом максимальной нагруженности и функциональности (наличие максимального количества регулируемых и подвижных элементов, в том числе столиков,

подножек и др.). Кроме самих испытаний приходится решать вопросы по утилизации испытуемых образцов кресел, так как в результате испытаний кресла приходят в состояние, в котором их эксплуатация невозможна.

#### Список литературы

- 1 ГОСТ 33330–2015. Кресло машиниста (оператора) железнодорожного подвижного состава. Технические условия. – Введ. 2016-01-03. – М. : Стандартинформ, 2016. – 19 с.
- 2 ГОСТ Р 54962–2012. Кресло машиниста (оператора) железнодорожного подвижного состава. Технические условия. – Введ. 2012–29–08. – М. : Стандартинформ, 2013. – 19 с.
- 3 ГОСТ 34013–2016. Кресло пассажирское моторвагонного подвижного состава и пассажирских вагонов локомотивной тяги. Общие технические условия – Введ. 2018–01–02. – М. : Стандартинформ, 2017. – 27 с.
- 4 ГОСТ Р 55995–2014. Кресло пассажирское моторвагонного подвижного состава и пассажирских вагонов локомотивной тяги. Общие технические условия – Введ. 2015–01–01. – М. : Стандартинформ, 2014. – 21 с.

УДК 656.13

## ОЦЕНКА АДЕКВАТНОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ СОУДАРЕНИЯ ПЛАТФОРМЫ, ЗАГРУЖЕННОЙ ТРУБАМИ, С ГРУППОЙ НЕПОДВИЖНЫХ ВАГОНОВ

*И. А. ВОРОЖУН*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Трубы большого диаметра находят применение при строительстве магистральных нефтепроводов и газопроводов, а также водопроводов, тепловых сетей, канализационных сооружений. Особенностью таких труб является то, что они при больших габаритах обладают относительно небольшой массой, из-за чего грузоподъемность транспортных средств при перевозке труб большого диаметра используется не в полной мере. Поэтому важной задачей является разработка подходов, позволяющих обеспечить транспортировку труб при максимально возможной загрузке ими вагона. Размещение и крепление труб на подвижном составе должно выполняться в точном соответствии с требованиями, изложенными в нормативных документах, которые предусматривают размещение и крепление в полувагоне 6 труб диаметром 1020 мм, 5 труб диаметром 1220 мм, 4 труб диаметром 1420 мм. В то же время габарит погрузки позволяет разместить на железнодорожной платформе, соответственно, 9, 6 и 5 труб указанных диаметров. Жесткие крепления обладают большой массой и весьма дороги, поэтому экономически не эффективны. В связи с этим осуществляется разработка облегченных средств крепления груза. Однако при этом следует учитывать возможность смещения груза в вагонах при их соударении, поэтому помимо обеспечения сохранности груза повышенное внимание следует уделять и безопасности движения. Это требует анализа взаимодействия в системе «поезд – транспортируемый груз».

Наиболее неблагоприятные воздействия платформа, трубы и элементы их крепления испытывают при соударениях вагонов во время проведения маневровых работ, особенно при роспуске с сортировочных горок. Математическое моделирование процесса соударения платформы, загруженной  $k$  ярусами труб, с группой из  $n$  неподвижных вагонов отражено в работе [1]. Особенностью рассматриваемой расчетной схемы является особая форма учета сил кулонова трения, максимальное значение которых достигается только при положительной разности между скоростями контактирующих элементов системы, расположенных выше и ниже соответственно, а также сил в упругих элементах крепления с линейными характеристиками. Система дифференциальных уравнений, отражающих движение  $k$  ярусов груза, платформы и  $n$  вагонов стенки составлена с применением способа Даламбера.

Представленная работа посвящена установлению корректности математической модели механической системы «ярусы труб – устройство крепления – платформа – вагоны» при упругом креплении ярусов труб к платформе. Адекватность и корректность разработанной математической модели устанавливалась путем сопоставления результатов расчета с результатами, приведенными в литературных источниках, а также полученными при натуральных испытаниях на соударение платформы, загруженной четырьмя трубами в два яруса, с группой из пяти вагонов стенки ( $m_{в1} = m_{в2} = 80000$  кг;  $m_{в3} = 78000$  кг;  $m_{в4} = 57000$  кг;  $m_{в5} = 78000$  кг). Расчеты проведены в среде MathCAD.

Полученные результаты расчетов по предлагаемой модели соударения одиночного вагона с одним или двумя вагонами стенки для жесткого крепления грузов в вагонах при варьировании масс как набегающего вагона, так и неподвижных вагонов стенки вполне адекватны данным, приведенным в [2, с. 305].

В ходе исследования процесса соударения одиночной груженой платформы массой 48300 кг (масса груза 27300 кг) с разным количеством вагонов стенки (масса одного вагона стенки 84000 кг) оценивалось влияние жесткости упругих элементов продольного крепления груза и коэффициента трения между соприкасающимися поверхностями груза и платформы на величину сил в междувагонных связях и замедление платформы. Установлено, что при соударении первый вагон стенки и набегающий вагон испытывают наибольшие продольные силы, величина которых практически не зависит от количества вагонов стенки. Результаты расчетов показывают, что для скорости соударения 5 км/ч платформы с вагонами стенки (при коэффициенте жесткости 2 МН/м упругих элементов продольного крепления груза и коэффициенте трения 0,35 между соприкасающимися поверхностями груза и платформы), наибольшее значение силы в междувагонной связи платформы и первого вагона стенки на 0,1953 МН (19,2 %) меньше чем для жесткого способа крепления груза. При этом максимальное значение замедления платформы в 1,58 раза больше.

В таблице 1 приведены значения величин остаточного смещения труб нижнего яруса относительно платформы, полученные в ходе расчетов и при натурных испытаниях на соударение платформы, загруженной четырьмя трубами в два яруса, полагая, что  $m_{r1} = 10$  кг,  $m_{r2} = 13600$  кг,  $m_{r3} = 13700$  кг,  $c_{r1} = 2$  МН/м,  $c_{r2} = c_{r3} = 1$  МН/м,  $f_{r1} = 0,37$ . Расчеты проводились для разных величин предварительного натяжения упругих элементов крепления труб ( $\lambda_i$ ).

Таблица 1 – Остаточное смещение труб после соударения платформы с вагонами стенки

Номер соударения	Скорость набегающего вагона, км/ч	Эксперимент	Расчетное	
		Не определялось	Предварительное натяжение канатов	
			$\lambda_1 = 0,1$ м	
			$\lambda_2 = \lambda_3 = 0,002$	$\lambda_2 = \lambda_3 = 0,003$ м
		35	39	38
2	5,5	45	42	41
3	6	45	48	45
4	6	45	53	45
5	6,5	45	49	46
6	7	50	48	47

При проведении натурных испытаний определение скорости соударения проводилось посредством ручного секундомера и переводной таблицы. Наличие ослабления или предварительного натяжения канатов крепления труб к платформе на момент первого соударения не устанавливалось. Величина продольных перемещений труб после каждого соударения замерялась рулеткой от меловых рисок на трубах нижнего яруса до опоры, установленной на раме платформы, с точностью до 5 мм.

Анализ полученных результатов позволяет сделать заключение, что величина остаточного смещения труб после каждого соударения вагонов зависит не только от скорости соударения, но и от предварительного натяжения (ослабления) упругих элементов крепления труб к платформе, а также сил сухого трения между ярусами груза.

Смещение труб в направлении удара сопровождается соответствующим натяжением канатов продольного крепления в этом же направлении и ослаблением натяжения канатов противоположного направления.

В ходе исследований установлено, что при соударении первый вагон стенки и набегающий вагон испытывают наибольшие продольные силы, величина которых практически не зависит от количества вагонов стенки. При проведении испытаний вагонов на соударение рекомендуется использовать в стенке не менее трех-четырёх вагонов. С целью сокращения машинного времени при проведении расчетов на соударение вагонов, можно ограничиться тремя вагонами стенки.

#### Список литературы

- 1 **Varazhun, I.** Modeling of the interaction between cargo tiers and flatcar during the collision of cars / I. Varazhun, A. Zavarotny // Technolog. – 2013. – Roc. 5. – № 4. – P. 195–198.
- 2 **Вершинский, С. В.** Динамика вагонов / С. В. Вершинский, В. Н. Данилов, В. Д. Хусидов ; под ред. С. В. Вершинского. – М. : Транспорт, 1991. – 360 с.

## ТОРМОЗНАЯ СИЛА КОМПОЗИЦИОННЫХ ТОРМОЗНЫХ КОЛОДОК ПО МЕРЕ ИХ ИЗНОСА НА ГРУЗОВЫХ ВАГОНАХ

Э. И. ГАЛАЙ, П. К. РУДОВ, Е. Э. ГАЛАЙ

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В настоящее время на железных дорогах бывшего СССР наиболее распространены композиционные колодки ТИИР-300, ТИИР-303, безасбестовые ТИИР-308 и полуконпозиционные «Фритекс Контакт со вставками из специального чугуна.

Коэффициент трения этих колодок в зависимости от силы нажатия близок к коэффициенту трения колодок ТИИР-300 и практически стабилен во всём диапазоне скоростей, изменяясь также, как изменяется коэффициент сцепления колеса и рельса.

В Правилах тяговых расчетов [1] рассматривается формула коэффициента трения для типовых композиционных колодок:

$$\varphi_k = \varphi_k K \varphi_k v, \quad (1)$$

где  $\varphi_k = 0,44 \frac{0,1K + 20}{0,4K + 20}$ ;  $\varphi_k v = \frac{v + 150}{2v + 150}$ ;  $K$  – сила нажатия колодки на колесо, кН;  $v$  – скорость трения колодки по колесу, км/ч.

Конструкция колодочного фрикционного узла обеспечивает равномерное распределение давления по площади колодки, поэтому

$$K = 10^3 p S_n, \quad (2)$$

где  $p$  – давление (удельное нажатие) колодки на колесо, МПа;  $S_n$  – номинальная площадь фрикционной части колодки, м<sup>2</sup>.

В местах фактического контакта колодки и колеса происходит взаимное внедрение микровыступов, которое зависит от силы нажатия колодки.

Геометрические параметры фрикционного узла определяются конфигурацией тормозной колодки. Её форма и размеры являются решающими при формировании основных характеристик тормоза, поэтому формула для расчета коэффициента трения имеет вид

$$\varphi_k = \alpha \varphi p \varphi v, \quad (3)$$

где  $\varphi p$  – функция, учитывающая величину давления во фрикционном контакте «колодка – колесо»,

$$\varphi p = \alpha \frac{10^3 \beta p S_n + \gamma}{10^3 \delta p S_n + \gamma}, \quad (4)$$

где  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\delta$ ,  $\gamma$  – эмпирические коэффициенты, зависящие от материала тормозной колодки.

При расчетах тормозов обычно задается сила нажатия тормозной колодки  $K$ , поэтому давление

$$p = \frac{K}{10^3 S_n}. \quad (5)$$

Конструкция композиционной тормозной колодки такова, что ширина  $b$  в начале работы у новой колодки значительно меньше, чем у изношенной (рисунок 1), а значит, и площадь трения изменяется по мере износа колодки. Допускаемая удельная сила нажатия колодки – 0,9 МПа при скорости до 120 км/ч.

Следует отметить, что ширина трущейся части колодки в процессе работы при износе меняется от  $b_1 = 40 \dots 60$  мм у новой до  $b_3 = 80$  мм у изношенной, что ведет к увеличению площади трения, хотя при тяговых расчетах принята геометрическая площадь трения композиционной тормозной колодки  $S_n = 0,029$  м<sup>2</sup> при ширине  $b_3 = 80$  мм.

Используемые колодки фактически имеют две части, разделенные выемкой шириной 25–35 мм по кругу катания, длина каждой части по мере износа возрастает от 150 до 175 мм. При максималь-

ной силе нажатия, например, при экстренном или полном служебном торможении, изменяется коэффициент трения, поскольку он зависит от ряда факторов, связанных с площадью трения. В частности, влияние оказывает износ поверхности катания колеса, температура в зоне контакта и микрогеометрия фрикционных поверхностей [2, 3, 4].

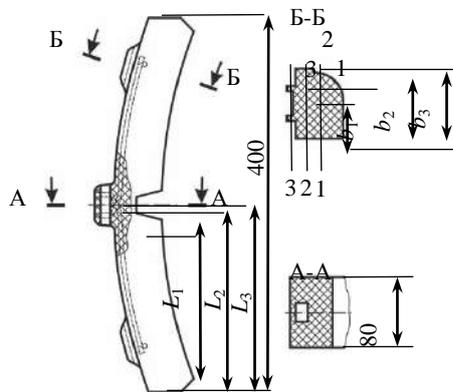


Рисунок 1 – Композиционная тормозная колодка железнодорожного подвижного состава (ГОСТ 33421–2015)

Номинальная (геометрическая) площадь трения колодки меняется по мере износа. Оценим ее по данным рисунка 1.

$$S_{н1} = 2L_1b_1 = 2 \cdot 15 \cdot 3 = 90 \text{ см}^2 = 0,009 \text{ м}^2 - \text{новая колодка};$$

$$S_{н2} = 2L_2b_2 = 2 \cdot 17,5 \cdot 7,2 = 252 \text{ см}^2 = 0,0252 \text{ м}^2 - \text{частично изношенная};$$

$$S_{н3} = 2L_3b_3 = 2 \cdot 18,0 \cdot 8 = 288 \text{ см}^2 = 0,0288 \text{ м}^2 - \text{изношенная колодка}.$$

При передаточном числе рычажной передачи  $n = 5 \dots 6$  и включении воздухораспределителя на режим «Средний» сила нажатия композиционной тормозной колодки  $K_k^c \approx 16 \text{ кН}$ .

Фактическое давление колодки на колесо при среднем режиме работы воздухораспределителя и полном служебном торможении: для новой колодки  $p_1^c = \frac{K_k^c}{10^3 S_{н1}} = \frac{16}{10^3 \cdot 0,009} \approx 1,78 \text{ МПа}$ ; для ча-

стично изношенной  $p_2^c \approx 0,635 \text{ МПа}$ ; при полном износе колодки  $p_3^c \approx 0,56 \text{ МПа}$ .

Давление тормозной колодки на поверхность катания колеса не должно превышать допускаемую величину 0,9 МПа.

При включении воздухораспределителя на режим «груженный» и силе нажатия колодки 26,1 кН фактическое давление превышает допускаемую величину, что создает ненормальные условия работы фрикционных узлов и приводит к повреждению тормозных колодок и поверхности катания колесных пар, особенно при новых колодках.

Фактическую удельную тормозную силу экипажа, Н/т, можно определить по формуле

$$b_{тi} = \frac{10^3 n K_i \Phi_{ki}}{q_o}, \quad (6)$$

где  $n$  – число тормозных элементов на оси колесной пары;  $q_o$  – осевая нагрузка, т.

Оценку мощности тормозов можно произвести, сравнив фактическую удельную тормозную силу вагона и удельную тормозную силу, допускаемую по условию безюзового торможения  $\bar{b}_{т(v)}$ , Н/т, которая должна быть больше или равна фактической, реализуемой при торможении.

$$\bar{b}_{т(v)} \geq 10^3 g \psi_k k_{сп} k_{тепл}, \quad (7)$$

где  $g$  – ускорение свободного падения,  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ ;  $\psi_k$  – коэффициент сцепления колеса и рельса;  $k_{сп}$  – предельное значение коэффициента сцепления,  $k_{сп} = 0,85 \dots 0,9$ ;  $k_{тепл}$  – коэффициент тепловой нагрузки тормозного узла, учитывающий максимальную скорость

вагона и время протекания процесса торможения.

При длительном процессе действия тормозов, например, при торможении на затяжных спусках,  $k_{сп}$  следует выбирать с учетом динамики изменения нагрузки колесных пар и перераспределения этой нагрузки в результате действия инерционных сил, и величина его должна быть меньше, то есть  $k_{сп} = 0,85$ .

При следовании поезда на перегонах с крутыми затяжными спусками должна учитываться тепловая нагрузка фрикционного узла с композиционными колодками [4]. Коэффициент  $k_{тепл}$  зависит от множества факторов, важнейшим из которых является энергетическая нагрузка. Величина  $k_{тепл}$  может колебаться от 0,4 до 0,8 в зависимости от условий работы вагона.

В этом случае должна предусматриваться возможность снижения давления в тормозных цилиндрах при остановке поезда на предыдущей станции и обеспечения тормозной силы за счет локомотива.

#### Список литературы

- 1 Правила тяговых расчетов для поездной работы : утв. Распоряжением ОАО «РЖД» 12.05.2016 № 867 р. – М. : Транспорт, 1985. – 287 с.
- 2 Галай, Э. И. Тормоза локомотивов и вагонов: проблемы и перспективы : учеб. пособие: в 2 ч. Ч. 2 : Фрикционные узлы тормозов / Э. И. Галай. – Гомель : БелИИЖТ, 1993. – 69 с.
- 3 Балакин, В. А. Тепловые расчеты тормозов и узлов трения / В. А. Балакин, В. П. Сергиенко. – Гомель : ИММС НАНБ, 1999. – 220 с.
- 4 Богданович, П. Н. Трение и износ в машинах / П. Н. Богданович, В. Я. Прушак, С. П. Богданович. – Минск : Технология, 2011. – 527 с.

УДК 539.3

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЧИСЛЕННОГО АЛГОРИТМА РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ О НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОМ СОСТОЯНИИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ТОНКОСТЕННЫХ ОБОЛОЧЕЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

*П. В. ГЕРАСИМЕНКО*

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

Как известно, математическая модель для такого класса задач включает систему однородных дифференциальных уравнений, которые могут быть приведены, после разрешения их относительно первой производной вдоль меридиональной координаты к 8 уравнениям и 4-граничным условиям на каждом торце оболочки [1]. В общем виде ее можно записать в следующей форме:

$$\frac{\partial \vec{y}(\alpha, \beta)}{\partial \alpha} = \sum_{s=0}^4 A^{(s)}(\alpha) \frac{\partial^s \vec{y}(\alpha, \beta)}{\partial \beta^s} + \vec{f}(\alpha, \beta);$$

$$B_0 \vec{y}(0, \beta) = \vec{0}; \quad B_n \vec{y}(l, \beta) = \vec{0}.$$

Здесь  $\alpha, \beta$  – координаты срединной поверхности соответственно в меридиональном и окружном направлениях;  $A^{(s)}(\alpha)$  – квадратные матрицы 8-го порядка (выражения для их элементов не приводятся из-за громоздкости);  $\vec{y}^T(\alpha, \beta) = N_\alpha, S_\alpha, Q_\alpha, M_\alpha, u, v, w, \vartheta_\alpha$  – транспонированный вектор столбец усилий  $N_\alpha, S_\alpha, Q_\alpha$ , момента  $M_\alpha$ , перемещений  $u, v, w$  и угла  $\vartheta_\alpha$  поворота;  $\vec{f}(\alpha, \beta)$  – вектор нагрузки;  $l$  – длина оболочки;  $B_k (k = 1, n)$  – прямоугольные матрицы  $4 \times 8$ , характеризующие условия закрепления оболочки на краях и имеющие по восемь ненулевых элементов.

$$b_{ss}^{(k)} = \gamma_s^{(k)}; \quad b_{s,4+s}^{(k)} = 1 - \gamma_s^{(k)} \quad (s = 1, 2, 3, 4; \quad k = 1, m),$$

где  $\gamma_s^{(k)}$  – числа, принимающие значения, равные единице, если  $S$ -я компонента вектора  $\vec{y}(\alpha, \beta)$  задана, и равна нулю, если не задана.

Метод решения отмеченной задачи применительно к строительным конструкциям изложен в работе [1], а применительно к железнодорожным цистернам – в [2]. В настоящем докладе предлагается алгоритм решения задачи на основании доказанной в [3] теоремы, позволяющий сохранить для рассматриваемых конструкций емкую ортогональную прогонку, но существенно снизить требования к объему памяти и времени решения задачи.

Известно, что краевая задача напряженно-деформированного состояния оболочки вращения после конечно-разностной аппроксимации производных может быть сведена к системе неоднородных линейных алгебраических уравнений, которая в матричной форме записи имеет достаточно простую форму [1]:

$$\bar{y}_{i+1} = D_i \bar{y}_i + f_i, E_0 \bar{y}_0 = \bar{0}, E_n \bar{y}_n = \bar{0}, (i = 1, 2, \dots, n-1). \quad (1)$$

Здесь векторы имеют размерность  $8 \times m$ , матрица  $D_i$  – порядок  $(8 \times m) \times (8 \times m)$ , а матрицы  $E_0, E_n$  – порядок  $(4 \times m) \times (8 \times m)$ . В работе через  $i, n$  и  $j, m$  обозначены текущие номера и число узлов соответственно в меридиональном и окружном направлениях.

Для матрицы  $D_i$  характерно свойство, присущее моделям рассматриваемого класса оболочек, а именно для оболочек вращения с постоянными геометрическими и физическими характеристиками вдоль окружной координаты и переменными вдоль меридиональной. Это свойство при аппроксимации производных симметричными конечными разностями позволяет формировать матрицы путем выполнения  $p$  ( $p = 1, 2, \dots, m-1$ ) круговых перестановок строк и в том же направлении  $p$  круговых перестановок столбцов матрицы. Для формализованной записи отмеченного свойства матрицы целесообразно ввести блочную матрицу перестановки  $E_{(1)}$  порядка  $(8 \times m) \times (8 \times m)$  и транспонированную ей матрицу  $E_{(1)}^T$ . Легко показать, что

$$E_{(1)} D_i E_{(1)}^T = D_i \quad \text{и} \quad E_{(i)}^T D_i E_{(i)} = D_i. \quad (2)$$

Обозначим через

$$E_{(2)} = E_{(1)} E_{(1)}, E_{(3)} = E_{(2)} E_{(1)}, \dots, E_{(m-1)} = E_{(m-2)} E_{(1)}, E_{(0)} = E.$$

Тогда будут справедливы соотношения:

$$E_{(j)} = D_i E_{(j)}^T, E_{(j)}^T D_i E_{(j)}, (j = 1, 2, \dots, m-1). \quad (3)$$

С учетом свойств матрицы сеточных уравнений целесообразно при построении вычислительного алгоритма применить метод прогонки, который предусматривает поиск решения системы (1) в виде [1]:

$$\bar{y}_i = u_i^{(0)} + \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^4 b^{(j,k)} \bar{u}_i^{(j,k)}. \quad (4)$$

Векторы в начальном узле задаются из условий ортогональности и удовлетворению граничному условию

$$E_1 \bar{u}_0^{(0)} = \bar{0}, E_1 \bar{u}_0^{(j,k)} = \bar{0}. \quad (5)$$

а неизвестные коэффициенты  $b^{(j,k)}$  подлежат определению из требования удовлетворения граничному условию на втором торце оболочек

$$E_n \bar{y}_n = E_n \left( u_n^{(0)} + \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^4 b^{(j,k)} \bar{u}_n^{(j,k)} \right) = \bar{0}. \quad (6)$$

При выборе векторов в начальном узле кроме удовлетворения условию (5) накладывается дополнительное условие

$$\bar{u}_0^{(j+1, k)} = E_{(j)} \bar{u}_0^{(1, k)}.$$

Следует заметить, что матрица  $E_{(j)}$  является унитарной, а поскольку все элементы унитарной матрицы вещественны, то она является ортогональной матрицей [3]. Тогда будут справедливы равенства

$$E_j E_j^T = E_j^T E_j = E_j E_j^{-1} = E,$$

где  $E_j^{-1}$  – обратная матрица. С помощью начальных векторов процесс численного решения сеточного аналога (1) краевой задачи по определению напряженно-деформированного состояния оболочки строится следующим образом. Последовательно в узлах  $i = 1, 2, \dots, n$  вычисляются векторы

$$u_i^0, \bar{u}_i^{j,k} \quad (j = 1, 2, \dots, m \quad k = 1, 2, 3, 4) \text{ по соотношениям}$$

$$u_i^{(0)} = D_{i-1} \vec{u}_{i-1}^{(0)} + f_i; \quad u_i^{(j,k)} = D_{i-1} \vec{u}_{i-1}^{(j,k)}. \quad (7)$$

Вместе с тем в [3] показано, что вычислять все векторы (7) не имеет смысла, что тогда вычисления существенно упрощаются. Это утверждение базируется на теореме [3]. В докладе приводится сравнение результатов исследования напряженно-деформированного состояния цилиндрической оболочки железнодорожной цистерны, закрепленной на части окружности и испытывающей неравномерно распределенную инерционную нагрузку по алгоритму [2] и по предлагаемому алгоритму.

#### Список литературы

- 1 Герасименко, П. В. Об одном численном методе решения задач статики оболочек вращения / П. В. Герасименко, Г. А. Павлов // Прикладная механика. – 1980. – Т. 16. – № 5. – С. 62–66.
- 2 Герасименко, П. В. Численный алгоритм исследования напряженно-деформированного состояния цилиндрических оболочек железнодорожных цистерн / П. В. Герасименко, В. А. Ходаковский // Вестник СПбГУ. Математика. Механика. Астрономия. – 2019. – Т. 6 (64). – Вып. 2. – С. 308–317.
- 3 Gerasimenko, P. V. Optimization of orthogonalization procedure of vectors at the solution of the shells equations by the grid method. Analytic Methods of Analysis and Differential Equations AMADE 2009 ; ed. by. S.V. Rogosin. – 2012. – С. 19–24.

УДК 621.332.3

### МЕТОДИКА ИСПЫТАНИЙ СВЕТОСИГНАЛЬНЫХ ПРИБОРОВ МАСКИ ГОЛОВНОГО ВАГОНА МОДЕЛИ 62-4497 ЭЛЕКТРОПОЕЗДА ПРИГОРОДНОГО СЛЕДОВАНИЯ ГОРОДСКОГО ТИПА ЭГ2ТВ МОДЕЛИ 62-4496

*В. А. ГРИБИН, Е. В. СОРОКИНА, К. П. ГУРЬЯНОВ*  
*АО НО «Тверской институт вагоностроения», Российская Федерация*

ЭГ2Тв (электропоезд городской, 2-й тип, Тверской), известный под названием «Иволга», – электропоезд, созданный ОАО «Тверской вагоностроительный завод» (ОАО «ТВЗ») в 2014 году как родоначальник базовой универсальной платформы российских электропоездов нового поколения. Электропоезд предназначен для внутригородских и пригородных пассажирских перевозок на железных дорогах колеи 1520 мм, электрифицированных постоянным током напряжения 3 кВ, на участках, оборудованных высокими платформами

Все поезда поступили в собственность Центральной пригородной пассажирской компании для эксплуатации на радиальных направлениях Московского железнодорожного узла.

Во время эксплуатации ЭГ2Тв претерпел много изменений. В 2020 г. ООО «Фабрика композитов» (ООО «ФК»), являющимся партнером ОАО «ТВЗ» в производстве ЭГ2Тв «Иволга», был реализован новый дизайн кабины машиниста. Специалистами ООО «ФК» изменено посадочное место буферных фонарей, за счет чего поменялась форма фар, геометрия капота и добавлено декоративное освещение внешней части кабины машиниста. Всё вместе делает визуальный образ состава более динамичным и отвечающим мировым тенденциям дизайна городского электротранспорта.

В августе 2020 года специалистами АО НО «Тверской институт вагоностроения» (АО НО «ТИВ») по разработанным и согласованным в установленном порядке методикам были проведены типовые испытания обновленных светосигнальных приборов на соответствие требованиям стандарта [1].

Для освещения железнодорожного пути и контактного провода на лобовой части головных вагонов электропоездов установлены прожекторы, которые обеспечивают осевую силу света в пределах от  $6,4 \times 10^5$  до  $9,6 \times 10^5$  кд, угол рассеяния от оси в пределах 0,1 осевой силы света в вертикальной и горизонтальной плоскостях – не менее  $3^\circ$ . Схема включения прожектора обеспечивает возможность включения режима «яркий свет» с осевой силой в пределах от  $6,4 \times 10^5$  до  $9,6 \times 10^5$  кд и режима «тусклый свет», обеспечивающего силу света в пределах от  $0,7 \times 10^5$  до  $1,2 \times 10^5$  кд.

Испытания проводились в темное время суток, в помещении, на аттестованном рельсовом пути. Для определения осевой силы света прожектора на расстоянии 10 м от защитного стекла прожектора размещают светлый щит, на котором чётко нанесён круг диаметром 1000 мм. Высота центра круга должна соответствовать высоте размещения нити накала лампы. Точность установки щита и размещение центра круга на щите в горизонтальной и вертикальной плоскостях определяют металлической рулеткой. Оптическая ось отражателя прожектора должна быть параллельна горизонтальной плоскости пути, для этого с помощью отвеса проверяется совпадение верхней и нижней точек отражателя. Номинальная осевая сила яркого света прожектора  $(6,4 - 9,6) \times 10^5$  кд обеспечивается при номинальном напряжении на лампе прожектора. Тусклый свет обеспечивается включением однопроводной лампы на напряжение 50–60 % номинального.

Одним из важных показателей является распределение силы света прозрачно-белого и красного огней светосигнальных приборов в горизонтальной плоскости.

Испытания по распределению сил света прозрачно-белого и красного огней светосигнальных приборов в горизонтальной плоскости выполнялись следующим образом: перед головным вагоном на расстоянии 1500 мм устанавливается щит, на котором отмечаются точки, в которых контролируется освещённость (рисунок 1).

Определение распределения силы светосигнальных приборов прозрачно-белого и красного огней светосигнальных приборов в горизонтальной плоскости выполняется по формуле

$$I = EC^2 \cdot 10^{-6}, \quad (1)$$

где  $E$  – освещённость, измеренная люксметром на осевой линии в плоскости, перпендикулярной к ней на расстоянии  $C$  от источника света до точки измерения.

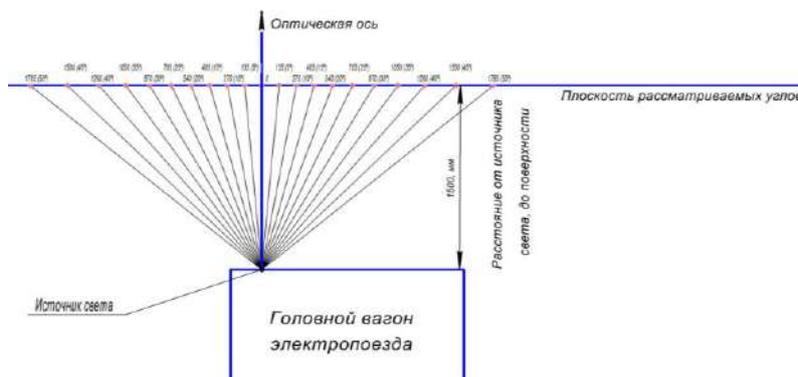


Рисунок 1 – Схема определения распределения силы света светосигнальных приборов прозрачно-белого и красного огней светосигнальных приборов в горизонтальной плоскости

Это расстояние является гипотенузой прямоугольного треугольника, представленного на рисунке 1, для каждого из рассматриваемых углов. Для угла  $0^\circ$   $C=1500$  мм.

Угол излучения в вертикальной плоскости – угол между двумя воображаемыми линиями, расположенными на плоскости, через которую проходит оптическая ось излучения; эти линии проходят через центр передней части светодиодного модуля и через точки, находящиеся на плоскости, которая перпендикулярна к оптической оси излучения, и имеющие максимальный угол отклонения от оси, где сила света составляет 50 % наибольшей силы света излучения. Угол излучения прозрачно-белого и красного огней светосигнальных приборов в вертикальной плоскости должен быть не менее  $\pm 2,5^\circ$ . В соответствии с методикой выполнения измерений, от точки, соответствующей  $0^\circ$ , отмечаются две точки в вертикальной плоскости, соответствующие отклонению  $-2,5$  и  $+2,5^\circ$  (рисунок 2).

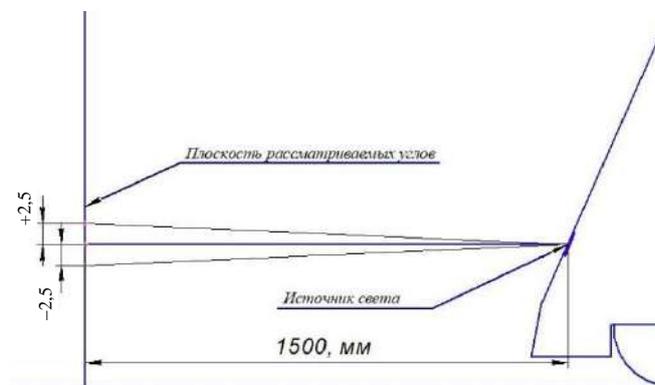


Рисунок 2 – Схема определения угла излучения светосигнальных приборов прозрачно-белого и красного огней светосигнальных приборов в вертикальной плоскости

В точке соответствующей  $0^\circ$ , контролируется освещенность, далее делается замер в двух точках описанных выше, и производится расчёт по формуле (1), сравниваем полученные значения силы света в двух точках с оптической осью излучения светового прибора. Для проходного результата полученные значения силы света должны быть не менее чем в два раза меньше значения силы света в точке, соответствующей  $0^\circ$ .

В результате проведенных испытаний установлено, что обновленные светосигнальные приборы обеспечивают требуемую силу света и угол излучения и соответствуют требованиям стандарта [1].

#### Список литературы

1 ГОСТ Р 55434–2013. Электропоезда. Общие технические условия. – Введ. 2013–21–5. – М. : Стандартинформ, 2014. – 69 с.

УДК 629.454.2

### **ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ ОПЫТНОГО ПРОБЕГА ВАГОНА МОДЕЛИ 61-4514.01 НА ПУТЯХ ЕГИПЕТСКОЙ НАЦИОНАЛЬНОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ**

*К. П. ГУРЬЯНОВ, Е. В. СОРОКИНА, В. А. ГРИБИН*  
*АО НО «Тверской институт вагоностроения», Российская Федерация*

В 2017 году Российско-венгерский консорциум «Трансмашхолдинг Венгрия Кфт.» и Египетские национальные железные дороги (ЕНЖД) подписали договор о поставке 1,3 тыс. пассажирских вагонов с местами для сидения.

Условия договора предусматривают поставку вагонов 5 типов:

- 3-й класс, с принудительной вентиляцией – 800 единиц;
- 3-й класс, с кондиционированием – 200 единиц;
- 2-й класс, с кондиционированием – 180 единиц;
- 1-й класс, с кондиционированием – 90 единиц;
- 2-й класс, с кондиционированием и буфетом – 30 единиц.

В соответствии с договором ОАО «Тверской вагоностроительный завод» (ОАО «ТВЗ») изготовлены вагоны 3-го класса с принудительной вентиляцией.

Для всестороннего и полного исследования вагона модели 61-4514.01 были проведены испытания, которые включали в себя: прочностные испытания тележки (рамы и бруса); определение статической прочности кузова в соответствии с EN 12663 (UIC 566 и UIC 567); проверку наличия, расположения, размеров и цвета знаков и надписей; замер расположения сидений; проверку работоспособности системы вентиляции воздуха и работоспособности внутреннего оборудования; испытания прочности багажной полки; контроль строительного очертания габарита; проверку электрооборудования, а также туалетов и подачи воды.

Все испытания были выполнены по программам и методикам, разработанным АО НО «Тверской институт вагоностроения» (АО НО «ТИВ») и согласованным с КТИ Közlekedéstudományi Intézet Nonprofit Kft (Венгрия).

Заключительным этапом испытаний являлся опытный пробег вагона на железнодорожном пути, от состояния которого зависит безопасный проезд подвижного состава в эксплуатации.

В связи с имеющимся опытом проведения испытаний в адрес АО НО «ТИВ» поступило предложение провести контроль состояния железнодорожного пути Египетской национальной железной дороги колеи 1435 мм. Для проведения испытаний в Арабской Республике Египет было решено установить на пассажирский вагон с местами для сидения модели 61-4514.01 производства ОАО «ТВЗ» систему контроля вибраций.

Система вибраций состоит из датчиков ускорения, измерительных кабелей, магнитных креплений, кабеля питания для регистратора, центрального блока. Для бесперебойной работы системы в центральный блок помещен аккумулятор на 75 В.

При проведении испытаний регистрировались следующие показатели:

- вертикальные ускорения на всех брусках вагона;
- продольное ускорение кузова вагона;

- вертикальное ускорение середины кузова вагона;
- вертикальное и поперечное ускорения кузова вагона в зоне пятникового узла обеих тележек;
- скорость и местоположение (широта и долгота) вагона.

Для выполнения этого этапа работ специалистом АО НО «ТИВ» был проведен монтаж системы контроля вибрации на вагоне модели 61-4514.01, зав. № 0001 (рисунки 1, 2).

Крепление датчиков ускорения производилось в магнитные крепления. Для исключения сползания магнитного крепления по плоскости был использован клей. Кабели были проложены по кузову вагона без попадания на подвижные части и без провисаний. Также дополнительно кабели были стянуты пластиковыми хомутами и прикреплены к кронштейнам на днище вагона.



Рисунок 1 – Датчики для контроля вертикальных ускорений



Рисунок 2 – Датчики для контроля продольного, вертикального и поперечного ускорения кузова

Также на крыше вагона были размещены две антенны GSM и антенна GPS.

После установки датчиков и монтажа системы контроля вибрации в ходе опытного пробега вагона осуществлялись сбор и передача данных, а также обработка переданных данных. С помощью антенн GSM передача данных осуществлялась в режиме online по сети Интернет, а с помощью антенны GPS производилось отслеживание перемещения вагона по путям ЕнЖД.

Испытания вагона модели 61-4514.01, зав. № 0001, оснащенного системой контроля вибрации, проводились по маршрутам исследования: Каир – Асуан, Каир – Александрия, Каир – Порт-Саид. Опытный вагон проходил маршрут, по которому в дальнейшем будут следовать составы из серийных вагонов. Для воспроизведения реальных условий в эксплуатации и имитации пассажиров в салоне вагон был загружен специальными грузами. Вагон был в составе с тепловозом ES30ACi серии Light Evolution, который оснащен 12-цилиндровым дизельным двигателем мощностью 3200 л. с. Опытный пробег вагона составил около 75 тысяч километров по дорогам ЕНЖД, при этом скорость движения по железным дорогам Арабской Республики Египет составляла до 120 км/ч.

Во время испытаний производилась непрерывная регистрация данных с частотой дискретизации 1200 Гц (1200 отсчетов в секунду).

Из полученных результатов следует, что показатели плавности хода вагона во всех направлениях (вертикальном, продольном и поперечном) и во всех скоростных диапазонах, а также уровни вибрации вагона во всех направлениях (вертикальном, продольном и поперечном) и во всех частотных и скоростных диапазонах соответствуют нормативным требованиям.

Результаты испытаний показывают, что применение данной системы контроля вибраций является прогрессивным направлением в области исследований железнодорожного подвижного состава.

УДК 629.423; 534.1

## ОЦЕНКА ЧАСТОТЫ СОБСТВЕННЫХ ИЗГИБНЫХ КОЛЕБАНИЙ КУЗОВА САМОХОДНОГО ВАГОНА НА СТАДИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

*Р. В. ГУЧИНСКИЙ*

*ООО «ТМХ Инжиниринг», Институт проблем машиноведения РАН, Санкт-Петербург, Российская Федерация*

Новые и модернизируемые кузова самоходных вагонов должны удовлетворять требованиям по динамическим качествам, в том числе включающим ограничение первой частоты собственных изгибных колебаний (ПЧСИК). ПЧСИК является важной характеристикой кузова, связанной с вертикальной вибрацией, показателями плавности хода и уровнем комфорта пассажиров. Согласно нормам РФ для пассажирских несамоходных вагонов, вагонов мотор-вагонного подвижного состава и метрополитена она должна быть не менее 8 Гц для полностью оборудованного кузова брутто.

На начальной стадии проектирования до построения конечно-элементной модели кузова может быть полезным предварительный оценочный расчет ПЧСИК кузова. Такой расчет позволяет вовремя принять стратегически важные конструктивные решения и сократить в дальнейшем число испытаний. В нормативных документах РФ для расчета и проектирования пассажирских несамоходных вагонов приведена формула для предварительного расчета ПЧСИК кузова как безопорной балки при равномерно распределенной нагрузке:

$$v = k \frac{\alpha^2}{2\pi L^2} \sqrt{\frac{EI}{m}} = \frac{3,027}{L^2} \sqrt{\frac{EI}{m}}, \quad (1)$$

где  $L$  – длина кузова, м;  $m$  – масса единицы длины кузова брутто, кг/м;  $I$  – момент инерции среднего сечения кузова, м<sup>4</sup>;  $E$  – модуль Юнга, Па;  $k = 0,85$  – опытный поправочный коэффициент;  $\alpha = 4,73$  – корень частотного уравнения.

Однако из-за большой погрешности, обусловленной различиями в характере деформирования балки постоянного сечения и действительной конструкции кузова вагона, формула (1) не нашла отражения в нормах для самоходных вагонов. В настоящей работе предлагается показать перспективы ее применения для таких вагонов.

Основными отличиями кузова вагона от балки постоянного сечения являются деформирование контура поперечных сечений и сдвиговая податливость боковых стен. Эти факторы обуславливают заметное снижение действительной жесткости кузова на изгиб в сравнении с жесткостью, определяемой по среднему поперечному сечению, что подтверждается сопоставлением вертикальных перемещений при изгибе.

Для оценки влияния каждого фактора на частоту и жесткость рассматривались четыре модели кузова вагона электропоезда в трех исполнениях. Исполнения отличались длиной кузова, базой вагона и расположением дверных и оконных проемов. В основной модели каждого исполнения, максимально приближенной по характеру деформирования к балке постоянного сечения, были устранены основные факторы, связанные с понижением частоты: а) в поперечных сечениях между окнами и в шкворневых сечениях установлены жесткие перегородки; б) оконные и дверные проемы заделаны жесткими мембранами. В следующих двух моделях указанные мероприятия рассматривались отдельно. Для сопоставления также использовалась основная модель кузова (рисунок 1). Во всех случаях были рассчитаны ПЧСИК с помощью модального анализа методом конечных элементов (МКЭ). Для отдельного учета двух факторов бы-

ли рассчитаны два парциальных коэффициента снижения частоты: для модели с податливостью боковых стен (а) и податливостью контура поперечных сечений (б). Затем определены коэффициенты снижения частоты с учетом взаимосвязи факторов и пересчитаны в коэффициенты для жесткости, так как первопричиной снижения частоты является именно жесткость. Для упрощения расчетов использованы осредненные значения коэффициентов для оборудованного и необорудованного кузова.

По результатам расчетов для учета изменения жесткости предлагается использовать в формуле (1) ее эквивалентное значение:

$$v = \frac{\alpha^2}{2\pi L^2} \sqrt{\frac{k_0 k_1 k_2 EI}{m}}, \quad (2)$$

где  $k_0$  – поправочный коэффициент;  $k_1$  – коэффициент жесткости контура поперечного сечения кузова;  $k_2$  – коэффициент совместности работы рамы и крыши. Необходимость введения коэффициента  $k$  следует установить по данным экспериментальной проверки формулы (2), целесообразно объединение коэффициентов  $k$  и  $k_0$ .

Результаты расчета ПЧСИК с помощью МКЭ и по формуле (2) с использованием осредненных коэффициентов  $k_{0,2}$  представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Расчет ПЧСИК по МКЭ и формуле (2)

Исполнение	М, т	Частота для кузова, МКЭ, Гц	Частота по (2), Гц $k_0 = 0,77$ ; $k_1 = 0,77$ ; $k_2 = 0,6$	Погрешность, %
1	52,9 6	9,37	10,48	+11,8
	14,9	17,73	19,76	+11,4
2	67,0	6,6	6,08	-7,9
	14,0 2	14,65	13,28	-9,3
3	67,0	6,03	6,08	+0,8
	14,1	13,57	13,24	-2,4

Формула (2) при использовании осредненных коэффициентов позволяет определять значения собственных частот оборудованных и необорудованных кузовов самоходных вагонов с погрешностью до 12 %, что как минимум в три раза точнее, чем с применением формулы (1). Также возможно использование уточненной формулы для расчета частот колебаний пассажирских и специальных вагонов.

Коэффициент  $k_0$  зависит от неоднородности жесткости конструкции, формы поперечного сечения, степени неравномерности распределения нагрузки.

Коэффициент  $k_1$  зависит от жесткости шпангоутов в поперечных сечениях кузова, наличия межколонных перегородок и их жесткости.

Коэффициент  $k_2$  зависит от ширины межколонных проемов, жесткости межколонных стоек, этажности вагона.

Представлена уточненная формула для расчета ПЧСИК кузовов самоходных вагонов. С помощью коэффициентов снижения жесткости вводится ее эквивалентное значение из-за отличий оболочечной конструкции кузова от балки постоянного сечения. Показано, что фактическая жесткость кузова вагона электропоезда классической конструкции отличается от жесткости, определяемой поперечным сечением кузова, в 3–4 раза. Предполагается, что коэффициенты снижения жесткости зависят от жесткости контура межколонных и шкворневых поперечных сечений, а также сдвиговой податливости боковых стен. Значения коэффициентов следует уточнить в рамках дальнейших расчетных и экспериментальных исследований. Расчет частоты для кузовов самоходных вагонов по уточненной формуле позволяет получить в три раза более точные результаты по сравнению с известной формулой для пассажирских вагонов.

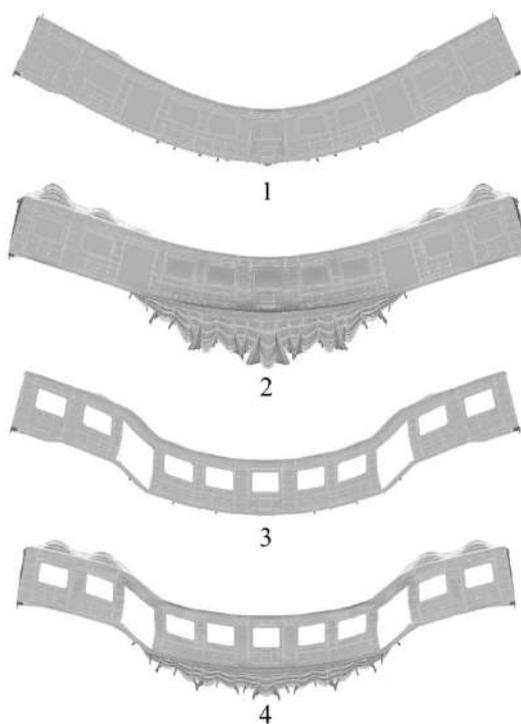


Рисунок 1 – Формы изгибных колебаний оборудованного кузова самоходного вагона (вариант исполнения 3):

1 – при имитации балки (случаи а, б); 2 – с учетом податливости контура поперечных сечений (случай б); 3 – с учетом сдвиговой податливости боковых стен (случай а); 4 – при фактической податливости

## ВЫПРАВочно-ПОДЪЕМНО-ПОДБИВОчно-РИХТОВОчная МАШИНА ДЛЯ СТРЕЛОчных ПЕРЕВОДОВ, ПЕРЕСЕЧЕНИЙ И ПУТИ PLASSER 08-275/3S. РАЗРАБОТКА ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

*В. А. ДОВГЯЛО, В. Л. МОЙСЕЕНКО, К. В. МАКСИМЧИК, Д. С. ПУПАЧЁВ,  
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В процессе эксплуатации машины происходит физическое старение агрегатов и узлов, деталей машины. Она постепенно утрачивает свои первоначальные функциональные и параметрические характеристики. Дальнейшая эксплуатация машины становится технически и экономически нецелесообразной, и возникает необходимость выполнения ремонтных операций. Однако бессмысленно пытаться достичь абсолютной надежности элементов машины. Гораздо более экономичным является вариант в реализации оптимальной надежности. Для этого еще на этапе проектирования выявляют оптимальное распределение финансов, которые следует затратить на создание и эксплуатацию машины, включая техническое обслуживание и ремонт.

Однако данные мероприятия невозможно реализовать без расширения парка специального самоходного (несамоходного) подвижного состава. Белорусская железная дорога на постоянной основе обновляет и модернизирует парк путевых машин и оборудования, необходимый для выполнения высококачественного ремонта и текущего содержания пути. В качестве примера рассмотрена выправочно-подъемно-подбивочно-рихтовочная машина для стрелочных переводов, пересечений и пути Plasser 08-275/3S (№ 6976), которую эксплуатируют на Государственном предприятии «Центр механизации путевых работ Белорусской железной дороги» с 2020 года.

Машина Plasser 08-275/3S (рисунок 1) фирмы «Plasser&Theurer» является универсальной для работы на стрелочных переводах, пересечениях и на пути.

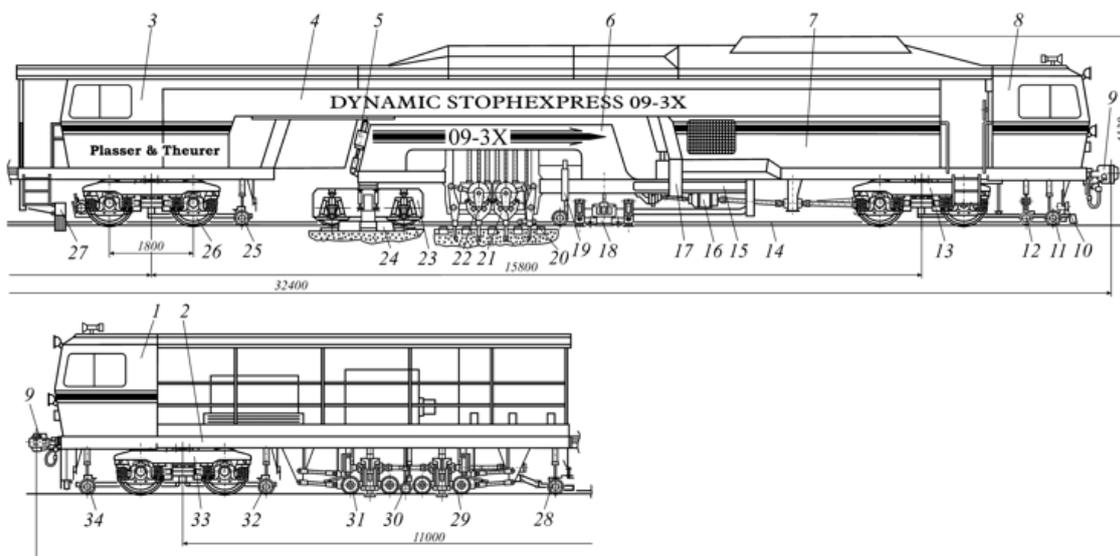


Рисунок 1 – Выправочно-подбивочно-рихтовочная машина ВПР-09-3Х:

- 1, 3 и 8 – кабины: задняя, машиниста и оператора; 2 и 4 – динамический стабилизатор пути и базовая машина; 5 – механизм прижима спутника; 6 – спутник; 7 – дизельный агрегат; 9 – автосцепки; 10 – фотоприемник лазерного луча; 11, 19, 25, 28, 30, 32 и 34 – измерительные тележки: рихтовочной контрольно-измерительной системы и контрольно-измерительной системы продольного профиля динамического стабилизатора пути; 12 – датчик пути; 13, 20, 24 и 33 – ходовые тележки: тяговая, спутника, бегунковая и задняя; 14 – трос-хорда рихтовочной контрольно-измерительной системы; 15 и 17 – направляющие балки и опоры спутника; 16 – силовая передача; 18 – подъемно-рихтовочное устройство; 20 – измерительное устройство нивелировочной системы; 21 и 22 – подбивочные блоки; 24 – виброплиты уплотнения балласта у торцов шпал; 27 – пассивные шпальные щетки; 29 и 31 – виброблоки динамического стабилизатора пути

Она относится к специальному самоходному подвижному составу и состоит из базовой машины 4 и соединенного с ней полуприцепного динамического стабилизатора пути (ДСП) 2. В передней части она опирается на двухосную тяговую тележку 13, колесные пары которой в транспортном режиме приводят через гидродинамическую трансмиссию 16, а в рабочем режиме – от гидромотора

также через трансмиссию. В задней части располагается бегунковая тележка 26, имеющая привод в рабочем режиме задней колесной пары от гидромотора. Основное рабочее оборудование базовой машины смонтировано на спутнике (сателлите) 6. Спереди спутник через две боковые направляющие балки 15 опирается на роликовые направляющие 17, а сзади – на двухосную тележку 23, имеющую привод колесных пар в рабочем режиме от гидромоторов. Чтобы гарантировать четкое исполнение рабочего цикла при непрерывном движении машины и циклическом движении спутника по скользким рельсам применяют дополнительные нагрузочные устройства 3, через которые может передаваться на колесные пары тележки 23 часть веса машины, добавляющего сцепной вес колесным парам тележки.

Машину оснащают четырьмя подбивочными блоками с 48 подбойками: передними 21 и задними 22. Если шпалы по эюре расположены равномерно, то производительность машины, работающей в непрерывно-циклическом режиме, достигает 3300 шп./ч. На участках, где нарушается расположение шпал по эюре, например, в зонах стыков, работу выполняют в циклическом режиме с однократным воздействием подбивочных блоков. Что существенно снижает производительность машины, поэтому ее эффективно используют в первую очередь на бесстыковом пути.

На спутнике также расположено подъемно-рихтовочное устройство (ПРУ) 18 с клещевыми роликовыми захватами и двухребордными рихтовочными роликами. Захватная часть ПРУ соединена с продольной балкой, которая в своей передней части через шарнирный узел закреплена на поперечной балке, соединенной с передними концами направляющих балок 15. ПРУ является исполнительным механизмом контрольно-измерительной системы (КИС) выправки пути в плане, продольном профиле и по уровню. Машину оснащают трехточечной рихтовочной КИС с тросом-хордой 14, закрепленным между передней 11 и тележкой 25. Датчик стрелы изгиба пути находится на тележке 19. Так как машина в основном предназначена для рихтовки пути точными методами, то более высокий коэффициент сглаживания четырехточечной системы не требуется [2].

Качество выполняемых машиной работ напрямую зависит от технического состояния машины. Очевидно, что эксплуатационные качества в процессе работы изменяются, например, уменьшается эффективная мощность силовой установки, увеличивается расход топливно-энергетических ресурсов, стареют и разрушаются резинотехнические изделия и т. д. В результате машина не может выполнять свои функции в соответствии с нормативно-эксплуатационной документацией.

Для выполнения качественного ремонта путевых машин необходимо иметь современную ремонтную документацию, включая руководства по всем видам ремонта, которые предназначены для подготовки ремонтного производства, ремонта и последующего контроля отремонтированных машин и их составных частей.

На текущий момент машина Plasser 08-275/3S, поступившая в эксплуатацию в 2020 году, находится на сервисном обслуживании. Для эффективной эксплуатации машины была разработана техническая документация на проведение соответствующих ремонтных воздействий.

При среднем ремонте реализуют комплекс технологических и технических мероприятий по восстановлению работоспособности и частичного ресурса машины с заменой или ремонтом неисправных агрегатов и узлов. При этом производят частичную разборку машины, проверку всех агрегатов, узлов и систем, дефектацию и ремонт неисправных агрегатов и узлов, капитальный ремонт отдельных агрегатов и рабочих органов, а также проводят сопутствующие профилактические работы.

При капитальном ремонте осуществляют комплекс технологических и технических мероприятий по восстановлению работоспособности и ресурса (полного или близкого к полному) машины с заменой или ремонтом любых узлов и агрегатов, включая базовые. При этом производят полную разборку машины, заменяют все неисправные или требующие ремонта узлы, агрегаты и детали, включая базовые.

Разработанная документация выполнена на основе конструкторской документации фирмы «Плассер и Тойрер», заводов-поставщиков комплектующих изделий, а также с учетом опыта предприятий, производящих ремонт машины и ее составных частей.

Структурно разработанное руководство соответствует требованиям ГОСТ 2.602 [3] и включает в себя требования охраны труда, пожарной безопасности и охраны окружающей среды; порядок организации и проведения среднего и капитального ремонта (включая мойку, разборку, дефектацию и пр.); общие технические требования, требования к ремонту деталей, узлов и агрегатов, а также требо-

вания к собранной машине; информацию об испытаниях отремонтированной машины и сведения о её транспортировке и др.

В структуру разработанного нами руководства также входят: карты на дефектацию деталей и сборочных единиц; перечень отходов, образующихся в процессе ремонта; перечень деталей, подвергаемых неразрушающему контролю и пр.

Для обеспечения оптимального планирования средств, грамотного и рационального использования запчастей и материалов в процессе выполнения среднего и капитального ремонтов разработаны соответствующие нормы расхода запасных частей и материалов. Они предназначены для обеспечения рационального использования средств, необходимых для поддержания в работоспособном состоянии выправочно-подъемно-подбивочно-рихтовочных машин для стрелочных переводов, пересечений и пути Plasser 08-275/3S путем оптимизации потребности в запасных частях при эксплуатации и ремонте, а также оптимального планирования (закупки и производства) запасных частей.

Данные документы разработаны на основе ГОСТ 2.610 [4], СТП 09150.56.136 [5], конструкторской документации фирмы «Плассер и Тойрер» [6–9], анализа статистических данных о расходовании запасных частей машин подобного типа, эксплуатируемых Государственным предприятием «Центр механизации путевых работ Белорусской железной дороги» и другой нормативной документации.

В настоящее время основным методом определения норм расхода запасных частей и материалов является расчетно-аналитический метод [10], который основан на аналитических зависимостях, описывающих физическую сущность проводимых технологических процессов, с учетом сведений, представленных в конструкторско-технологической документации на машину. Однако при определении норм расхода запасных частей этим методом итоговые значения неизбежно получают в виде дробных чисел, что в конечном итоге приводит к возникновению трудностей не только при планировании и распределении материальных ресурсов, но и при их списании.

Поэтому для разработки норм расхода запасных частей был использован комбинированный метод расчета, содержащий в себе как расчетную, так и эмпирическую составляющие. В эмпирическую составляющую включают анализ фактических расходов запасных частей и материалов при проведении соответствующих ремонтных воздействий за несколько лет.

При этом допускают на предприятиях (при наличии технической документации и технологической оснастки) изготовление деталей и сборочных единиц, которые по характеристикам и свойствам аналогичны оригинальным запасным частям (не ухудшают эксплуатационные характеристики и свойства).

Полученные в результате расчета нормы расхода запасных частей и материалов включают перечень запасных частей и материалов на средний и капитальный ремонты. С учетом всего перечисленного очень важно поддерживать в межремонтный период запланированный уровень надежности и работоспособности машин для их долгосрочной эксплуатации.

#### Список литературы

- 1 О Государственной программе развития транспортного комплекса Республики Беларусь на 2016–2020 годы : постановление Совета Министров Республики Беларусь 28.04.2016 № 345. – Минск, 2016.
- 2 Путевые 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.
- 3 ГОСТ 2.602–2013. Единая система конструкторской документации. Ремонтные документы. – Минск : ИПК Изд-во стандартов, 2001. – 23 с.
- 4 Единая система конструкторской документации. Правила выполнения эксплуатационных документов : ГОСТ 2.610–2006. – Введ. 2007.01.03. – Минск : Государственный комитет по стандартизации Республики Беларусь, 2010. – 42 с.
- 5 Планово-предупредительный ремонт специального подвижного состава на Белорусской железной дороге. Основные положения : СТП 09150.56.136–2010. – Введ. 2010.24.05. (510НЗ). – Минск : Служба пути Управления Белорусской железной дороги, 2010. – 56 с.
- 6 Каталог запасных частей Plasser 08-275/3S : KO.6976,6977. В 2 ч. – Вена : Плассер и Тойрер, 2019. – 1011 с.
- 7 Инструкция по эксплуатации PLASSER 08-275 3S : BA 6976/6977. Плассер и Тойрер, 2019. – 305 с.
- 8 Инструкция по техобслуживанию PLASSER 08-275 3S: WS 6976. Плассер и Тойрер, 2019. – 386 с.
- 9 Инструкция по эксплуатации дизеля Deutz BF6M-1015C/1542/COMII/EMR2 : 0297 7411 ru. Кельн : Deutz AG, 2003. – 32 с.
- 10 Техническая эксплуатации автомобилей : учебник для вузов / Е. С. Кузнецов, А. П. Болдин, В. М. Власов [и др.]. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Наука, 2001. – 535 с.

## РАЗРАБОТКА ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ ДЛЯ УКЛАДОЧНОГО КРАНА УК-25/28СП

*В. А. ДОВГЯЛО, В. Л. МОИСЕЕНКО, Д. С. ПУПАЧЁВ, К. В. МАКСИМЧИК*  
*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Занимая выгодное геополитическое положение, Республика Беларусь, является, по сути, «перекрестком», связывающим страны Западной и Восточной Европы, Азии, Балтийского и Черноморского побережья. Поэтому развитие её транспортного потенциала является одной из первостепенных задач.

На данный момент крупнейшим представителем транспортной отрасли страны является Белорусская железная дорога. На её долю приходится свыше 60 % общего объема грузооборота и 30 % пассажирооборота страны. При этом для обеспечения дальнейшего роста отмеченных качественных и количественных показателей, повышения конкурентоспособности предлагаемых услуг, доступности, безопасности и бесперебойности функционирования [1] прилагаются значительные усилия, направленные на модернизацию и развитие инфраструктуры предприятия, совершенствование технологических процессов, в частности на выполнение ремонтных воздействий на строение железнодорожного пути. Это в свою очередь невозможно осуществить без укрепления материально-технической базы путевого хозяйства, обновления парка специального подвижного состава.

Поэтому Белорусская железная дорога ежегодно осуществляет закупку современных путевых машин и оборудования, необходимых для выполнения высококачественного ремонта и текущего содержания пути. Одной из таких машин является укладочный кран УК-25/28СП, эксплуатирующийся в филиале «ПМС-116» РУП «Ремпуть Белорусской железной дороги» с 2015 года.

Укладочный кран УК-25/28СП (рисунок 1) предназначен для замены крупными блоками (массой до 30 т) любых стрелочных переводов [2] марок 1/9, 1/11 с рельсами типов Р50, Р65, Р75 на железобетонных и деревянных брусках, а также для разборки и укладки железнодорожного пути звеньями 25 м. При этом в отличие от распространенных на дороге кранов УК-25СП, он более конструктивно совершенен и универсален.

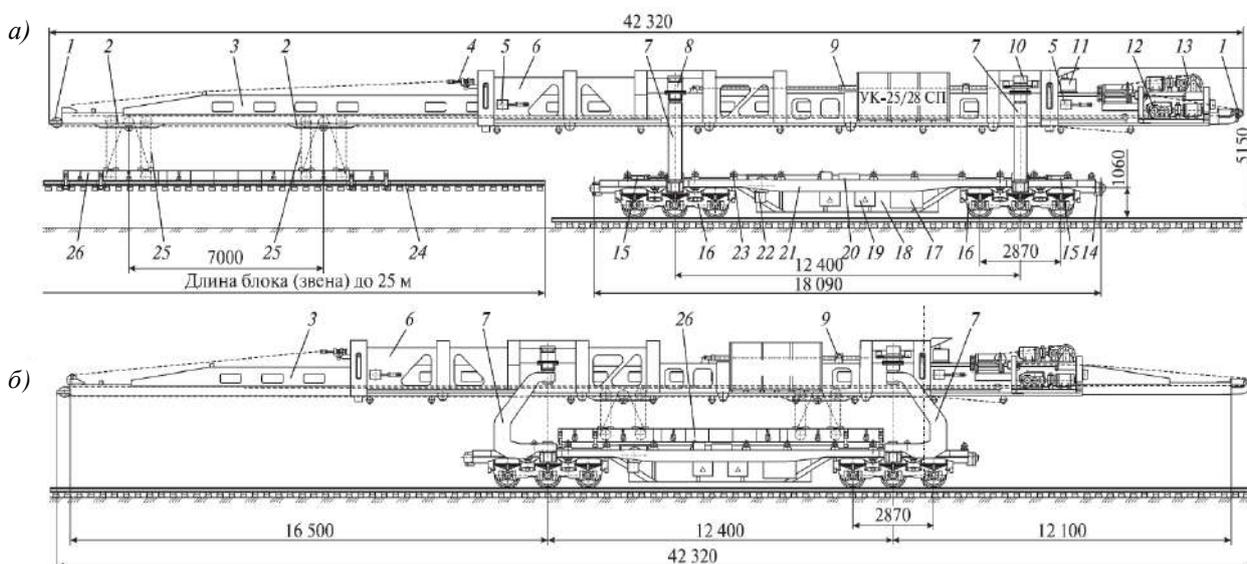


Рисунок 1 – Общий вид крана УК-25/28СП [2]:

- рабочее (а) и транспортное (б) положения: 1 – обводной блок; 2 – крановая грузовая тележка;  
3 и 6 – передвигаемая и объемлющая стрелы; 4 – ограничитель грузоподъемности; 5 – фиксатор передвигаемой стрелы;  
7 – поворотная порталная стойка; 8 и 10 – поперечные балки с шарнирными узлами кронштейнов – передняя с пятником и задняя с механизмом поворота стрелы; 9 – гидроцилиндр продольного перемещения стрелы 3;  
11 и 17 – насосные станции; 12 и 13 – грузовые и тяговая лебедки; 14 – автосцепка;  
15 – гидроцилиндр поворота порталных стоек 7; 16 – ходовые тележки; 18 – отсек с дизель-электрическим агрегатом;  
19 – электрооборудование; 20 – пульт управления (на стойке 7 в транспортном положении); 21 – рама;  
22 – лебедка для перетяжки блоков стрелочного перевода; 23 – роликовый транспортер;  
24 – блок стрелочного перевода; 25 – полиспаст; 26 – траверса

Кран включает в себя моторную платформу с двумя дизель-электрическими агрегатами, две лебедки для перемещения по составу блоков стрелочных переводов, роликовый транспортер, а также уникальное крановое оборудование. Его ключевая конструктивная особенность – телескопическая стрела с возможностью поворота относительно пути на угол до семи градусов, а также независимые раздвижные порталы, в совокупности обеспечивающие укладку железнодорожного пути в кривых [3]. Рама машины опирается на типовые трехосные тележки с двумя крайними приводными колесными парами. Кран имеет стандартную тормозную систему и автосцепки, что позволяет включать его в состав хозяйственного или грузового поезда. По итогу конструкция машины обеспечивает повышенную производительность, надежность и оптимальные условия труда.

В то же время нужно помнить, что качество выполняемых путевыми машинами работ напрямую зависит от их технического состояния. Очевидно, что эксплуатационные качества техники в процессе работы изменяются – уменьшается эффективная мощность силовых установок, увеличивается расход топливно-смазочных материалов, растут потери на трение в механизмах и зазоры в соединениях, ослабляется крепеж, стареют и начинают разрушаться резинотехнические изделия и т. д. В результате этого снижается надежность, экономичность, безотказность машин, повышается количество технологических отклонений и неисправностей.

Улучшение показателей работы специального подвижного состава достигается путем четкости планирования эксплуатации с сокращением его непроизводительных простоев. Но наиболее важным аспектом в данном случае выступает повышение качества технического обслуживания и ремонта с учетом требований ремонтно-эксплуатационной документации.

На текущий момент, исходя из наработки и установленной периодичности осуществления ремонтных воздействий, отмеченный выше укладочный кран готовится к отправке в средний ремонт. Поэтому у предприятия, осуществляющего данные воздействия (ЭРУП «Центр механизации путевых работ Белорусской железной дороги», г. Пинск), возникла необходимость в разработке соответствующей ремонтной документации. Задание на разработку руководства по среднему ремонту крана укладочного для смены стрелочных переводов крупными звеньями УК-25/28СП было дано специалистам кафедры «Транспортно-технологические машины и оборудование».

В целом средний ремонт для специального самоходного подвижного состава производят для восстановления исправности и частичного ресурса машин с заменой или восстановлением составных частей ограниченной номенклатуры и контролем технического состояния составных частей, выполняемом в объеме, установленном эксплуатационно-технической документацией на проведение ремонта [4].

Необходимая для осуществления среднего ремонта эксплуатационная документация разрабатывалась кафедрой на основе конструкторской документации фирмы ОАО «Калугапутьмаш», заводов-поставщиков комплектующих изделий, а также с учетом опыта предприятий, производящих ремонт машины и ее составных частей, и требований непосредственного заказчика.

Разработанный комплекс работ по среднему ремонту укладочного крана предусматривает: очистку, наружную мойку машины с её частичной разборкой; снятие с машины и мойку агрегатов, узлов и деталей с последующей их дефектацией и ремонтом; демонтаж рабочих органов и их ремонт; выкатку и ремонт ходовых тележек, колесных пар, буксовых узлов; проверку и, при необходимости, демонтаж и ремонт элементов тормозного оборудования, автосцепных устройств, электрических аппаратов и машин, гидравлических аппаратов; проверку чистоты гидравлической жидкости с её последующей очисткой или заменой; техническое обслуживание систем обеспечения безопасности движения, контрольно-измерительных систем; послеремонтную полную окраску машины с нанесением надписей и знаков, а также приемо-сдаточные испытания.

Структурно разработанное руководство соответствует требованиям ГОСТ 2.602 [5] и включает в себя:

- сведения об области применения разработанной документации;
- нормативные ссылки;
- порядок организации и проведения среднего ремонта (включая мойку, разборку, дефектацию и пр.);
- требования охраны труда, пожарной безопасности и охраны окружающей среды;
- общие технические требования, требования к ремонту деталей, узлов и агрегатов, а также требования к собранной машине;
- информацию об испытаниях отремонтированной машины и сведения о её транспортировке и др.

В структуру разработанного руководства также входят:

- технологические карты по ремонту деталей;
- перечень отходов, образующихся в процессе ремонта;
- перечень деталей, подвергаемых неразрушающему контролю и пр.

Помещенные в руководство сведения оптимальны по своему объему, но достаточны для осуществления правильного выполнения ремонта.

Для обеспечения оптимального планирования средств, грамотного и рационального использования запчастей и материалов в процессе выполнения среднего ремонта также возникла потребность в составлении соответствующих норм расхода.

В настоящее время основным методом определения норм расхода запасных частей и материалов является расчетно-аналитический метод [6]. Он основывается на аналитических зависимостях, описывающих физическую сущность проводимых технологических процессов, с учетом сведений представленных в конструкторско-технологической документации на машину, а также планах организационных мероприятий. При этом расчет индивидуальных норм расхода ведется по формуле

$$H = QS,$$

где  $H$  – норма расхода (число сменяемых одноименных деталей) на данный вид ремонта или измеритель работ, шт.;  $Q$  – общее число этих деталей в конструкции данного вида технического средства, шт.;  $S$  – коэффициент сменяемости деталей, %.

Однако при определении нормы расхода данным методом получаемые итоговые значения неизбежно имеют вид дробных чисел. Это в конечном итоге приводит к возникновению трудностей не только при планировании и распределении материальных ресурсов, но и при их списании, ввиду того, что отмеченные нормы как раз и выступают основанием для этого.

Поэтому для разработки норм использовался комбинированный метод расчета, содержащий в себе как расчетно-аналитическую, так и опытно-производственную составляющую. Опытно-производственная составляющая включала в себя анализ фактических расходов запчастей и материалов при проведении соответствующих ремонтных воздействий производственными предприятиями, их осуществляющими, в том числе и на ЭРУП «Центр механизации путевых работ Белорусской железной дороги». При этом по мере накопления опыта в последующем существует возможность внесения необходимых корректировок, дополнений и изменений в подготовленные нормы. Их пример представлен в таблице 1.

Полученные в результате изысканий нормы включают в себя перечень запасных частей на все виды работ, проводимых на ремонтных предприятиях, при этом сборочные единицы, снимаемые для проведения восстановительных работ, в эти нормы не включаются. В таком случае учитывается расход составных частей, входящих в сборочные единицы и подлежащих замене и списанию.

Таблица 1 – Пример разработанных норм расхода запасных частей и материалов

Наименование	Обозначение	ГОСТ, ОСТ, ТУ	Единицы измерения	Норма расхода на ремонт
1	2	3	4	5
<b>РАМА ПЛАТФОРМЫ (2792.12.00.000)</b>				
Пята	УК <sup>Э</sup> .12.10.00.55	–	шт.	2
Коробка пятника	86.12.00.041	–	шт.	2
<b>Установка пятников</b>				
Пятник	86.12.60.002	–	шт.	2
<b>УСТАНОВКА СИЛОВАЯ (2792.30.01.000)</b>				
Радиатор масляный	5320-1301010	ТУ 37.373.086-89	шт.	1
Радиатор водяной	250У13.010	–	шт.	1
Амортизатор конический	90.23.00.100	–	шт.	16
Глушитель	86.31.14.720	–	шт.	1

Стоит отметить, что в перечень, помимо деталей с установленной для замены наработкой, включаются детали, которые могут иметь случайные отказы за наработку, в пределах до полного ресурса сборочных единиц и деталей, служебные функции которых утрачиваются при разборке и сборке. При этом в номенклатуру запасных частей не включаются детали, в результате отказа которых машина подлежит списанию из-за технико-экономической нецелесообразности их замены.

## Список литературы

- 1 О Государственной программе развития транспортного комплекса Республики Беларусь на 2016–2020 годы : постановление Совета Министров Республики Беларусь 28.04.2016 № 345.
- 2 Путьевые машины : учеб. / М. В. Попович [и др.] ; под ред. М. В. Поповича, В. М. Бугаенко. – М. : ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2009. – 820 с.
- 3 **Воробьев, Э. В.** Технология, механизация и автоматизация путьевых работ : учеб. пособие. Ч. 1 / Э. В. Воробьев, Е. С. Ашпиз, А. А. Сидраков. – М. : ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2014. – 308 с.
- 4 **Моргунов, Ю. Н.** Техническая эксплуатация путьевых и строительных машин : учеб. пособие / Ю. Н. Моргунов. – М. : ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2009. – 701 с.
- 5 ГОСТ 2.602–95. Единая система конструкторской документации. Ремонтные документы. – Минск : ИПК Изд-во стандартов, 2001. – 23 с.
- 6 Техническая эксплуатация автомобилей : учеб. для вузов / Е. С. Кузнецов [и др.]. – 4-е изд., перераб и доп. – М. : Наука, 2001. – 535 с.

УДК 621.313.3:629.433

## СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В РАЗВИТИИ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ТРАМВАЕВ

*Д. В. ДОРОЩУК*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

*М. А. ДУДКО*

*ЗАО «Штадлер Минск», г. Фаниполь, Республика Беларусь*

Одно из главных технических требований, которому стремятся удовлетворить производители трамвайных вагонов в условиях возрастающей конкуренции на рынке данного типа подвижного состава, – низкий уровень пола, при котором облегчаются условия посадки и высадки пассажиров, особенно пассажиров с детьми и пассажиров с ограниченными физическими возможностями (пожилых, инвалидов), за счет чего сокращается время стоянки состава на промежуточных остановках и время оборота состава между конечными пунктами.

Обзор технических характеристик современных трамваев позволяет сформулировать следующие основные принципы, которых стремятся придерживаться зарубежные производители трамвайных вагонов.

1 Трамваи выполняются из коротких сочлененных секций длиной не более 6–9 м, что облегчает условия вписывания состава в кривые участки пути. Секции выполняются по модульному принципу, что позволяет легко наращивать вместительность состава при увеличении пассажиропотоков. Высота пола в пассажирском салоне в большинстве случаев не превышает 300–350 мм.

2 В качестве тяговых производители используют асинхронные двигатели, управляемые от инвертора с регулируемой величиной и частотой выходного напряжения, выполняемого на IGBT. Это позволяет сочетать высокую надежность, меньшие массогабаритные параметры и малые эксплуатационные затраты на асинхронные двигатели с пониженным энергопотреблением и хорошими регулировочными свойствами привода.

3 Тяговые мотор-редукторы вынесены в наружную зону моторных тележек и размещены продольно, с вращением одного или двух ведущих колес по каждой стороне тележки (раздельный привод на левый и правый борт). Таким способом обеспечивается независимое вращение колес, что позволяет снизить износ рельсов в кривых участках пути, и высвобождается межколесное пространство над моторной тележкой для понижения уровня пола.

4 Для повышения комфорта и увеличения полезной площади пассажирского салона основное преобразовательное электрооборудование вынесено в специальные ниши под крышей вагона.

5 Для сокращения времени стоянки на остановочных пунктах при посадке и высадке пассажиров трамваи выполняются с 6–8 входными дверями (на состав длиной около 30 м), большая часть которых – двухстворчатые, шириной не менее 1300 мм.

Создание трамваев с низким полом развивалось на базе нескольких конструктивных решений, которые определяли общую компоновку тягового привода. Первым этапом на этом пути следует считать техническое решение, основанное на традиционной компоновке привода. Тяго-

вые двигатели и редукторы размещались поперечно направлению движения во внутреннем пространстве моторных тележек. Вращающий момент двигателя передавался через редуктор на колесную пару. Разработчики двигались по пути снижения габаритов тягового двигателя, при этом удалось снизить высоту пола в пассажирском салоне до 550–600 мм от уровня головки рельса. Примером могут служить трамваи серии K5000 производства Bombardier Transportation для Кельна (2002) с частотой вращения вала двигателя до 5576 об./мин, трамваи серии GT8-100 производства той же компании для Карлсруэ (1997) с частотой вращения вала двигателя до 6000 об./мин или трамваи производства японской компании Kinki Sharyo для Нью-Джерси (1997) с частотой вращения вала двигателя до 5000 об./мин.

Следующим этапом явилось техническое решение, при котором тяговые двигатели и редукторы вынесены в наружное пространство тележки и размещены продольно по обеим ее сторонам. Если производители сохраняли колесную пару, это решение позволяло понизить уровень пола до 450 мм и создавать трамваи с частично низким уровнем пола, в том числе за счет размещения электроаппаратуры на крыше вагона. Примером могут быть трамваи производства Bombardier Transportation с тележками типа FLEXX2500. При диаметре колес 630–700 мм такие вагоны имели долю низкого пола до 70 %. Такое же принципиальное решение использовано в тележках FLEXX1000 и FLEXX Urban 3000 для трамваев семейства FLEXITY2, с той лишь разницей, что диаметр колес был уменьшен до 570 мм. В результате доля низкого пола (320–350 мм) возросла до 100 %.

Третий этап заключался в отказе от колесной пары и создании тележки с независимо вращающимися колесами. При этом колеса соединялись поперечной балкой прямоугольного сечения U-образной формы. Независимое вращение колес по разные стороны тележки позволяло с меньшими динамическими усилиями проходить кривые участки пути. Тяговые двигатели и редукторы размещались с наружной стороны тележки продольно. Примером может служить тележка типа SF30 C TFW (Siemens), разработанная в 1996 году и с 1998 года применяющаяся на трамваях семейства Combino. При диаметре новых колес 600 мм производителю удалось понизить уровень пола до 300 мм. По этому варианту выполнено значительное количество трамваев компанией Siemens, а также трамваи семейства SIRIO (AnsaldoBreda, Италия), CITADIS (Alstom), серии ТМК2200 (Консар, Хорватия) и ряд других серий производства Чехии, Польши, Японии.

Последним этапом, реализованным в 2004–2006 годах концерном Siemens, является создание трамвая серии ULF с предельно низким уровнем пола (200–210 мм). Отличительной особенностью трамваев данной серии являются одноосные тележки порталного типа с независимо вращающимися колесами, расположенные между секциями трамвая. Колесо с каждой стороны приводится отдельным двигателем, размещенным вертикально, через конический редуктор.

Все рассмотренные варианты исполнения тягового привода основаны на использовании традиционных асинхронных тяговых. Особый тип привода – безредукторный, основанный на применении тягового асинхронного двигателя типа мотор-колесо, использован при производстве трамваев семейства Variobahn (Variotram), выпускавшихся компаниями Adtranz/Bombardier, а несколько лет назад переданных для производства компании Stadler (Швейцария). Безредукторный привод выполнен в виде трехфазного восьмиполюсного асинхронного двигателя мощностью 35–45 кВт цилиндрического исполнения с внешним ротором, совмещенным с движущим колесом, и внутренним статором с жидкостным охлаждением. Статор состоит из неподвижного полого вала с трубой, образующей рубашку охлаждения, шихтованного магнитопровода со стягивающими кольцами, статорной обмотки с токоподводами и разъемом для подключения, элементов уплотнения. Труба корпуса ротора имеет пазы, в которые укладываются стержни, образующие вместе с короткозамыкающими кольцами «беличью клетку» ротора. На наружную поверхность трубы ротора насаживается колесо, состоящее из бандажа, резинового шумогасящего элемента и стопорного кольца. С обоих концов труба закрывается вращающимися подшипниковыми щитами. Каждое моторколесо имеет наружный диаметр трубы ротора 440 мм, длину 460 мм, вес 510 кг (без учета бандажа).

Безредукторный индивидуальный тяговый привод типа электромотор-колесо на базе синхронного двигателя с возбуждением от постоянных магнитов позволяет наилучшим образом сочетать высокую маневренность трамвая, умеренное динамическое воздействие на путь и городские сооружения, низкий уровень шума с высокой экономичностью. Промышленно выпускаемые в настоящее время постоянные магниты характеризуются остаточной магнитной индукцией

порядка 1,0–1,5 Тл и максимальной удельной энергией до 100–150 кДж/кг. Такие параметры позволяют создавать с помощью постоянных магнитов поля в рабочем воздушном зазоре на том же уровне, что при традиционном (электромагнитном) возбуждении, но исключить при этом затраты энергии на питание обмотки возбуждения.

Индивидуальный тяговый привод типа электродвигатель-колесо обеспечивает существенную экономию электроэнергии на тягу, а также позволяет добиться следующих преимуществ: меньшей массы тары за счет отсутствия громоздких двухосных тележек; ускоренной посадки и высадки пассажиров за счет низкого уровня пола по всей длине трамвайного вагона; упростить технологию смены колесно-моторных блоков при ремонте; понизить силы сопротивления и воздействия на путь при прохождении прямолинейных и особенно криволинейных участков пути за счет независимо вращающихся колес и принудительного их поворота в кривых.

УДК 656.225.073

## **О ПОСТРОЕНИИ ОПТИМАЛЬНОЙ ТРАЕКТОРИИ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДА В КООРДИНАТАХ «ПУТЬ – ВРЕМЯ»**

*К. И. ЖЕЛЕЗНОВ, Л. В. УРСУЛЯК, А. А. ШВЕЦ*

*Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта  
им. акад. В. Лазаряна, Украина*

Построение оптимальной траектории с использованием сетки в координатах «скорость – путь» не позволяет сразу получить траекторию движения поезда, обеспечивающую заданное время хода по участку. В результате для достижения приемлемого по времени хода результата приходится вводить дополнительные критерии и повторять расчет несколько раз. А в некоторых ситуациях, когда ресурсы управления сильно ограничены и параметры сетки по пути и/или по скорости выбраны недостаточно малыми, достичь хотя бы приближенно требуемого времени хода не удается вообще. Но это не означает, что задача не может быть решена. Это означает, что при выбранных параметрах решения значения времени хода при небольшом изменении дополнительного критерия сильно отличаются друг от друга. В таких случаях остается только уменьшать шаг сетки по пути и/или скорости и повторять все расчеты заново [1].

Однако если построить сетку в координатах «путь – время», то конечная точка построенной траектории движения будет соответствовать перемещению поезда на заданное расстояние за заданное время. В результате решение этой задачи сводится к поиску множества допустимых управлений, переводящих поезд из данного узла сетки в следующий при условии соблюдения всех ограничений. В работе узлами сетки называются точки пересечения её горизонтальных и вертикальных линий, а сечениями – горизонтальные/вертикальные линии, соответствующие постоянным значениям пути/времени. Прежде всего, для построения сетки в координатах «путь – время» необходимо выбрать шаг между узлами сетки по пути и по времени. Для выбора шага по времени можно задать «минимальный интервал реализации управления». Как известно, любое управление поездом, будь то режим тяги, электрического или пневматического торможения, требует выполнения некоторых манипуляций органами управления локомотива и состава. Любая такая манипуляция может быть выполнена за вполне определенный интервал времени. Так, набор или сброс тяги (кроме аварийного) для любого локомотива может быть выполнен за конечный и вполне определенный промежуток времени. В общем случае эта величина может быть определена для конкретного типа локомотива отдельно. В режиме пневматического торможения поезда «минимальный интервал реализации управления» значительно больше и зависит от типа подвижного состава (грузовой или пассажирский), его длины (количества вагонов) и параметров тормозной системы.

Шаг сетки по пути должен быть кратен 100 м (пикету) для того, чтобы машинисту было проще ориентироваться в пути следования при реализации режимов управления поездом. Величину шага сетки по пути можно выбрать, задавшись шагом изменения скорости. Так как на большинстве локомотивов до сих пор применяются механические скоростемеры, целесообразно задать шаг изменения скорости, равный  $\Delta v = 5$  км/ч. Тогда шаг сетки по пути следует выбирать из соотношения:  $\frac{\Delta S}{\Delta v} = \Delta T$ , где соответству-

ет  $\Delta T$  «минимальному интервалу реализации управления» Вообще может возникнуть ситуация, при которой не найдется ни одного управления из числа возможных, позволяющего перевести поезд из текущего состояния в состояние, соответствующее следующему узлу сетки. В этом случае поиск управления для такого перехода может быть выполнен с разбиением шага по пути и времени на части (построением «подсетки»). Но при этом следует иметь в виду, что при таком варианте поиска управления на режимы управления должны быть наложены ограничения. Например, если на первых шагах поиска по «подсетке» определено, что должен быть реализован режим тяги, то на всех остальных шагах этот режим должен быть сохранен или изменен на режим выбега, но никак не на торможение, поскольку режим «тяга + торможение» никак не может быть реализован за установленный интервал времени, который был выбран из условия реализации какого-то одного режима управления [1].

Построение траектории движения поезда в координатах «путь – время», имеет ряд особенностей. Одной из них является невозможность использования всех узлов при поиске переходов. На самом деле одним из неявных условий решения этой задачи является требование безостановочного движения поезда. Это означает невозможность «горизонтальных» отрезков траектории, т. е. максимально возможное время достижения конечной точки пути, которое определяется реализацией движения поезда с минимальной скоростью. В то же время из-за имеющихся ограничений по управлению поездом невозможны и «сколь угодно крутые» отрезки траектории, т. е. минимальное время хода по участку, которое зависит также от ограничения скорости движения поезда для конкретного участка пути. В результате эта траектория будет ломаной линией, но ее наличие позволит исключить значительное количество узлов из процедуры поиска допустимых переходов от текущего узла к следующему.

Другой особенностью построения кривой скорости в координатах «путь – время», является неопределенность скорости в конечном узле перехода, т. е. величина конечной скорости. На самом деле начальная скорость всегда известна. В начале сетки эта скорость будет равна нулю, при трогании с места, или какому-то заданному значению. Для произвольного узла сетки эта скорость будет равна скорости в конечном узле при предыдущем переходе по узлам сетки. Для того чтобы определить зависимость скорости от пути, необходимо решить уравнение движения поезда при известном управлении. Но на данном этапе управление как раз ищется, т. е. в такой постановке задача определения конечной скорости движения на отрезке пути не может быть решена. Поэтому предложена некоторая функция изменения скорости от пути, которая могла бы достаточно точно описывать реальное изменение скорости. Определены и проанализированы ее параметры:

$$v(s) = v_b + \Delta v \frac{\Delta L + b}{\Delta L} \cdot \frac{s}{s + b}. \quad (1)$$

Параметр  $\Delta v$  в этом выражении позволит задать приращение скорости, а параметр  $b$  – регулировать кривизну кривой.,  $\Delta L$  – расстояние между узлами сетки;  $s$  – текущая координата, которая меняется от 0 до  $\Delta L$ ;  $v_b$  – значение скорости в текущем узле сетки. Такая функция позволит построить монотонные кривые скорости с различной кривизной и для разгона, и для замедления поезда, а также определить в конечной точке  $s = \Delta L$  отрезка пути значение конечной скорости.

Для того чтобы оценить, насколько точно с помощью выражения (1) можно аппроксимировать реальные кривые изменения скорости, были проведены численные эксперименты по разгону и торможению поезда весом 3500 т и длиной 50 полувагонов (700 м) на прямом горизонтальном участке пути при различных начальных скоростях и различных управлениях, а также движения поезда с изменением режимов управления: трогание – разгон – выбег – торможение. В качестве локомотива выбран достаточно широко распространенный локомотив переменного тока ВЛ-80т [2].

Проанализированы кривые скорости, полученные в результате численных экспериментов и по формуле (1). В качестве контролируемых параметров использовались значения величин средней скорости движения на отрезке пути, конечной скорости и времени хода. Последний критерий особенно важен, т. к. время хода должно максимально соответствовать значению в конечном узле сетки, иначе отклонения могут накапливаться и привести к существенным расхождениям в конечной точке.

#### Список литературы

- 1 The Revised Method for Calculating of the Optimal Train Control Mode / K. Zhelieznov [et al.] // Archives of Transport. – 2019. – Vol. 51, iss. 3. – P. 21–34. – DOI: 10.5604/01.3001.0013.6160.
- 2 Правила тяговых расчетов для поездной работы / П. Т. Гребенюк [и др.]. – М. : Транспорт, 1985. – 287 с.

## ТЕХНОЛОГИЯ ВОССТАНОВИТЕЛЬНОЙ НАПЛАВКИ МНОГОЭЛЕКТРОДНЫМ СПОСОБОМ ОБОДОВ ЦЕЛЬНОКАТАНЫХ КОЛЕС В УСЛОВИЯХ ПРЕДПРИЯТИЙ АО «УЗБЕКИСТОН ТЕМИР ЙУЛЛАРИ»

*Д. Н. ЗАИРОВА*

*Ташкентский государственный университет транспорта, Республика Узбекистан*

За последние годы в связи с усложнением условий эксплуатации резко увеличился износ поверхностей катания цельнокатаных колес грузовых вагонов. Республика Узбекистан приобретает такие колеса за рубежом за валюту, поэтому восстановление изношенных колес позволяет существенно снизить валютные затраты. Традиционно применяемые способы восстановления дефектных колес трудоёмки и не обеспечивают долговечность и качество ремонта.

Технология восстановления колес грузовых вагонов, например наплавкой, до сих пор недостаточно изучена. Неизвестны параметры процесса и их влияние на физико-механические, эксплуатационные и технологические свойства металла, как самого колеса, так и восстановленного слоя. Наиболее сложным является исследование напряженно-деформационного состояния (НДС) металла колеса и его изменения в процессе восстановления.

Безопасность движения подвижного состава в большой степени зависит от надежности колесной пары, которая характеризуется безотказной работой в сложных условиях эксплуатации. Надежность колесной пары определяется её напряженным состоянием, возникающим под влиянием действующих нагрузок, которые приводят к появлению дефектов. На колесную пару воздействуют внешние переменные статические и динамические нагрузки и постоянно действующие силы, обусловленные посадками колес с натягом на подступичные части [1]. Во время движения колесная пара нагружается пространственной системой сил, изменяющихся по величине во времени. Исследуя динамику движения колеса с ползуном, например, глубиной 2 мм, Н. Н. Кудрявцев установил [2, 3], что динамическое воздействие на рельс от ползуна составляет 450 кН, что намного превышает статическую нагрузку от колеса на рельс.

Комплекс вертикальных, горизонтальных, боковых и тормозных сил, действующих на колесную пару, вызывает сложное напряженное состояние материала колес. В особенно сложных условиях работает колесо в зоне его контакта с рельсом. Под действием вертикальных сил в зоне контакта возникают большие удельные давления, вызывающие объемное напряженное состояние металла. В процессе торможения на верхние слои металла поверхности катания колеса действуют большие касательные усилия и циклические температурные нагрузки, возникающие от нагрева поверхности обода при контакте с тормозной колодкой или с рельсом при интенсивном проскальзывании по нему колеса. Высокий нагрев верхних слоев и быстрое охлаждение их при выходе из зоны контакта приводит к структурным изменениям металла на поверхности катания колеса. Нормальные и касательные усилия, температурные нагрузки, структурные превращения, которым подвергается каждый участок поверхности катания колеса с большой частотой циклов, вызывают износ, пластические деформации и различные виды контактно-усталостных повреждений.

На практике встречается более 60 видов дефектов колесных пар [1]. Различают следующие основные группы дефектов ободов цельнокатаных колес: естественные износы, термомеханические повреждения, нарушения сплошности металла. Многие виды дефектов взаимосвязаны друг с другом, некоторые из них являются причиной появления и развития других. Как показала практика, колесные пары часто имеют одновременно несколько дефектов.

Для повышения качества наплавки гребней были исследованы количественные показатели склонности наплавленного металла как к образованию горячих трещин, так и к их развитию [4]. Исследования проводили с применением проволоки Св-08ХГ2СМФ, где износостойкость гребней увеличивается в 1,5; 3 и 5 раз. Эти проволоки низкоуглеродистые, поэтому наплавленный металл приобретает повышенную (более 150 НВ) твердость лишь при условии интенсивного перемешивания с основным углеродистым (0,44–0,65 % С) металлом колеса.

ВНИИЖТ давно проводит исследования и испытания: по многоэлектродной автоматической наплавке поверхности катания обода цельнокатаных колес из малоуглеродистой стали износостойкой легированной сталью; по многоэлектродной автоматической наплавке ободов колесных цен-

тров. Наплавку цельнокатаных колес производили шестиэлектродным автоматом электродными проволоками диаметром 3 мм, при скорости подачи электродов  $V_n = 34$  м/ч;  $V_n = 15$  м/ч;  $I_{св} = 750-800$  А;  $U_{д} = 30-32$  В, при обратной полярности тока. Испытания механических свойств показали, что наплавленные колеса по прочности и пластичности имеют лучшие характеристики, чем серийные колеса. Испытания опытных колес, поставленных под груженные вагоны, показали высокую износостойкость наплавленного металла, а также малую чувствительность его к закалке и выкрашиванию по сравнению с металлом серийных цельнокатаных колес. Эксплуатационные испытания показали, что наплавленные колеса более стойки против образования выщербин и других дефектов по кругу катания по сравнению с серийными колесами.

Исследования и разработки по наплавке поверхностей катания колес ведутся в Швеции, Германии, Польше, Румынии, Чехии, Болгарии. Наплавка производилась автоматически, проволоками диаметром 3–6 мм на токах от 320 до 1000 А с подогревом колес до 240 °С.

Среди современных методов наплавки изношенных поверхностей одним из наиболее высокопроизводительных и высококачественных способов является автоматическая многоэлектродная наплавка под слоем флюса. В ТГТУ (в бывшем ТашИИТ) уже много лет ведутся исследования, разработки и применение этого способа [5]. Он обеспечивает высокое качество наплавленного металла требуемого химического состава, низкое удельное тепловложение при наплавке и, как следствие, уменьшение напряжений и деформаций в наплавленном изделии.

В работе [6] изучена закономерность распространения температурных полей в цельнокатаном колесе грузовых вагонов при автоматической многоэлектродной наплавке. Разработаны математическая модель и программное обеспечение для управления термическим циклом многоэлектродного процесса путем варьирования технологическими параметрами режима наплавки. На основе проведенных исследований была создана высокопроизводительная, низкоэнергоёмкая технология восстановительной наплавки многоэлектродным способом изношенных цельнокатаных вагонных колес по поверхности катания и гребню в условиях предприятий АО «Узбекистон темир йуллари».

#### Список литературы

- 1 **Богданов, А.Ф.** Восстановление профиля поверхности катания колесных пар / А. Ф. Богданов, И. А. Иванов, М. Ситаж. – СПб. : ПГУПС, 2000. – 128 с.
- 2 **Кудрявцев, Н. Н.** Исследование динамических напряжений в дисках цельнокатаных колес пассажирских вагонов / Н. Н. Кудрявцев, Е. П. Литовченко, А. П. Бомбардиров // Труды ВНИИЖТ. – Вып. 610. – 1981. – С. 23–44.
- 3 **Кудрявцев, Н. Н.** Динамические напряжения в дисках колес пассажирских вагонов / Н. Н. Кудрявцев, Е. И. Литовченко, А. П. Бомбардиров // Вестник ВНИИЖТ. – 1981. – № 5. – С. 30–34.
- 4 **Кипиани, П. Н.** Повышение стойкости металла против образования и развития горячих трещин при наплавке гребней колес железнодорожного подвижного состава / П. Н. Кипиани, Н. В. Павлов, Б. Ф. Якушин // Сварочное производство. – 2000. – № 10. – С. 8–11.
- 5 **Меликов, В. В.** Многоэлектродная наплавка / В. В. Меликов. – М. : Машиностроение, 1988. – 140 с.
- 6 **Набиев, Э. С.** Регулирование свойств металла оптимизацией технологического режима наплавки при восстановлении цельнокатаных вагонных колес : дис. ... канд. техн. наук / Э. С. Набиев. – Ташкент, 2004. – 200 с.

УДК 625.5.9

## КОНСТРУКЦИЯ СЪЁМНОГО КУЗОВА ВАГОНА С РАЗДВИЖНЫМИ БОКОВЫМИ СТЕНАМИ

*О. И. ЗАЙНИТДИНОВ*

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

На сегодняшний день существенно влияет на повышения качества и скорости работы железнодорожного подвижного состава техническое состояние вагонов [1, 2]. Одним из методов модернизации вагонного парка является специализация вагонов под каждый груз, который позволяет сократить время и трудоемкость погрузочно-разгрузочных операций, обеспечивая сохранность продукции [3]. Внедрение такой гибкой грузовой системы позволит значительно повысить эффективность эксплуатации вагонов, сократить простои при сезонных колебаниях отправки различных грузов [4]. В данной работе представляется конструкция съёмного кузова с раздвижными боковыми стенами,

предназначенного для транспортировки рулоновых, пакетированных, штабельных, штучных, тарно-штучных, грузов на поддонах и других грузов, требующих защиты от атмосферных осадков, с креплением их в соответствии с техническими требованиями (рисунок 1).

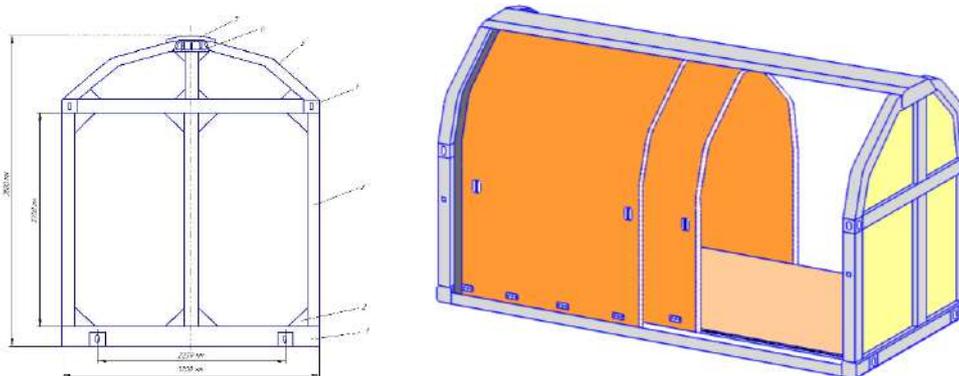


Рисунок 1 – Проектируемый съёмный кузов с раздвигающимися боковыми стенами

Кузов имеет две торцевые стены, которые приварены снизу к основанию кузова, а сверху соединяются с одной пролётной сварной балкой 6, имеющей изнутри три вертикальные ребра жёсткости. Конструкция торцевой стены состоит из нижней горизонтальной балки 1 (концевая поперечная балка 4, вертикальная балка 3, сверху соединённая с дугообразной балкой 5 через стандартные фитинги 4. Дугообразные балки 5 с двух сторон приварены к верхней пролётной балке 6 удерживающей ее от поперечного перемещения. Консольные части пролётной балки опираются на среднюю вертикальную балку. На пролётной балке по бокам предусмотрены верхние направляющие рельсы, удерживающие четыре автономные композиционные раздвижные двери, имеющие независимое движение друг от друга, и четыре блокировочных механизма для запираения дверей на замок, установленные с четырех сторон на вертикальной балке торцевой стены. Все балки между собой соединены сварным способом и имеют ребра жёсткости 2. В целях обтекания и защиты от атмосферных осадков роликовых узлов верхней части раздвижных дверей предусмотрен козырёк 7. Две крайние продольные балки представляют собой квадратный профиль с боковой фаской 45°, на котором устанавливаются нижние направляющие рельсы раздвижных дверей, а средняя продольная балка представляет собой двутавр марки 18М. Усилительными продольными балками являются швеллеры марки 14М и вспомогательные продольные балки, сваренные между поперечными швеллерами, – пустотельный квадратный профиль.

Настил пола кузова предлагается изготавливать из полимерного композиционного материала, ограждённого П-образным такелажным напольным оградителем, что и является одновременной напольной крепежной схваткой для крепления груза. Как известно, полимерные композиционные материалы ПКМ несколько не уступают по прочности сталям, при этом превосходя его по физико-химическим свойствам, что делает их на сегодняшний день незаменимым конструкционным материалом.

Раздвижные двери съёмного кузова предлагается изготавливать из полимерного композиционного материала цельным, методом вакуумной инфузии. Пролетная балка имеет коробчатую форму и усилена изнутри тремя ребрами жесткости. По обоим бокам пролетной балки приварены направляющие рельсы, по которым двигаются двухрядные роликовые подвески раздвижных дверей. К нижней части балки приварены специальные такелажные проушины для крепления грузов талрепами и стяжными ремнями. Нижние направляющие рельсы роликовых опор устанавливаются сварным способом на двух продольных балках под углом 45°. Раздвижная композиционная дверь прижимается с нижних краев двери стальными зажимами и крепится металлическими заклепками марки М10. Такелажный напольный оградитель служит для крепления груза и предохраняет композиционный настил пола от повреждения при погрузках или выгрузках грузов с помощью автокаров или других иных способов.

Для запираения композиционной двери предусмотрено блокировочное устройство замок, который сцепляется с ригелем прикреплённого с помощью зажимного ободка с четырьмя стальными заклепками с полукруглой головкой М10. Для герметизации стыкования двери с вертикальной балкой внутри запорного профиля установлены резиновые уплотнители. Кроме того, запорный про-

филь служит как центрирующее устройство при закрывании и предохраняет от колебания и от поперечных перемещений двери, что делает стыкование более надежным. После запираения двери во избежание неблагоприятных ситуаций открывания дверей предусмотрена дополнительная проушина, закрепленная к вертикальной балке кузова для подвешивания замка на ключ.

Шиповое сцепление конечных частей раздвижных дверей расположено с двух сторон кузова, предназначено для законцовки конечных частей двери и герметизации дверных щелей. Конструкция шипового сцепления конечных частей двери состоит из самой раздвижной двери, закрепленного к ней резинометаллического шипа с помощью винта с потайной головкой марки М8. Эффективность сцепления заключается в простоте конструкции для его строительства и ремонта, а также надежности при запираении дверей, что предотвращает колебания конечных частей и придает жесткость для средних примыкающих частей двух дверей.

Важно отметить, что допускаемый способ подъема краном при транспортировке данного съёмного кузова с раздвижными боковыми стенами рекомендуется согласно ГОСТ Р ИСО 3874–2008 только спредером за верхние фитинги.

#### Список литературы

- 1 Рахимов, Р. В. Выбор направлений развития вагонного парка железных дорог Узбекистана / Р. В. Рахимов // Транспорт Российской Федерации. – 2018. – № 1 (74). – С. 71–74.
- 2 Rahimov, R.V. Analysis of the state and prospects of the development of the freight wagon fleet of the Republic of Uzbekistan / R. V. Rahimov, Ya. O. Ruzmetov // Non-Ferrous Metals. – 2018. – Vol. 44. – No. 1. – P. 7–11.
- 3 Бороненко, Ю. П. Перспективы внедрения вагонов со съёмными кузовами увеличенной грузоподъемности / Ю. П. Бороненко, А. С. Даукшка // Современные технологии – транспорту : Междунар. науч.-техн. конф. – СПб. : ПГУПС, 2017. – С. 437–451.
- 4 Development of new polymer composite materials for the flooring of rail carriage / O. I. Zaynitdinov [et al.] // International Journal of Engineering and Technology. – 2020. – Vol. 9. – No. 2. – P. 378–381.

УДК 621.3.019.34

## ЗАЩИТА И ДИАГНОСТИКА СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

*А. Г. КАПУСТИН, А. Г. КАРАЧУН*

*Белорусская государственная академия авиации, г. Минск*

В работе рассмотрено решение вопросов диагностирования и защиты систем электроснабжения (СЭС) перспективного воздушного транспорта.

Для разработки алгоритма диагностирования технического состояния СЭС разработана имитационная модель в среде MATLAB, условно разбитая на семь уровней: первый уровень включает механический привод генератора и моделируется простым построителем сигналов; второй представляет генератор переменного тока; третий состоит из регулятора напряжения; четвертый – фидер генератора; пятый – вторичную систему распределения электроэнергии, представленной автоматическими выключателями с регулируемым отключением по току; шестой представляет нагрузки переменного тока; седьмой – нагрузки постоянного тока [1].

Для установления причинно-следственных связей между уровнями определено каждое из состояний системы, соответствующее отказу, и сформирована таблица состояний [2]. По таблице состояний составлено уравнение булевой алгебры.

По известному числу компонентов системы рассчитано среднее число проверок для обнаружения места отказа.

В ходе эксплуатации при возникновении отказа СЭС переводится на аварийный режим работы или, если этот отказ не критичен, включается аварийная сигнализация. В случае возникновения отказа, в процессе проведения мероприятий по диагностике, диагностическая система сигнализирует о его виде и месте возникновения.

При возникновении отказа диагностическая система указывает на место отказа. Для сравнительного анализа эффективности встроенной централизованной системы диагностики отказов в СЭС воздушного судна рассчитано среднее число проверок для обнаружения отказа в каждом уровне [3] и далее среднее число проверок, необходимое для обнаружения места отказа. Для обна-

ружения отказа в каждом уровне СЭС воздушного судна расчеты среднего числа проверок проведены для случая, когда неизвестны вероятности отказов конкретного блока или агрегата в системе электроснабжения воздушного судна. Рассчитано количество проверок в случае возникновения отказов в отдельных местах СЭС самолета. Среднее число проверок для нахождения места отказа в СЭС самолета равно 6,06 проверкам [3, 4].

При использовании цифровой системы поиска места отказа все проверки, необходимые для определения места отказа, проводятся автоматически. Данные об измеряемых величинах, по специальным выделенным каналам, установленных после каждого выделенного уровня, поступают от цифровых измерительных устройств (ЦИУ) в центральный процессор (ЦП), который по разработанному алгоритму определяет место отказа.

При возникновении отказа в СЭС воздушного судна предложенная цифровая система диагностики, работающая по разработанному алгоритму, автоматически определяет место отказа. Необходимость в диагностике с демонтажем блоков и агрегатов отпадает, так как система выдает информацию о месте возникновения отказа, что способствует сокращению времени на проверку системы и упрощению процесса диагностики [4, 5].

Диагностическая система, постоянно считывая параметры СЭС самолета, также может прогнозировать резкое возрастание или уменьшение значений токов и напряжений в СЭС и, следовательно, выполнять роль системы защиты. Одним из агрегатов, обеспечивающих безопасность электрических схем, являются автоматы защиты сети (АЗС). Такое защитное устройство необходимо в любой электрической схеме, поскольку защищает схему от различных аварийных ситуаций. Работа таких автоматов защиты связана с электромагнитными и тепловыми процессами, протекающими в них. Они обладают большой инерционностью, и срабатывание происходит после максимального выброса тока, который неблагоприятно влияет на электрооборудование или на автомат защиты.

При прогнозировании короткого замыкания в цепи или обрыва в токопроводящих линиях срабатывание автомата происходит до момента достижения током ударного значения. Это позволяет избежать нежелательных токовых бросков в электрических цепях.

Для определения диагностических признаков в случае различных видов короткого замыкания и включения нагрузки составлена модель генератора переменного тока в среде MATLAB.

Модель генератора переменного тока позволяет оценить последствия различных отказов в фидере генератора и в бортовой электрической сети (короткие замыкания различных видов, обрывы фаз, коммутации нагрузок).

В ходе имитационного моделирования выявлены определяющие диагностические признаки, соответствующие короткому замыканию: сдвиг фаз между напряжениями и градиент производной тока [5].

Проведенные имитационные исследования позволили сделать вывод, что применение цифровых систем управления СЭС при использовании алгоритма открывает возможности построения практически безынерционной защиты канала генерирования электроэнергии и улучшения, на этой основе, условий работы всего комплекса авионики (электрооборудования).

Использование цифрового управления в СЭС является перспективным направлением совершенствования ее функциональных и эксплуатационных характеристик.

Реализация цифрового управления в СЭС потребует разработки специальных датчиков информации о техническом состоянии элементов СЭС, рациональных управляемых коммутационных устройств.

#### Список литературы

- 1 ГОСТ Р 54073–2017. Системы электроснабжения самолетов и вертолетов. Общие требования и нормы качества электроэнергии. – М. : Стандартинформ, 2018. – 33 с.
- 2 Схиртладзе, А. Г. Надежность и диагностика технологических систем / А. Г. Схиртладзе. – М. : Новое знание, 2008. – 518 с.
- 3 Воробьев, В. Г. Надежность и техническая диагностика авиационного оборудования : учеб. / В. Г. Воробьев, В. Д. Константинов – М. : МГТУ ГА, 2010. – 448 с.
- 4 Шкляр, В. Н. Надежность систем управления: учебное пособие / В. Н. Шкляр. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 126 с.
- 5 Карачун, О. Г. Синтез алгоритмов защиты авиационной системы электроснабжения / О. Г. Карачун // Молодежь в науке: Новые аргументы : сб. науч. работ X междунар. конкурса научных работ. Россия, г. Липецк, 1 марта 2019. Секции 1–3 (начало) / отв. ред. А. В. Горбенко. – Липецк : Научное партнерство «Аргумент», 2019. – 212 с.

## ИНВАРИАНТНАЯ СИСТЕМА РЕГУЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

*А. Г. КАПУСТИН, К. В. ТЕРЕЩЕНКО*

*Белорусская государственная академия авиации, г. Минск*

В работе рассматривается вопрос повышения безопасности и надежности работы систем электроснабжения транспорта. Известно, что возмущения оказывают существенное влияние на качество электроэнергии систем электроснабжения, следовательно, на надежность работы и бесперебойность питания приемников электроэнергии. В работе рассмотрен вопрос синтеза инвариантной системы регулирования напряжения системы электроснабжения, используемой на любом виде транспорта и позволяющей полностью компенсировать влияние возмущений, действующих на систему электроснабжения в статических и динамических режимах. Это позволит обеспечить питание приемников кондиционной электроэнергией без перерывов в питании, что положительно повлияет на безопасность и надежность работы не только приемников электроэнергии, но и системы в целом.

До недавнего времени вопросы повышения качества электроэнергии систем электроснабжения транспорта решались путем достижения компромисса между требуемыми статическими и динамическими характеристиками системы и возможностями систем регулирования выходных параметров (напряжение и частота тока).

В работе показано, что качество электроэнергии систем электроснабжения в основном определяется характеристиками систем регулирования напряжения и частоты тока. Эксплуатирующиеся в настоящее время системы регулирования (аналоговые), хотя и обладают достаточно высокими показателями, однако возможности их дальнейшего совершенствования в пределах, заложенных в них принципов регулирования, практически исчерпаны [1, 2].

Проведенный анализ аппаратных средств и методов, с помощью которых можно синтезировать систему регулирования, показал, что наиболее перспективным направлением повышения качества электрической энергии систем электроснабжения является применение цифровых комплексов (методов) управления для регулирования выходных координат этих систем. Кроме известных преимуществ цифровых систем перед аналоговыми следует отметить и то, что переход на цифровые методы управления позволяет ликвидировать разрыв между теорией и практикой автоматического управления в практической реализации цифрового регулирования, обеспечить возможность использования методов оптимального управления, реализации нелинейных законов управления, внедрения машинного обучения и дополненной реальности.

Показано, что применение цифровых методов управления дает возможность осуществить регулирование напряжения и частоты тока в установившемся и переходном режимах систем электроснабжения оптимальным образом. Разработаны алгоритмы регулирования напряжения в статических и переходных режимах работы системы электроснабжения, которые способны практически полностью компенсировать влияние основных возмущений, действующих на систему.

Для подтверждения теоретических положений работы выполнено имитационное моделирование работы структурной схемы системы автоматического регулирования напряжения при использовании цифровых вычислительных комплексов. Работа рассматриваемой системы регулирования описана системой операторных дифференциальных уравнений и разрешена относительно выходной координаты системы электроснабжения – отклонения напряжения от заданного значения. Анализ выражения передаточной функции системы регулирования показал, что числитель передаточной функции не равен нулю, а знаменатель является конечной величиной. Исходя из этого сформулированы условия инвариантности [1, 2]. В соответствии с этими условиями для полной компенсации возмущений в статическом режиме работы системы электроснабжения необходимо, чтобы произведение числителя передаточной функции и возмущения равнялось нулю. Учитывая, что в установившемся режиме работы системы электроснабжения типовым возмущением является постоянная величина, то условие инвариантности может быть выполнено при равенстве оператора цифрового элемента системы регулирования и оператора Лапласа [2, 3].

Исходя из этих положений разработан алгоритм полной компенсации возмущений в установившемся (статическом) режиме работы системы электроснабжения для систем регулирования

напряжения, реализуемый в бортовом цифровом вычислительном комплексе. При этом учитывались ограничения на пределы изменения напряжения и частоты тока в статических режимах работы в зависимости от изменения токов нагрузки и изменения частоты вращения авиадвигателя.

При разработке алгоритма регулирования напряжения в переходных режимах работы установлено, что использование лишь цифровых элементов не дает возможности обеспечить полную компенсацию указанных возмущений из-за наличия в реальных системах регулирования энергетических ограничений на управляющие воздействия и нелинейностей, определяющих ограничения координат системы электроснабжения. Поэтому предложено синтезировать систему регулирования напряжения в переходных режимах исходя не из приближенного выполнения условий инвариантности, а из условия получения оптимального переходного процесса. Для этого, учитывая требования к системам регулирования напряжения и к качеству электрической энергии систем электроснабжения воздушных судов, выбран критерий оптимальности, обеспечивающий минимум длительности переходного процесса [2–5].

Для проверки эффективности действия данного критерия разработана математическая модель бесконтактного синхронного генератора типа ГТ мощностью 120 кВ·А и синтезирован закон регулирования напряжения при действии управляющего воздействия в соответствии с критерием оптимальности. Для рассматриваемого генератора оптимальное по быстродействию управление содержит два интервала [2, 3, 5]. Определены моменты времени переключения сигнала управления с одного интервала на другой, при которых обеспечивается перевод объекта из начального состояния (обусловленного действием возмущения) в конечное за минимально возможное время. Моменты переключения оптимального управления определены из решения системы дифференциальных уравнений математической модели генератора для первого и второго интервала управления. При этом выявлено, что при переключении управления состояние объекта мгновенно не изменяется.

С учетом этих данных разработан алгоритм регулирования напряжения при коммутациях приемников электроэнергии (нагрузки) в переходном режиме работы системы электроснабжения.

Имитационное моделирование системы регулирования напряжения с учетом синтезированных алгоритмов позволило установить следующее: минимально возможная длительность переходного процесса по напряжению при коммутации номинальной нагрузки составляет  $(18–21) \cdot 10^{-3}$  с; при оптимальном по быстродействию регулировании напряжения обеспечивается минимально возможное значение величины перерегулирования, которое на 25–35 % меньше, чем при использовании систем с регуляторами напряжения аналогового типа. При этом длительность переходных процессов уменьшается в 5–7 раз. Таким образом, применение цифровых вычислительных устройств с реализацией в них алгоритмов, синтезированных на основе методов теории инвариантности и оптимального управления, открывает широкие возможности дальнейшего повышения качества электрической энергии систем электроснабжения транспортных средств.

#### Список литературы

- 1 Данилова, Н. Н. Основы математической теории оптимальных процессов : учеб. пособие / Н. Н. Данилов, В. В. Мешечкин. – Кемерово : Кузбассвуиздат, 2004. – 218 с.
- 2 Васильев, Д. Системы автоматического управления / Д. Васильев, В. Чуич. – Рига : Палмарий, 2012. – 200 с.
- 3 Адкинс, Б. Общая теория электрических машин / Б. Адкинс. – М. : Госэнергоиздат, 1960. – 272 с.
- 4 Лайбль, Г. Теория электрической машины при переходных процессах / Г. Лайбль. – М. : Госэнергоиздат, 1965. – 168 с.
- 5 Фельдбаум, А. А. Методы теории автоматического управления / А. А. Фельдбаум, А. Г. Бутковский. – М. : Наука, 1971. – 744 с.

УДК 629.4.027.2

## К ВОПРОСУ РЕСУРСА БОКОВЫХ РАМ ТЕЛЕЖЕК ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ И ИХ КОНСТРУКТИВНОГО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ

С. В. КАРА

*Филиал «Научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт железнодорожного транспорта» АО «Укрзалізниця», г. Киев*

Трехэлементные тележки типа 18-100 и их аналоги являются основным типом тележек для железнодорожных грузовых вагонов в Украине и других странах СНГ. Кроме того, что данный тип тележек грузовых вагонов является морально устаревшим с точки зрения динамических качеств и

осевых нагрузок, долгое время актуальными являлись ежегодные изломы боковых рам в зоне радиусного перехода R55 буксового проема. Сейчас данная проблема отдельно рассматривается в связи с продлением в Украине сроков службы литых (боковых рам и надрессорных балок) тележек грузовых вагонов для специальных вагонов, а в скором времени и для других типов вагонов. При этом во многих странах мира введены тележки типа Y25 и активно разрабатываются принципиально новые конструкции, в то время как в Украине основные виды модернизаций связаны с увеличением межремонтных пробегов, увеличением срока службы, а поэтому вопросу прочности и сопротивления усталости боковых рам следует уделять особое внимание.

За последние годы разработан ряд новых тележек грузовых вагонов для колеи 1520 мм, которые достаточно близки по конструкции к тележке типа 18-100, например модернизации по проектам M1698, C03.04, C14.01 (использование износостойких материалов для опорных поверхностей буксового проема, фрикционной планки и клиньев, проточка колес по профилю ИТМ73: 18-2128, 18-9801, 18-9845, 18-9841, 189770, 18-1750, 18-578 и др.), модернизации с установкой кассетных подшипников (18-7020 и др.), тележки с диагональными тягами (ZK1 и др.), тележки со значительными геометрическими различиями несущих элементов (тип 18-9810 и др.). Следует отметить, что при значительном количестве модернизаций тележек и известной статистике изломов в зоне R55 конструкция зоны буксового проема боковой рамы не претерпевала значительных изменений. При исследовании причин изломов боковых рам кроме известных выявленных дефектов литья был установлен ряд факторов дополнительного нагружения зоны R55: сверхнормативные продольные силы, действующие на челюсти во время ударов вагонов на сортировочных горках, большие значения крутящего момента, действующего от буксы на боковую раму при перекосах колесных пар при забеганиях боковых рам, сверхнормативные нагрузки внешних челюстей боковых рам при одновременных ударных нагрузках на перекосах колесных пар.

Исследования по продлению срока службы свыше 40 лет для боковых рам и надрессорных балок проводились в «Научно-исследовательском и конструкторско-технологическом институте железнодорожного транспорта» АО «Укрзалізниця» в 2016 г. По результатам работы был установлен срок службы 42 года для литья, которое используется под вагонами служб пути и имеет значительно меньшую интенсивность эксплуатации по сравнению с основным парком грузовых вагонов. Продлить срок службы с 40 до 42 лет необходимо с применением дополнительных мер контроля.

Аккредитованной лабораторией Научно-внедренческого центра – структурного подразделения «Научно-исследовательского и конструкторско-технологического института железнодорожного транспорта» АО «Укрзалізниця» (далее – НВЦ) – был проведен комплекс ходовых прочностных и динамических испытаний с определением уровней динамической нагруженности для расчета показателей прочности, коэффициентов запаса сопротивления усталости, а также расчета ресурса расчетно-экспериментальным методом с применением системы автоматизированного проектирования SolidWorks Simulation 2020 боковых рам и надрессорных балок со сроком службы 38–40 лет после прохождения магнитопорошкового и акустико-эмиссионного методов контроля. По результатам испытаний литье тележек грузовых вагонов после реальной эксплуатации 40 лет при проведении вышеуказанных методов контроля имеет достаточные запасы сопротивления усталости для дальнейшего продления срока службы. Дополнительно по заказу АО «Укрзалізниця» был проведен комплекс стендовых ресурсных испытаний боковых рам и надрессорных балок со сроком службы 38–40 лет, которые подтвердили достаточный ресурс для продления срока службы свыше 40 лет. На основе проведенного комплекса испытаний рассматривается возможность установления срока службы литью 1975–1983 гг. постройки 45 лет с применением дополнительных методов контроля.

Дополнительно НВЦ было проведено исследование трехосных тележек типа 18-102, которые используются под несоответствующими вагонами. По результатам комплексной научно-исследовательской работы установлен граничный ресурс тележек типа 18-102, которые используются под несоответствующими вагонами – 60 лет от даты изготовления с периодическим продлением срока службы аккредитованными организациями (проведение технического диагностирования), при этом для тележек со сроком службы 55 и более лет установлено ограничение скорости движения на уровне 60 км/ч.

На основе проведения анализа проблематики изломов боковых рам тележек типу 18-100 и аналогов разработано техническое решение по конструктивному усовершенствованию боковой рамы тележки грузового вагона, которое заключается в замыкании буксовой стружкой буксового проема боковой рамы. Проведены прочностные расчеты боковой рамы типа 18-100 с двутавровым и короб-

чатым сечением надбуксовой зоны с учетом продольной силы в размере 120 кН, а также с учетом продольной силы в размере 120 кН и момента силы 4,5 кН·м, без применения и с применением буксовой струнки сечением 20 см<sup>2</sup>. На основе проведенных расчетов с использованием программного комплекса SolidWorks установлено, что использование буксовой струнки способствует уменьшению уровня максимальных эквивалентных напряжений в R55 с 213 и 221 МПа (для двутаврового и коробчатого сечения соответственно) до 128–129 МПа. При использовании буксовой струнки с предварительным натяжением в размере 30 кН максимальные напряжения в зоне R55 составляют 100 МПа. На основе проведенных исследований сделан вывод об эффективности использования буксовой струнки для повышения прочности боковых рам. Снижение уровня напряжений в данной зоне способствует повышению безопасности движения опасных и особо опасных грузов.

Данное техническое решение было представлено в рамках научно-исследовательской работы по заказу Министерства науки и образования Украины ДН-01-15 «Разработка концепции и технических решений инновационного транспортного средства на основе ресурсо- и энергосберегающих технологий на этапах жизненного цикла (№ государственной регистрации 0115U000645), исследовано в рамках диссертационной работы «Повышение прочности и улучшение показателей динамики элементов ходовой части грузовых вагонов путем конструктивного совершенствования» (Восточноукраинский национальный университет им. В. Даля, г. Северодонецк) и защищено патентами Украины № 104539 «Боковая рама тележки грузового вагона», 104542 «Тележка грузового вагона», 104543 «Боковая рама тележки грузового вагона», 105480 «Способ повышения прочности и улучшения динамики трехэлементных тележек грузовых вагонов».

УДК 629.4.083

## **ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ РЕМОНТА КРЫШЕК ЛЮКОВ ПОЛУВАГОНОВ В ЖЛОБИНСКОМ ВАГОННОМ ДЕПО**

*С. С. КАРАНДЕЕВ, Д. П. СОРОКИН  
Белорусская железная дорога, г. Жлобин*

*И. Ю. КУШКОВА  
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Отличительной особенностью современного парка грузовых вагонов является большое разнообразие. С одной стороны, следует отметить общее старение вагонного парка, вместе с тем в ремонт поступают относительно новые вагоны улучшенной конструкции.

Увеличение межремонтного периода для деповского ремонта универсальных полувагонов с одного года до трех, в соответствии с Положением о системе технического обслуживания и ремонта грузовых вагонов, допущенных в обращение на железнодорожные пути общего пользования в международном сообщении, принятым Советом по железнодорожному транспорту государств-участников СНГ (протокол № 57 от «16–17» октября 2012 г.) [1], приводит к возникновению ряда специфических неисправностей.

В Жлобинское вагонное депо для ремонта поступает большое количество полувагонов с такими характерными дефектами как неисправности крышек люков. Данные по Жлобинскому вагонному депо за период 2019–2020 гг. показывают, что более четверти всех неисправностей вагонов составляют неисправности крышек люка.

Особенно часто такие повреждения отмечаются у вагонов, являющихся собственностью ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК». Данные повреждения связаны с особенностями конфигурации перевозимого груза, а также с нарушениями правил погрузки и выгрузки груза. Анализ статистических данных по отцепкам полувагонов, отремонтированных в Жлобинском вагонном депо, показал, что в период с 01.2019 по 08.2020 г. ежемесячно в ремонт по причине неисправности люков поступало от 194 до 244 вагонов.

К техническому состоянию крышек люка вагонов предъявляются особые требования. Оно является определяющим и при обосновании ремонта подвижного состава.

Трещины и изломы, обрыв петли люка возникают из-за значительных нагрузок, скрытых литиевых дефектов, усталости металла, забоин и ожогов от электросварки (на поверхности деталей), явля-

ющихся концентраторами напряжений. Сложность эксплуатации крышек люков связана с тем, что они являются наиболее нагруженными деталями.

Основными причинами трещин, изломов и обрывов петель люка являются нарушения правил эксплуатации вагонов при погрузке и разгрузке грузов.

Следует отметить, что в последние годы количество неисправных крышек люка в полувагонах имеет тенденцию к увеличению.

Поскольку условия эксплуатации изменить невозможно, то для сохранения вагонного парка необходимо изменять подходы к ремонту. В условиях вагоноремонтного производства ремонт и восстановление вагонов до конструкционных размеров следует вести в двух направлениях: совершенствование технологии ремонта и усиление конструкции вагона в ходе ремонта.

В Жлобинском вагонном депо разработан и внедрен ряд приспособлений и стенов для снятия с вагона и дальнейшего ремонта крышек люков.

В соответствии с существующими правилами деповского ремонта [2] крышки люков полувагонов должны ремонтироваться непосредственно на вагоне. Однако при невозможности устранить неисправности крышек на вагоне крышка люка снимается. У некоторых моделей полувагонов, имеющих двойной торсион, снять крышку проблематично. Для этой цели в Жлобинском вагонном депо было разработано специальное приспособление для снятия торсионов (рисунок 1). На выступающие концы торсионов надевается приспособление (ключ), при подъеме рукоятки ключа вверх происходит нажатие верхней перемычки ключа на кронштейн торсиона, в результате чего появляется свободный ход рычага, что позволяет произвести замену валика.

Крышка люка полувагона является одним из наиболее изнашиваемых элементов кузова полувагона. В процессе эксплуатации полувагонов часто происходят обрывы, изломы петель люка от чрезмерных нагрузок, а также выработка отверстий петли под валик. Для восстановления петель люка необходимо срезать дефектные петли и произвести клепку новых петель.

На протяжении долгого времени в Жлобинском вагонном депо отсутствовали технология и необходимое оборудование для замены петли крышки люка. Это послужило причиной того, что до 25 % от ремонтнопригодных крышек люка забраковывались из-за невозможности клепки петель крышек люка. При этом вполне ремонтнопригодные крышки люков сдавались в металлолом, а для постановки на ремонтируемые вагоны приходилось приобретать новые крышки, что влекло за собой значительные расходы на материалы.

Была предложена технология ремонта петель крышки люка путем замены дефектных петель на соответствующие требованиям руководящих документов.

Работники депо разработали и внедрили установку для клепки петель люка (рисунок 2).



Рисунок 1 – Приспособление для снятия торсионов



Рисунок 2 – Установка для клепки петель люка

Технология клепки петель крышки люка состоит из следующих операций с применением следующего оборудования:

- а) крышка люка устанавливается при помощи крана-балки на стол приспособления;
- б) при помощи поста газокислородной резки срезается дефектная петля люка;

- в) при помощи сварочного полуавтомата JASIC ARC400 производится прихватка петли в нескольких местах по периметру, выдерживая соосность отверстий;
- г) при помощи мобильной печи ПНЗ-1,1-4 производится нагрев заклепок до 950–1100 °С;
- д) при помощи гидравлической струбцины производится клепка петли люка.

Внедрение данной технологии позволило сократить затраты на приобретение новых крышек люка и обеспечить безопасность работ при снятии и ремонте крышек люков.

Применение данной технологии позволяет качественно осуществлять ремонт крышек люка в условиях вагонного депо, что позволит значительно экономить средства на приобретение новых крышек люков.

#### Список литературы

1 Положение о системе технического обслуживания и ремонта грузовых вагонов, допущенных в обращение на железнодорожные пути общего пользования в международном сообщении : утв. Советом по железнодорожному транспорту государств – участников Содружества : приказ № 57 от 16–17 октября 2012 г. – 2012. – 19 с.

2 Руководство по деповскому ремонту. Грузовые вагоны железных дорог колеи 1520 мм. РД 32 ЦВ 169–2017. – М., 2017. – 156 с.

УДК 629.4.027

## К ВОПРОСУ БЕЗОПАСНОСТИ БУКСОВОГО УЗЛА ГРУЗОВОГО ВАГОНА

*М. Х. КАРИМОВА*

*Ташкентский государственный университет транспорта, Республика Узбекистан*

Тележки грузовых вагонов соединяются с колесными парами через буксовый узел, в котором расположены подшипники. Внутренние кольца подшипников закрепляются на шейках оси колесной пары, а наружные неподвижны относительно рамы тележки. Подшипники работают в смазке, а смазка должна быть чистой. Поэтому во всех технических устройствах подшипники размещают в какой-то полости или коробке, которая заполнена смазкой и герметично отделена от окружающей среды. Собственно говоря, такие коробки с подшипниками и смазкой и называются вагонными буксами [1].

В повышении безопасности движения вагонов первостепенную роль играет техническое состояние подшипников буксовых узлов колесных пар. Их состояние контролируется при плановых ремонтах колесных пар специальным оборудованием, который позволяет выявлять дефекты буксового узла [2].

Буксы являются важнейшими элементами ходовых частей вагона, от надежности которых во многом зависит безопасность движения поездов. Буксы преобразуют вращательное движение колесных пар, обеспечивая продвижение вагона с необходимыми скоростями (рис. 1).

На протяжении многих лет буксовый узел является наиболее проблемным в вагонном хозяйстве [3]. Как показывает анализ безопасности движения, наибольшее количество событий, связанных с нарушением безопасности движения, приходится на неисправности роликовых букс, что составляет более 98 % в общем количестве событий.

В пути следования отцепка вагона от состава поезда всегда связана с нарушением графика движения поездов [4]. Если отцепка грузового вагона происходит на основном ПТО, то она наносит гораздо меньший ущерб графику движения поездов, нежели если бы она произошла на промежуточной станции. В связи с этим для создания условий работы инфраструктурного комплекса, направленных на своевременное выявление «аварийных» буксовых узлов в эксплуатации на ранних стадиях развития дефектов, необходимо располагать «набором» критериев, которые могли бы указывать на наличие неисправности буксового узла.

В настоящее время в буксах вагонов применяются конструкции буксовых узлов с двумя цилиндрическими роликовыми подшипниками на горячей посадке [5]. Роликовые подшипники работают в условиях многократного переменного контактного напряжения сжатия, поэтому металл подшипников должен обладать высоким пределом сопротивления пластической деформации, высокой контактной выносливостью и износостойкостью.

Таким требованиям отвечают высокоуглеродистые хромистые стали ШХ15 и ШХ15СГ (ГОСТ 801-78), стали электрошлакового переплава марки ШХ15СГШ, а также сталь регламентированной

прокаливаемости ШХ4. Использование подшипников в буксах показало, что эти стали склонны к хрупкому разрушению из-за высокой чувствительности к концентраторам напряжений. Это отражается, прежде всего, в снижении прочности внутренних бортовых колец из-за наличия значительных растягивающих напряжений в поверхностных слоях после посадки их на шейку осей и из-за концентрации напряжений в технологической выточке в зоне перехода от дорожки качения к борту кольца. Для улучшения механических свойств таких сталей начали применять электрошлаковый и электровакuumный переплав, при которых в сталях уменьшаются содержание неметаллических включений, и изменяются их свойства. Однако и стали ШХ15СГШ не решают полностью проблемы хрупкости стали из-за сквозной прокаливаемости. С целью дальнейшего повышения надежности и долговечности подшипников принято решение о применении стали ШХ4 с новым способом термической обработки, заключающимся в использовании метода поверхностной закалки при глубинном индукционном нагреве стали, что приводит к регламентируемой глубине прокаливаемости сечения детали подшипника.

Детали подшипников из стали ШХ4 в результате такой термической обработки получают сочетание прочного износостойчивого поверхностного слоя по всему периметру поперечного сечения с твердостью 58–62 HRC на глубину 2,5–3 мм и упрочненной, но имеющей достаточный запас вязкости сердцевиной с твердостью 35–40 HRC.

Подшипники роликовые цилиндрические типов 36-232726E2M, 36-42726E2M, 30-232726E2M, 30-42726E2M и другие в габаритных размерах 130×250×80 мм, соответствуют ГОСТ 520, ГОСТ 18572, ТУ ВНИПП.048-1-00 и ТУ ВНИПП.072-01.

Одной из основных закономерностей повреждаемости буксовых узлов является четкая зависимость роста числа отказов в 1,5–2 раза в осенне-зимний период времени. Такая закономерность отказов буксовых узлов связывается с влиянием температуры окружающего воздуха, изменениями в состоянии верхнего строения пути и соответствующим ростом действующих силовых факторов. Другая закономерность состоит в том, что в первые 2–3 месяца эксплуатации буксовых узлов после ревизии число отказов также значительно выше, чем в последующий период. Это объясняется тем, что в первый период выявляются отказы, связанные с недостаточно качественно выполненным подбором и монтажом буксовых узлов, а также взаимной приработкой всех основных сборочных единиц буксового узла вагонов.

Следовательно, к основным дефектам буксового узла относятся: ослабление и разрушение торцевого крепления подшипников; усталостные раковины на дорожках качения наружных и внутренних колец и роликов; трещины и разрывы внутренних колец; сколы борта внутреннего кольца заднего подшипника; ослабление натяга посадки внутреннего кольца на шейки оси; особую группу дефектов подшипников составляют коррозионные повреждения в виде раковин, поверхностной и точечной коррозии на роликах и дорожках качения колец [6].

В Республике Узбекистан эксплуатируются вагоны с буксовыми узлами, имеющие цилиндрические роликовые подшипники. Для обеспечения безопасности движения поездов и предупреждения схода колес с рельсов необходимо вовремя предупредить и выявить дефекты буксового узла.

В данный момент задачей для исследований буксового узла тележки грузового вагона, является изучение причин возникновения вышеуказанных дефектов и мер по их предупреждению для обеспечения безопасности движения поездов.

#### Список литературы

- 1 **Лукин, В. В.** Вагоны. Общий курс : учеб. для вузов ж.-д. трансп. / В. В. Лукин, П. С. Анисимов, Ю. П. Федосеев ; под ред. В. В. Лукина. – М. : Маршрут, 2004. – 424 с.
- 2 **Комлев, В. В.** Буксовому узлу – новый уровень качества ремонта / В. В. Комлев, Н. И. Козлов // Вагоны и вагонное хозяйство. – 2012. – № 4. – С. 30.
- 3 **Рогозин, А. Ф.** О совершенствовании конструкции буксового узла колесных пар / А. Ф. Рогозин // Вагоны и вагонное хозяйство. – 2015. – № 4. – С. 37–40.
- 4 **Иванова, Т. В.** Оценка предотказных состояний буксового узла грузового вагона / Т. В. Иванова // Вагоны и вагонное хозяйство. – 2017. – № 1. – С. 46.
- 5 **Технология производства и ремонта вагонов** : учеб. для вузов ж.-д. трансп. / К. В. Мотовилов [и др.]. – М. : Маршрут, 2003. – 382 с.
- 6 **Руководящий документ по ремонту и техническому обслуживанию колесных пар с буксовыми узлами грузовых вагонов магистральных железных дорог колеи 1520 (1524 мм).** – 2012. – 274 с.

## **ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ К ИНФРАСТРУКТУРЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА**

*А. А. КЕБИКОВ, В. С. ЗАЙЧИК*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 003/2011 «О безопасности инфраструктуры железнодорожного транспорта» [1] распространяется на инфраструктуру железнодорожного транспорта Евразийского экономического союза (далее – ЕАЭС), предназначенную для движения железнодорожного подвижного состава с конструкционной скоростью до 200 км/ч.

Инфраструктура железнодорожного транспорта включает в себя следующие подсистемы:

- железнодорожный путь;
- железнодорожное электроснабжение;
- железнодорожную автоматику и телемеханику;
- железнодорожную электросвязь;
- станционные здания, сооружения и устройства.

К железнодорожному пути установлены следующие требования безопасности:

- все составные части железнодорожного пути по прочности, несущей способности и устойчивости должны обеспечивать безопасное движение железнодорожного подвижного состава с наибольшими скоростями в пределах допустимых значений;
- верхнее строение пути и земляное полотно должны обеспечивать стабильность положения железнодорожного пути в плане и продольном профиле;
- геометрические параметры кривых должны обеспечивать устойчивость железнодорожного подвижного состава, препятствующую сходу его колес с рельсов и опрокидыванию;
- искусственные сооружения должны иметь устройства, предназначенные для безопасного обслуживания самих сооружений и путей;
- конструкция бесстыкового пути должна исключать выбросы рельсошпальной решетки при одновременном воздействии поездных и температурных нагрузок;
- все железнодорожные переезды со стороны автодороги должны быть оборудованы предупредительными, а также сигнальными и заградительными устройствами;
- участки возможного заноса железнодорожных путей снегом должны быть оборудованы снегозадерживающими устройствами.

Требования безопасности к железнодорожному электроснабжению:

- обеспечение безопасного расстояния от элементов составных частей железнодорожного электроснабжения, находящихся под напряжением, до заземленных частей, поверхности земли, настилов пешеходных мостов, лестниц, пассажирских платформ и железнодорожных переездов;
- напряжение не должно превышать допустимое значение при прикосновении к корпусам электрооборудования и другим металлическим конструкциям;
- наличие ограждений и блокировок, препятствующих несанкционированному проникновению в опасные зоны или прикосновению к элементам составных частей железнодорожного электроснабжения, находящимся под напряжением;
- наличие автоматического отключения тяговой сети или линий электропередачи при возникновении таких режимов, которые могут привести к повреждению или нарушению исправного состояния железнодорожного электроснабжения и иных подсистем инфраструктуры железнодорожного транспорта;
- обеспечение механической прочности оборудования железнодорожного электроснабжения при воздействии эксплуатационных нагрузок, нагрузок в расчетных аварийных режимах, монтажных нагрузок;
- обеспечение пожарной безопасности как в нормальном, так и в аварийном режимах;
- наличие предупреждающих знаков;
- обеспечение безопасного расстояния от элементов составных частей железнодорожного электроснабжения до линий электропередачи, не входящих в состав инфраструктуры железнодорожного транспорта;

– уровень радиопомех, создаваемых элементами составных частей железнодорожного электро-снабжения, не должен превышать допустимое значение;

– использование оборудования, параметры которого обеспечивают: необходимый уровень защиты от опасного и вредного воздействия электромагнитных полей; автоматическое отключение элементов составных частей железнодорожного электроснабжения в аварийном режиме работы, исключающее возгорание его частей;

– обеспечение безопасности оперативного и оперативно-ремонтного персонала от возможного попадания под напряжение и поражения электрическим током;

– безопасное функционирование при одновременном воздействии эксплуатационных или аварийных нагрузок и климатических факторов, соответствующих нормативным показателям района эксплуатации, в том числе для режимов минимальной или максимальной температуры, максимальной скорости ветра или гололеда с ветром;

– обеспечение снабжения тягового подвижного состава, сооружений и устройств подсистем инфраструктуры железнодорожного транспорта электроэнергией с показателями качества, обеспечивающими их безопасное функционирование и повышение энергетической эффективности.

В целях обеспечения безопасности к железнодорожной электросвязи установлены требования:

– обеспечение безопасного движения железнодорожного подвижного состава с установленной скоростью и минимальным интервалом следования;

– обеспечение мониторинга параметров функционирования и интегрированного управления технологической сетью связи и частотно-временной синхронизации;

– совместимость с другими подсистемами инфраструктуры железнодорожного транспорта и железнодорожным подвижным составом;

– работоспособность во всех предусмотренных при проектировании условиях и режимах в течение установленных для них сроков службы.

Требования безопасности к станционным зданиям, сооружениям и устройствам:

– должна быть обеспечена безопасность этих операций по посадке, высадке и обслуживанию пассажиров;

– пешеходные тоннели должны иметь аварийное освещение и аварийные выходы;

– станции с электрической централизацией стрелок, тоннели и мосты должны быть оборудованы системой оповещения работников, выполняющих работы на железнодорожных путях, о приближении поезда;

– стационарно размещенные сооружения и их отдельные элементы должны обеспечивать соблюдение установленного габарита приближения строений и габариты погрузки;

– железнодорожные станции должны иметь устройства для предупреждения самопроизвольного выхода железнодорожного подвижного состава на маршруты следования поездов;

– перегоны, имеющие затяжные спуски, а также станции, ограничивающие такие перегоны, должны иметь улавливающие тупики или другие сооружения и устройства для остановки потерявшего управление при движении по этому спуску поезда;

– грузовые устройства при всех предусмотренных условиях выполнения операций погрузки-выгрузки должны исключать повреждение железнодорожного подвижного состава, иметь освещение, обеспечивающее безопасную погрузку и выгрузку грузов в темное время суток, а также обеспечивать безопасность персонала и сохранность перевозимых грузов;

– железнодорожные станции, депо и другие вспомогательные объекты должны иметь служебные пешеходные переходы через железнодорожные пути, оборудованные настилами, указателями и предупредительными надписями, а также электрическое освещение;

– железнодорожные станции в установленных местах должны иметь открытые рабочие площадки и островки безопасности для обеспечения безопасности работников;

– объекты и помещения на железнодорожных станциях должны освещаться в соответствии с установленными нормами;

– для железнодорожных станций, на которых производятся операции с опасными грузами, должны быть предусмотрены специальные меры по защите.

#### Список литературы

1 ТР ТС 003/2011. О безопасности инфраструктуры железнодорожного транспорта / Евразийская экономическая комиссия. – Минск : Госстандарт : БелГИСС, 2012. – 38 с.

## ОЦЕНКА ДИНАМИЧЕСКИХ КАЧЕСТВ ПЛАТФОРМЫ В УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

*М. Б. КЕЛЬРИХ, А. В. ФОМИН, П. Н. ПРОКОПЕНКО*

*Государственный университет инфраструктуры и технологий, г. Киев, Украина*

Обеспечение безопасности движения является одним из важнейших требований к работе железных дорог. Среди аварий и катастроф на железнодорожном транспорте наибольшую опасность представляет сход с рельсов, так как это может привести к тяжелым последствиям. Причины сходов вагонов-платформ с рельсов связан с неисправностями подвижного состава, отклонениями от норм содержания пути, а также с условиями их эксплуатации.

В числе причин сходов колес вагонов с рельсов, связанных с неисправностями ходовой части вагонов, можно назвать следующие: излом боковых рам и надрессорных балок тележек, слом осей колес, неисправности роликовых подшипников буксового узла, износ элементов фрикционных гасителей колебаний и узла опирания кузова на надрессорную балку, недопустимые отклонения размеров тележек. Также важной причиной является отрицательное уменьшение тары вагона более чем на 10 % от установленной заводом-изготовителем.

Существует необходимость проведения данных ходовых динамических испытаний. Проведены теоретические и практические исследования по определению и оценке показателей динамических и ходовых качеств вагона платформы, определению коэффициента запаса устойчивости колеса от схода с рельсов, что в свою очередь позволит определить безопасную скорость движения вагонов платформ вагонов в порожнем состоянии. На сегодняшний день проблеме по определению безопасной скорости движения и определению коэффициента запаса устойчивости от схода вагонов посвящено значительное количество научных работ.

Цель работы – описание методики проведения ходовых динамических испытаний с определением и оценкой показателей ходовых динамических качеств вагона-платформы в условиях эксплуатации модели 13-4012 при движении с различными скоростями по характерным участкам железнодорожного пути, а также определение условий эксплуатации на железных дорогах колеи 1520 мм.

Объектом исследования является вагон-платформа модели 13-4012 в пустом состоянии, который изготовлен в соответствии с требованиями нормативной технической документации (рисунок 1).



Рисунок 1 – Вагон-платформа

При испытаниях сброса с клиньев определяется частота колебаний и напряжения в надрессорной балке и боковине рамы тележки, динамические и статические прогибы рессорного подвешивания тележки.

В процессе ходовых динамических испытаний вагона измеряются, анализируются и оцениваются такие величины и показатели:

- вертикальные и горизонтальные (поперечные) ускорения обрессорных масс вагона в зоне подпятника вагона;
- динамические боковые (рамные) силы, действующие на буксы колесных пар;

- коэффициент устойчивости колеса от схода с рельсов;
- коэффициенты вертикальной динамики обрессоренных и не обрессоренных масс;
- коэффициент горизонтальной динамики (отношение боковой рамной силы к осевой нагрузке);
- силы, действующие на опытный вагон;
- скорости движения.

Коэффициент запаса устойчивости колесных пар от схода с рельса  $K_{yc}$  определяют по интегральным коэффициентам, рассчитанным для диапазона эксплуатационных скоростей при вероятности 0,001, по формуле

$$K_{yc} = \frac{\operatorname{tg}\beta - \mu}{1 + \mu \operatorname{tg}\beta} \cdot \frac{Q_{ш} \left( \frac{2(b-a_2)}{l} - K_{д}^н \frac{2b-a_2}{l} + K_{д}^{нн} \frac{a_2}{l} \right) + q \frac{b-a_2}{l} + \frac{r}{l} H_p}{\mu Q_{ш} \left( \frac{2(b-a_1)}{l} - K_{д}^н \frac{a_1}{l} + K_{д}^{нн} \frac{2b-a_2}{l} \right) + \mu q \frac{b-a_1}{l} + \left( 1 - \frac{r}{l} \mu \right) H_p}, \quad (1)$$

где  $\beta$  – Угол наклона образующей гребня колеса к горизонтальной оси,  $\beta = 60^\circ$ ;  $\mu$  – коэффициент трения,  $\mu = 0,25$ ;  $q$  – сила притяжения массы неподдресоренных частей, которые приходят на колесную пару, Н;  $2b$  – расстояние между серединами шеек оси колесной пары, м;  $a_1, a_2$  – расчетное расстояние от точек контакта колес с рельсами до середины соответствующих (набегающих и ненабегающих) шеек оси колесной пары принимаются в соответствии 0,250 и 0,220 м;  $r$  – радиус окружности качения колеса,  $r = 0,45$  м (для средне изношенного колеса) или по результатам измерения колес опытного образца;  $K_{д}^н$  – коэффициент вертикальной динамики на набегающем колесе, значение коэффициента принимается положительным в случае разгрузки колес;  $K_{д}^{нн}$  – коэффициент вертикальной динамики на не набегающем колесе, значение коэффициента принимается положительным в случае разгрузки колес;  $H_p$  – горизонтальная боковая рамная сила.

В ходе проведения практических и теоретических исследований по определению показателя коэффициента запаса устойчивости от схода с рельсов колесных пар в диапазоне эксплуатационных скоростей было установлено, что он меняется в отрицательную сторону в зависимости от уменьшения тары более чем на 10 % от нормативной, плохого технического состояния несущих и экипажной частей вагона, расположения вагонов в голове и середине поезда. Таким образом, полученные практические и теоретические результаты позволят оценить влияние уменьшения тары, плохого технического состояния и местоположения в поезде на устойчивость вагона и установить безопасную скорость движения вагонов-платформ в порожнем состоянии и место постановки их в поезде.

По исследованию динамики платформы определено, что условия безопасности движения нарушаются. Так, коэффициенты запаса устойчивости от схода колесных пар с рельсов на разных участках пути соответственно скоростям движения 40–80 км/ч составляли: 1,48; 1,40; 1,32; 1,30; 1,23 при минимально допустимом 1,3. Более существенное влияние на уровень показателей безопасности движения имеет состояние пути и состояние колес платформы. Подобным образом состояние пути и состояние колес отражается на других показателях динамических качеств вагона-платформы.

УДК 629.179

## МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОЧНОСТНЫХ СТАТИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ КУЗОВОВ ДВУХЭТАЖНЫХ ВАГОНОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

С. Д. КОРШУНОВ, А. А. СМИРНОВ, Д. А. РОМАШОВ  
АО НО «Тверской институт вагоностроения», Российская Федерация

Одним из основных условий успешной и безопасной работы железнодорожного транспорта является наличие соответствующего количественного и качественного состава вагонного парка. Современные тенденции пассажирских перевозок [1] устанавливают жесткие требования к проек-

тированию, изготовлению и испытаниям пассажирского железнодорожного подвижного состава. Новые и модернизированные вагоны создают условия для более полного удовлетворения граждан в комфортных перевозках, увеличения скоростей движения поездов, а также способствуют дальнейшему повышению производительности труда и снижению себестоимости.

С целью контроля и подтверждения заявленных технических и эксплуатационных показателей вновь спроектированного и изготовленного ОАО «ТВЗ» кузова вагона специалистами Тверского института вагоностроения (АО НО «ТИВ») проведены прочностные статические испытания базовой конструкции кузова вагона нового модельного ряда с пневмоподвешиванием. Вагон предназначен для перевозки пассажиров по электрифицированным и неэлектрифицированным участкам железных дорог России, стран СНГ и Балтии колеи 1520 мм на направлениях, готовность которых подтверждена для проследования вагонов габарита Тпр с частичным использованием габарита Т по штриховой линии а-б-б<sub>1</sub>-а<sub>2</sub> (габарит Тб) с нижним очертанием. Основными отличиями вновь спроектированной конструкции вагона от хорошо зарекомендовавшего себя в эксплуатации вагона модели 61-4472 являются следующие:

- 1) применено пневмоподвешивание в центральной ступени подвешивания тележек;
- 2) изменено расстояние по высоте между профилями обвязки рамы в средней части;
- 3) введен вариант изготовления профиля верхней обвязки рамы в средней части из углеродистой стали;
- 4) изменена конструкция шкворневой балки и шкворня для обеспечения сочленения вагона с тележками на пневмоподвешивании;
- 5) конструкция буферного бруса рамы допускает установку буферов с увеличенным ходом (при необходимости);
- 6) применена новая обвязка и увеличена высота боковых стен кузова;
- 7) принципиально изменено поперечное сечение крыши: изменены радиус ската (R900 вместо R5000), высота крыши и профиль обвязки (специальный профиль заменен на гнутый);
- 8) на крыше кузова с нетормозного конца вагона предусмотрено понижение для размещения тормозных резервуаров;
- 9) с нетормозного конца вагона узкая подножка открытого типа заменена на лестницу;
- 10) на вагоне предусмотрена установка унифицированного межвагонного перехода.

Целью проведения прочностных статических испытаний являлось экспериментальное определение напряженно-деформированного состояния несущей металлоконструкции кузова согласно требованиям действующих ГОСТ, при этом определялись фактические напряжения, а также характерные деформации отдельных узлов (перекосы дверных проемов, панелей листовой обшивки стен, крыши). Испытания проводились в цехе опытно-экспериментальных исследований АО НО «ТИВ» в специальном стенде, позволяющем создавать продольные (растяжение-сжатие), вертикальные нагрузки и нагрузки, обусловленные технологией ремонта и производства аварийно-восстановительных работ.

Напряженно-деформированное состояние (микродеформации) несущих элементов кузова при действии нормативных испытательных нагрузок определялось методом тензометрии с использованием микропроцессорной многоканальной тензометрической системы ММТС-64.01. Схемы расположения сечений и установки тензодатчиков показаны на рисунке 1.

При испытаниях кузов вагона подвергался воздействию следующих нормативных нагрузок: продольной нагрузке сжатия 1,0 МН; продольной нагрузке сжатия 2,5 МН; продольной нагрузке растяжения 1,0 МН; продольной нагрузке растяжения 1,5 МН; вертикальной нагрузке тары и брутто; подъему под штатные опоры с одного конца кузова вагона массой брутто; подъему под штатные опоры по двум диагоналям кузова вагона массой тара; подъему за узел сцепного устройства кузова вагона массой тара.

Обработка результатов испытаний и определение напряжений в металлоконструкции кузова вагона производилась по оригинальной программе обработки, разработанной в АО НО «ТИВ» в соответствии с рекомендациями нормативной документации, учитывающей все расчетные режимы нагружения вагона в эксплуатации [2].

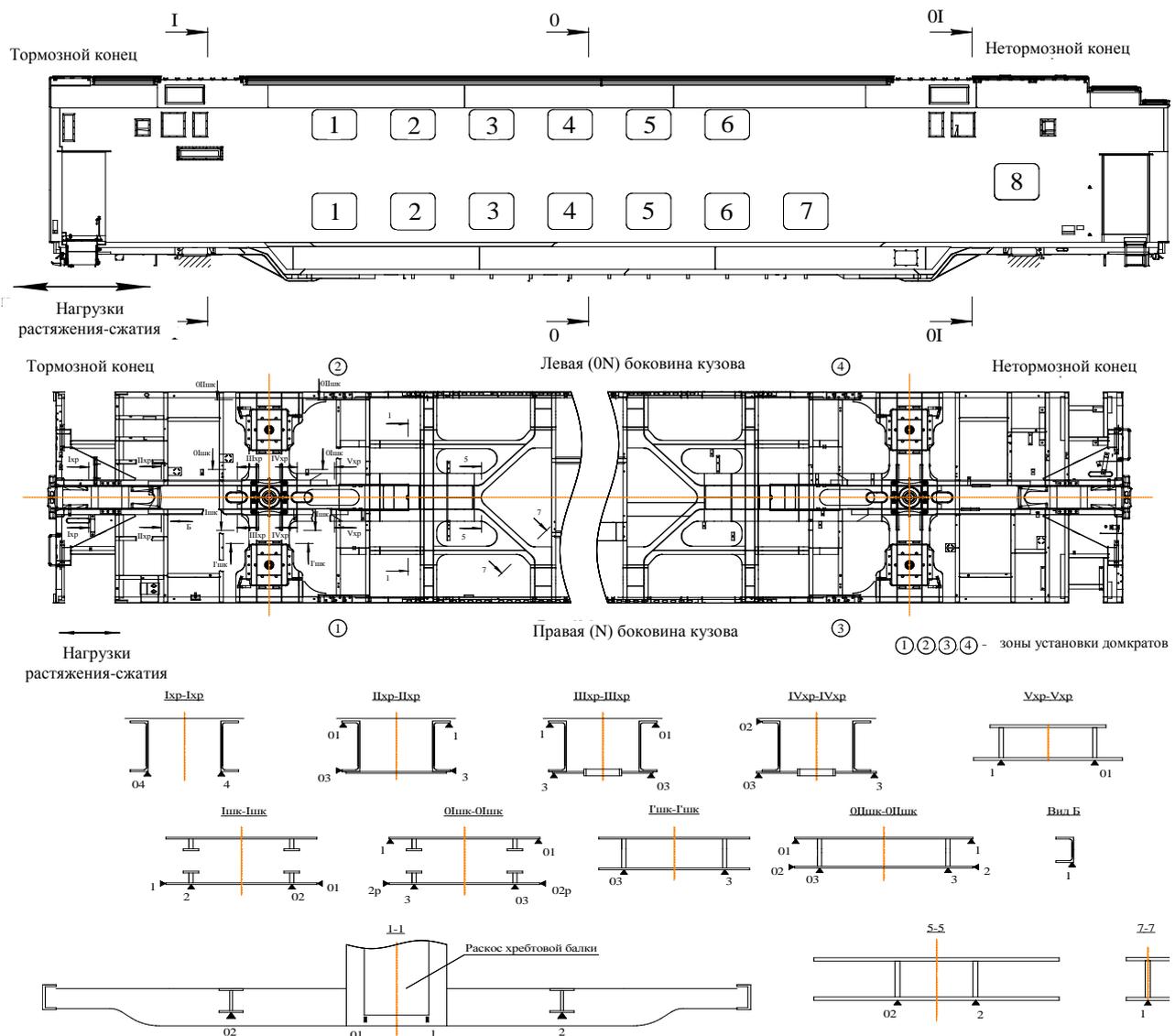


Рисунок 1 – Схемы расположения сечений и установки тензодатчиков

Оценка прочности кузова, по результатам прочностных статических испытаний, выполнена путем сопоставления максимальных экспериментальных напряжений с допускаемыми как по отдельным нагрузкам, так и по их сочетаниям по расчетным режимам. С учетом отсутствия превышения допускаемых напряжений можно сделать вывод о достаточной прочности и соответствии кузова вагона требованиям нормативных документов.

#### Список литературы

- 1 Стратегия развития ОАО «Федеральная пассажирская компания» до 2030 года и основные приоритеты его развития до 2015 года. – М. : ОАО «ФПК», 2012. – 54 с.
- 2 Методика расчетно-экспериментальных исследований кузовов современного подвижного состава / С. Д. Коршунов // Известия ПГУПС. – 2015. – № 4. – С. 38–47.

УДК 629.179

### ИСПЫТАНИЯ НА ПРОЧНОСТЬ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ВАГОНОВ

С. Д. КОРШУНОВ, А. А. СМИРНОВ, Д. А. РОМАШОВ  
 АО НО «Тверской институт вагоностроения», Российская Федерация

Важнейшим средством совершенствования работы железнодорожного транспорта является повышение технического уровня подвижного состава, создание и внедрение новых высокоэффективных

конструкций вагонов, обеспечение производства подвижного состава в количествах, соответствующих растущим потребностям граждан [1]. С каждым годом объемы грузоперевозок страны на железнодорожном транспорте возрастают, в том числе в части почтовых заказов через интернет из сопредельных государств. В связи с этим создаются предпосылки к повышению провозной и пропускной способности железных дорог. Для решения этих задач идет непрерывный процесс создания новых специализированных вагонов, в том числе почтово-багажных, багажных, авто-мобилевозов и вагонов сопровождения.

На собственной испытательной базе специалистами Тверского института вагоностроения (АО НО «ТИВ») проведены прочностные статические испытания вновь разработанных на базе почтово-багажных вагонов производства ОАО «Тверской вагоностроительный завод» конструкций кузовов багажных вагонов. Кузов вагона представляет собой цельнометаллическую несущую конструкцию типа замкнутой оболочки с нерегулярными вырезами в боковых стенах для окон и дверей. Вагон оборудован наружными двустворчатыми грузовыми дверями распашного типа по одной с каждой стороны вагона.

Целью проведения прочностных статических испытаний являлось определение напряжений в несущих элементах металлоконструкции кузова вагона при действии нормативных нагрузок в соответствии с требованиями пп. 4.1.2 и 4.2.2.1 [2, 3]. Напряженно-деформированное состояние (микродеформации) несущих элементов кузова при действии нормативных испытательных нагрузок определялось методом тензометрирования с использованием микропроцессорной многоканальной тензометрической системы ММТС-64.01. Испытания металлоконструкции кузова проводились в помещении цеха АО НО «ТИВ» в специальном стенде, позволяющем создавать продольные (растяжение-сжатие), вертикальные нагрузки и нагрузки, обусловленные технологией ремонта и производства аварийно-восстановительных работ. Вертикальные нагрузки, имитирующие брутто и тару кузова, а также нагрузки, возникающие при эксплуатации и ремонте вагона, создавались штатными приспособлениями стенда, дискретно распределенными по полу кузова вагона.

При прочностных статических испытаниях кузов вагона подвергался воздействию следующих нормативных нагрузок:

- 1) продольные нагрузки: сжатия 1,0 МН и 2,5 МН, приложенные к задним упорам хребтовой балки; растяжения 1,0 МН и 1,5 МН, приложенные к передним упорам хребтовой балки;
- 2) вертикальная нагрузка тары и брутто;
- 3) ремонтные нагрузки: поднятие экипированного кузова вагона массой тары на двух домкратах по двум диагоналям; поднятие экипированного кузова вагона массой тары за сцепку; поднятие кузова вагона массой брутто под концы шкворневой балки.

Схемы расположения сечений и установки тензодатчиков, учитывающие особенности реальной металлоконструкции кузова, поданного на испытания, показаны на рисунке 1. При этом особое внимание уделялось напряженному состоянию основных несущих элементов рамы, зонам концентрации в углах вырезов и узлам соединения элементов, имеющих существенное различие геометрических характеристик сечений.

Сочетание основных нагрузок по I, II и III расчетным режимам выполнено согласно [3, таблицы 8.1 и 8.3]. Обработка результатов испытаний и определение напряжений в металлоконструкции кузова вагона производилась в АО НО «ТИВ» в соответствии с рекомендациями нормативной документации [2–4].

Экспериментальные напряжения, зарегистрированные в несущих элементах кузова вагона при действии нормативных испытательных нагрузок по пп. 4.1.2 и 4.2.2.1 [2], а также по I–III расчетным режимам не превышали допускаемых значений.

Оценка прочности кузова выполнялась сопоставлением максимальных напряжений по каждому режиму нагружения с допускаемыми. При проведении испытаний отсутствовала потеря устойчивости кузова, а также превышение допускаемых напряжений во всех исследованных несущих элементах металлоконструкции кузова вагона.

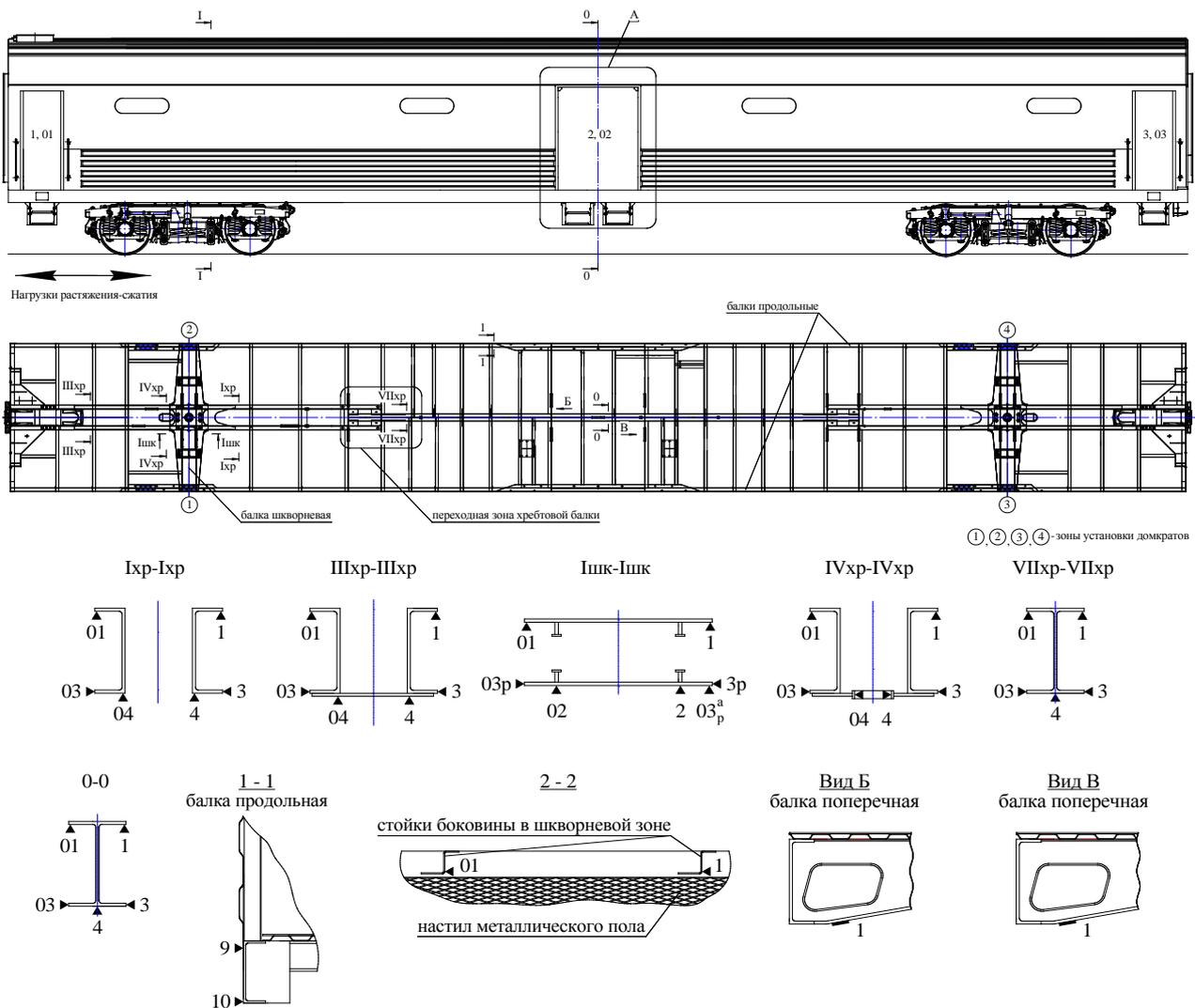


Рисунок 1 – Схема расположения тензодатчиков на несущей металлоконструкции кузова вагона

По аналогичной методике проведены испытания кузова почтово-багажного вагона. Полученные результаты проведенных испытаний кузовов вагонов соответствуют нормативным требованиям [2, 3].

#### Список литературы

- 1 Стратегия развития ОАО «Федеральная пассажирская компания» до 2030 года и основные приоритеты его развития до 2015 года. – М. : ОАО «ФПК», 2012. – 54 с.
- 2 ГОСТ 55182-2012 Вагоны пассажирские локомотивной тяги. Общие технические требования – М. : Союзинформ, 2013. – 24 с.
- 3 Нормы для расчета и проектирования новых и модернизируемых вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). – М. : ВНИИВ-ВНИИЖТ, 1983.
- 4 Коршунов, С. Д. Методика расчетно-экспериментальных исследований кузовов современного подвижного состава / С. Д. Коршунов // Известия ПГУПС. – 2015. – № 4. – С. 38–47.

УДК 629.179

## АСПЕКТЫ ИСПЫТАНИЙ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ВАГОНОВ ДЛЯ ПЕРЕВОЗКИ АВТОМОБИЛЕЙ И МОТОЦИКЛОВ В ПАССАЖИРСКИХ ПОЕЗДАХ

С. Д. КОРШУНОВ, А. Г. УДЕЛЬНОВ, С. Л. САМОШКИН  
АО НО «Тверской институт вагоностроения», Российская Федерация

Одним из направлений стратегии АО «Федеральная пассажирская компания» (АО «ФПК») является создание конкурентных преимуществ пассажирского транспорта путем формирования акту-

альных клиентоориентированных предложений по представлению новых услуг в поездах дальнего следования [1, 2]. В настоящее время возникла стабильная потребность междугородной и даже международной перевозки легковых автомобилей пассажиров, путешествующих в поездах дальнего следования. В связи с этим АО «ФПК» была проведена работа по внедрению перевозки легковых автомобилей пассажиров в специальных вагонах-автомобилевозах, следующих в составе магистральных пассажирских поездов. Для этого по разработанному АО «ФПК» техническому заданию проектно-конструкторское бюро пассажирского хозяйства (ПКБ ЦЛ ОАО «РЖД») был разработан вагон пассажирский для перевозки легковых автомобилей. Вагон создан на базе вагона типа 47Д постройки Германии при проведении капитально-восстановительного ремонта (КВР) на вагоноремонтных заводах.

Первый автомобилевоз по конструкторской документации Л1.0218.04.00.000 был изготовлен при проведении КВР на Воронежском вагоноремонтном заводе. При проведении КВР системы электрооборудования, отопления, водоснабжения, вентиляции, перегородки и полки были демонтированы. В кузове завариваются все окна и две входные двери (по диагонали), бельевого ящик срезается и отверстие в полу заваривается. В торцевых стенах вагона устанавливаются секционные ворота (рольставни) для обеспечения погрузки/выгрузки автомобилей и оборудование с запорными устройствами изнутри. В грузовом помещении установлен настил пола, погрузочные устройства (аппарели) для заезда автомобилей. Торцевые ворота выполнены в виде рольставней. Внутри вагона рольставни запираются навесными замками, снаружи вагона – врезным замком. Светильники располагаются на потолке и боковых стенах вагона. Кроме того, устанавливается система автоматического пожаротушения и охранная сигнализация, управление которыми осуществляется из вагона сопровождения. Энергоснабжение освещения и питание хвостовых сигнальных фонарей в пути следования осуществляется через пролетную магистраль от вагона сопровождения. Крепление полезного груза в вагоне должно производиться только квалифицированным персоналом в соответствии с действующими инструкциям ОАО «РЖД» и руководством по эксплуатации вагона (РЭ).

Кузов вагона представляет собой сварную цельнометаллическую несущую конструкцию типа замкнутой оболочкой, подкрепленную набором продольных (гофры, стрингеры) и поперечных (стойки, дуги) элементов жесткости и состоит из крыши, двух боковых стен, торцевых проемов, рамы с полом, двух диагональных боковых входных дверей, двух торцевых ворот. Вагон установлен на серийные двухосные тележки типа КВЗ-ЦНИИ, предназначенные для подкатки под пассажирские, почтовые, багажные, а также специальные вагоны железных дорог колеи 1520 мм, для скоростей движения вагона до 160 км/ч. Рама тележки представляет собой сварную H-образную конструкцию, надрессорный брус также сварной, коробчатого сечения. Колесные пары с буксовыми узлами на подшипниках качения. Тормоз тележек колодочный с двухсторонним нажатием тормозных колодок. Подвешивание двухступенчатое. Элементы металлоконструкции вагона выполнены из конструкционной стали обыкновенного качества марки Ст3 с пределом текучести 250 МПа.

Для оценки соответствия нормативным требованиям Тверским институтом вагоностроения проведены комплексные испытания вагона-автомобилевоза в составе пассажирского поезда. Комплексные испытания первого вагона, изготовленного Воронежским ВРЗ, включали в себя прочностные статические испытания металлоконструкции кузова вагона на прочность, испытания на соударения со штатным грузом (автомобилем), испытания по оценке пожарной безопасности, тормозные испытания, ходовые динамико-прочностные испытания, электротехнические испытания, контроль массы тары вагона, испытания на соответствие строительному очертанию габарита и др.

Прочностными статическими испытаниями на нормативные нагрузки методом тензометрирования определены максимальные напряжения более чем в 200 точках несущих элементов металлоконструкции вагона от эксплуатационных продольных и вертикальных нагрузок, предусмотренных [4–6].

Испытаниям на соударения до достижения нормативной силы соударения 2,5 МН подвергался полностью экипированный полезной нагрузкой вагон для перевозки легковых автомобилей. Полезная нагрузка распределена по площади пола согласно штатному размещению автомобилей.

После каждого удара проводился осмотр испытуемого вагона, автомобиля и его креплений. Помимо контроля напряжений в несущих элементах и силы соударения проводилась регистрация ускорений оборудования и штатного груза – автомобиля. Определялись зависимости продольных ускорений, зарегистрированных на автомобиле и на полу кузова вагона, от силы удара. Для процессов ускорений на автомобиле характерно присутствие затухающих колебаний, именно их наличие и приводит к появлению ускорений даже больших по величине, чем на металлоконструкции вагона. Спецификой испытаний на соударения вагона для перевозки автомобилей является наличие конструктивно сложных грузов, включающих рессорные комплекты и способствующих дополнительным перемещениям их (грузов) при воздействии инерционной нагрузки. Это обстоятельство предъявляет отдельные требования к технологии проведения испытаний в части дополнительного инструментального и видеоконтроля за состоянием креплений штатного груза и обязывает испытывать не только вагон, но и контролировать после каждого удара системы закрепления груза с учетом его поведения при соударениях. На основании результатов динамико-прочностных ходовых испытаний, используя результаты работы [3–6], были проведены оценки остаточного ресурса вагонов для перевозки легковых автомобилей, изготовленных в процессе проведения капитально-восстановительного ремонта.

Положительные результаты комплексных сертификационных испытаний позволили получить сертификат соответствия и приступить к производству указанных вагонов на Воронежском вагоноремонтном заводе. Первая партия из восьми вагонов была изготовлена в 2010 году. Они вмещают от 3 до 5 легковых автомобилей или до 14 мотоциклов-байков (в зависимости от их моделей). Впервые такие автомобилевозы были включены в состав пассажирских поездов № 31/32 на маршруте Москва – Хельсинки – Москва. В Выборге был создан пункт досмотра автомобилей. Этот вид услуг сразу завоевал большую популярность у пассажиров. Еще большую востребованность получило предложение пассажирам услуги туристического пакета, включающего билеты на проезд с личным автомобилем как железнодорожным, так и морским транспортом. Это стало возможным в результате подписания АО «ФПК» соглашений с морскими перевозчиками в регионе Балтийского моря, а также с железными дорогами Финляндии и Эстонии. Удобство такого вида услуг для пассажиров подкреплено АО «ФПК» и программой скидок, достигающих до 30–35 %. По мере изготовления новых автомобилевозов планируется их запуск на маршрутах Москва – Казань – Москва, Москва – Адлер – Москва, Санкт-Петербург – Адлер – Санкт-Петербург. В связи с вводом в эксплуатацию с 2013 года поездов, сформированных из двухэтажных вагонов по маршрутам Москва – Адлер, Москва – Санкт-Петербург, Москва – Казань, Москва – Самара возникла потребность в обеспечении услуги по перевозке личного транспорта в поездах данного типа. В ответ на обращение АО «ФПК» управлением главного конструктора ОАО «ТВЗ» выпущено извещение об изменении руководств по эксплуатации двухэтажных вагонов 4465.00.00.000 РЭ, 4472.00.00.00 РЭ и 4473.00.00.00 РЭ в части введения указания о возможности включения автомобилевоза с вагоном сопровождения в состав поездов двухэтажных вагонов. На сегодняшний день усилиями ОАО «ТВЗ» на основании согласованного АО «ФПК» технического решения данные работы успешно реализованы.

#### Список литературы

- 1 Стратегия развития ОАО «Федеральная пассажирская компания» до 2030 года и основные приоритеты его развития до 2015 года. – М. : ОАО «ФПК», 2012. – 54 с.
- 2 Самошкин, О. С. Обзор развития услуги по перевозке личных автомобилей в составе пассажирских поездов / О. С. Самошкин // Проблемы и перспективы развития вагоностроения : сб. науч. тр. VII всероссийской науч.-техн. конф. – Брянск : БГТУ, 2016. – С. 117–119.
- 3 Коршунов, С. Д. Разработка методики оценки ресурса несущих конструкций вагонов прошедших капитально-восстановительный ремонт / С. Д. Коршунов, Д. Я. Антипин, М. И. Черкашин // Вестник ВНИИЖТ. – 2011. – № 1. – С. 19–22.
- 4 Коршунов, С. Д. Комплексные испытания, оценка несущей способности и остаточного ресурса специализированного пассажирского вагона / С. Д. Коршунов, О. А. Ворон // Вестник РГУПС. – Ростов н/Д. – 2014. – № 1. – С. 8–13.
- 5 Коршунов, С. Д. Современные методы испытаний железнодорожного подвижного состава, прошедшего ремонт различных объемов и вновь построенного / С. Д. Коршунов // Вагонный парк. – № 7. – 2012. – С. 15–18.
- 6 Коршунов, С. Д. Методика расчетно-экспериментальных исследований кузовов современного подвижного состава / С. Д. Коршунов // Известия ПГУПС. – 2015. – № 4. – С. 38–47.

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ АКУСТИКО-ЭМИССИОННОЙ ДИАГНОСТИКИ  
ПОДШИПНИКОВЫХ УЗЛОВ  
ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОГО АНАЛИЗА**

*М. Г. КУЗНЕЦОВА*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

*А. А. МАРКАВЦОВ*

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

*О. В. ХОЛОДИЛОВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Надежная ходовая часть вагона обеспечивает безопасную работу железнодорожного транспорта. Исследование зон концентрации напряжений и повышенных значений разности главных механических напряжений в конструкции – важная составляющая при расчете структурной целостности, отказов и усталости для прогнозирования срока службы, составления графика технического обслуживания и определения необходимости замены или доработки деталей. Акустико-эмиссионная диагностика как вид неразрушающего контроля позволяет оперативно производить прогнозирование возможных дефектов конструкции, которые могут сократить срок ее службы, и является одним из способов повышения надежности эксплуатации тележек вагонов.

Как известно, препятствиями для прохождения достоверного акустического сигнала от дефекта являются несовпадение скорости распространения поверхностных акустических волн во всех направлениях, наличие на пути сигнала полостей, отверстий, сварных швов и пр. Дальность расположения соответствующего датчика оказывает существенное влияние на точность информации об источнике акустической эмиссии. Поэтому наибольшей эффективности такая диагностика достигает при расположении датчиков непосредственно в местах с расположением зон концентрации напряжений и областей повышенных значений разности главных механических напряжений. Один из способов получения соответствующей информации – проведение предварительного анализа напряженно-деформированного состояния буксового узла на основе конечно-элементного моделирования.

Таким образом, цель представленного исследования – повышение эффективности акустико-эмиссионной диагностики подшипниковых узлов за счет более корректного с точки зрения диагностики расположения датчиков, основанного на предварительном анализе его напряженно-деформированного состояния.

Геометрическая модель буксового узла создана с помощью САД – системы Autodesk Inventor Professional 2019. Для анализа напряженно-деформированного состояния буксового узла применялся инженерный комплекс ANSYS Workbench Static Structural. Рассматривался случай статического нагружения конструкции, равной 265кН и распределенной равномерно по поверхности верхней части внешнего кольца, по которому передается нагрузка на ролики подшипника.

Модель подшипника состоит из внутреннего и наружного стальных колец ШХ15ГС (параметры материала: модуль Юнга –  $1,2 \cdot 10^{11}$  Па, коэффициент Пуассона – 0,3; предел текучести условный  $\sigma_{0,2} = 370 \dots 410$  МПа; предел прочности на растяжение  $\sigma_b = 590 \dots 30$  МПа; относительное удлинение после разрыва  $\delta = 15 \dots 25$  %; относительное сужение  $\psi = 35 \dots 5$  %; ударная вязкость КСУ = 44,0 Дж/см<sup>2</sup>). Между кольцами помещаются ролики из стали ШХ15ГС, которые с помощью сепаратора (клетки) удерживают их на одинаковом расстоянии друг от друга. Полиамидные сепараторы буксового роликового цилиндрического подшипника изготавливают из полиамида РА66 или РА6, упрочненного стекловолокном (предел текучести условный  $\sigma_{0,2} = 90$  МПа; предел прочности на растяжение  $\sigma_b = 110 \dots 230$  МПа; относительное удлинение после разрыва  $\delta = 40$  %; относительное сужение  $\psi = 25$  %; ударная вязкость КСУ = 4,5 Дж/см<sup>2</sup>). Для конечно-элементного анализа были использованы конечные элементы в форме тетраэдра, шестигранника или призмы в зависимости от исследуемой зоны. Результаты расчета напряженно-деформированного состояния (НДС) корпуса буксового узла, МПа, приведены на рисунке 1.

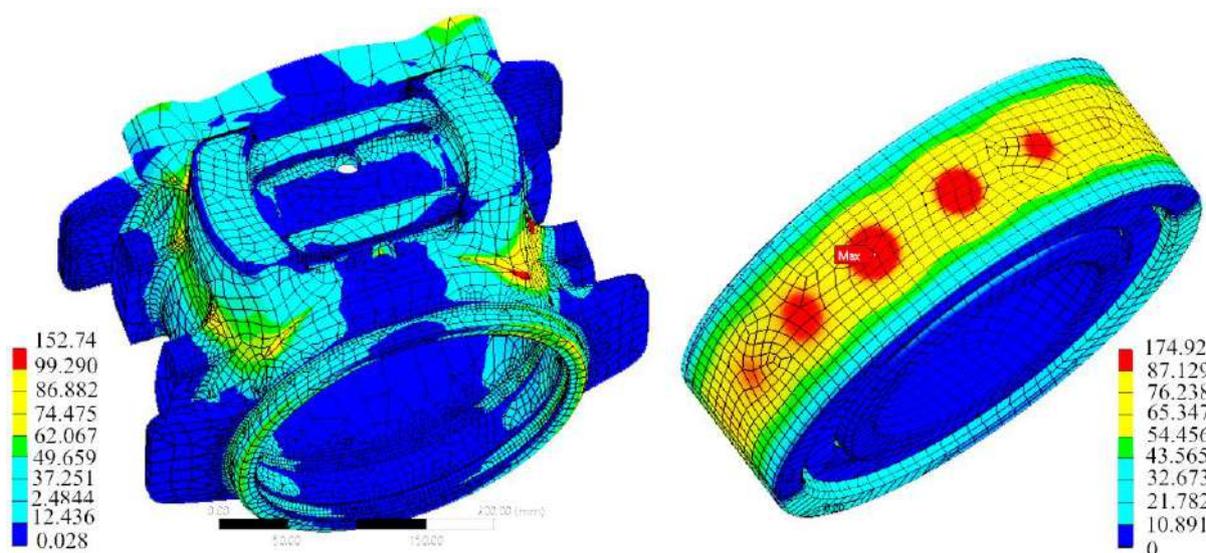


Рисунок 1 – Распределение напряжений по Мизесу в корпусе (слева) и подшипнике (справа) буксового узла

Расчеты показали, что максимальные напряжения во внешнем кольце возникают в момент, когда ролик подшипника находится в самом верхнем положении. Следовательно, установка датчиком акустической эмиссии будет осуществляться именно в этой зоне. Деформация диаметра в направлении челюстей (направляющих поверхностей) корпуса 250 мм не превышает допустимое значение 0,2 мм (максимальное значение 0,0648 мм).

В результате расчета корпуса буксового узла с отверстиями под датчики акустической эмиссии в ребрах жесткости было показано, что деформация диаметра в направлении челюстей корпуса 250 мм не превышает допустимое значение 0,2 мм (максимальное значение – 0,0653 мм). Деформация диаметра в направлении челюстей корпуса 250 мм не превышает допустимое значение 0,2 мм (максимальное значение – 0,064801мм).

Нормальные напряжения корпуса буксового узла тележки грузового вагона не превышают допустимое значение 450 МПа (максимальное значение – 72,37 МПа). Нормальные напряжения корпуса буксового узла с отверстиями под датчики акустической эмиссии в ребрах жесткости не превышают допустимое значение 450 МПа (максимальное значение – 201,79 МПа). В результате расчета корпуса буксового узла с отверстиями под датчики акустической эмиссии около ребер жесткости не превышают допустимое значение 450 МПа (максимальное значение – 108,65 МПа).

Анализ НДС подшипника и корпуса буксового узла показал, что нормальные напряжения и деформации не превышают допустимых значений (0,2 мм и 450 МПа), однако вследствие меньших напряжений (108,65 МПа) в буксовом узле с отверстиями под датчики акустической эмиссии около ребер жесткости рекомендуется использовать данное месторасположение датчиков.

Таким образом, предварительный анализ напряженно-деформированного состояния конструкции с применением метода конечных элементов позволяет выявить наиболее нагруженные зоны, куда впоследствии следует устанавливать датчики акустической эмиссии для более эффективной диагностики дефектов и повреждений.

УДК 006.015.8: 625.1

## ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ К ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМУ ПОДВИЖНОМУ СОСТАВУ

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

Деятельность Евразийского экономического союза (далее – ЕАЭС) основана на «Договоре о ЕАЭС» [1], приложение IX которого посвящено вопросам технического регулирования. В соответ-

ствии с данным приложением, обязательные для применения и исполнения на территории ЕАЭС требования безопасности к продукции устанавливаются техническими регламентами, принятыми Евразийской экономической комиссией.

В области железнодорожного транспорта на настоящий момент действуют три технических регламента: ТР ТС 001/2011 «О безопасности железнодорожного подвижного состава» (далее – ТР ТС 001/2011) [2], ТР ТС 002/2011 «О безопасности высокоскоростного железнодорожного транспорта» [3] и ТР ТС 003/2011 «О безопасности инфраструктуры железнодорожного транспорта» [4]. В ряде случаев требуется подтверждение соответствия сопутствующим техническим регламентам (например, ТР ТС 032/2013 «О безопасности оборудования, работающего под избыточным давлением» [5]). ТР ТС 001/2011 устанавливает требования безопасности к железнодорожному подвижному составу с конструкционной скоростью до 200 км/ч включительно, выпускаемому в обращение для использования на железнодорожных путях общего и необщего пользования шириной колеи 1520 мм на таможенной территории ЕАЭС.

К железнодорожному подвижному составу относятся: автомотрисы; вагоны (бункерного типа, изотермические, крытые, пассажирские, платформы, самосвалы, цистерны, для промышленности); газотурбовозы; дизель-поезда; дизель-электропоезда; полувагоны; рельсовые автобусы; специальный железнодорожный подвижной состав (несамоходный и самоходный); тепловозы; транспортеры железнодорожные; электровозы (магистральные и маневровые); электромотрисы; электропоезда.

Безопасность железнодорожного подвижного состава обеспечивается путем:

- осуществления комплекса научно-исследовательских работ при проектировании;
- выбора материалов при проектировании в зависимости от условий эксплуатации;
- соблюдения процедуры постановки на производство;
- применения апробированных технических решений;
- установления назначенных сроков службы или ресурсов;
- проведения технических обслуживаний и ремонтов с необходимой периодичностью;
- установления критериев предельных состояний;
- определения условий и способов утилизации.

Соответствие требованиям безопасности [2] обеспечивается путём непосредственного выполнения этих требований или путём выполнения на добровольной основе требований стандартов, приведенных в перечне международных и межгосударственных стандартов. Неприменение этих стандартов не может рассматриваться как несоблюдение требований [2], но при этом необходимо разрабатывать обоснование безопасности – документ, содержащий анализ риска, а также сведения из документации (конструкторской, эксплуатационной, технологической) о минимально необходимых мерах по обеспечению безопасности. Выполнение этих мер обеспечивает: безопасность излучений; биологическую безопасность; взрывобезопасность; механическую безопасность; пожарную безопасность; термическую безопасность; химическую безопасность; электрическую безопасность; электромагнитную совместимость в части обеспечения безопасности работы приборов и оборудования; единство измерений. Обоснование безопасности должно сопровождать железнодорожный подвижной состав на всех стадиях жизненного цикла и дополняться сведениями о результатах оценки рисков на стадии эксплуатации после проведения ремонта.

Железнодорожный подвижной состав должен обеспечивать:

- безопасную эксплуатацию с учетом внешних климатических и механических воздействий;
- прочность при допустимых режимах нагружения и воздействиях;
- отсутствие пластических деформаций при приложении предельных динамических нагрузок;
- сопротивление усталости при малоцикловых и многоцикловых режимах нагружения;
- техническую совместимость с инфраструктурой железнодорожного транспорта и другим железнодорожным подвижным составом;
- соблюдение габарита железнодорожного подвижного состава;
- устойчивость от схода колеса с рельса;
- устойчивость от опрокидывания в криволинейных участках пути;
- непревышение погонных нагрузок, предельно допустимых сил по воздействию на путь;
- непревышение предельно допускаемых сил тяги, торможения и величины ускорения;
- предотвращение самопроизвольного ухода с места стоянки;
- предотвращение падения составных частей на железнодорожный путь;

- проход в сцепе по сортировочным горкам и (или) аппарели съезда;
- сцепление в криволинейных участках пути;
- сцепление единиц подвижного состава для передачи сил в режимах тяги и торможения;
- допустимый тормозной путь при экстренном торможении;
- выполнение требований пожарной безопасности;
- санитарно-эпидемиологическую и экологическую безопасность;
- электромагнитную совместимость электрооборудования в части безопасности работы приборов и оборудования;
- электромагнитную совместимость электрооборудования с устройствами железнодорожной автоматики и телемеханики, железнодорожной электросвязи;
- безопасность и надежность работы электрооборудования при номинальных и граничных режимах электроснабжения;
- безопасность конструкции грузовых, почтовых и багажных вагонов при погрузке и разгрузке с применением средств механизации;
- отсутствие непредусмотренных конструкторской документацией касаний составных частей между собой, способных привести к их повреждению.

Маркировка железнодорожного подвижного состава должна включать:

- единый знак обращения продукции на рынке ЕАЭС;
- наименование изготовителя или его товарный знак;
- наименование изделия, обозначение серии или типа, номер;
- дату изготовления;
- массу тары вагона или служебную массу;
- конструкционную скорость;
- табличку или надпись о проведенных ремонтах;
- грузоподъемность (для грузовых, почтовых и багажных вагонов);
- число мест для пассажиров.

Железнодорожный подвижной состав выпускается в обращение при наличии руководства по эксплуатации, которое включает сведения о конструкции, принципе действия, характеристиках железнодорожного подвижного состава и указания, необходимые для правильной и безопасной эксплуатации и оценки технического состояния при определении необходимости отправки в ремонт, а также сведения по утилизации.

#### Список литературы

1 Договор о Евразийском экономическом союзе (подписан в г. Астане 29.05.2014) ; ред. от 08.05.2015 (с изм. и доп., вступ. в силу с 12.02.2017) [Электронный ресурс] : сайт Евразийской экономической комиссии. – Режим доступа : <http://www.eurasiancommission.org/>. – Дата доступа : 07.07.2020.

2 ТР ТС 001/2011. О безопасности железнодорожного подвижного состава / Евразийская экономическая комиссия. – Минск : Госстандарт – БелГИСС, 2012. – 52 с.

3 ТР ТС 002/2011. О безопасности высокоскоростного железнодорожного транспорта / Евразийская экономическая комиссия. – Минск : Госстандарт. – БелГИСС, 2012. – 50 с.

4 ТР ТС 003/2011. О безопасности инфраструктуры железнодорожного транспорта / Евразийская экономическая комиссия. – Минск : Госстандарт – БелГИСС, 2012. – 38 с.

5 ТР ТС 032/2013. О безопасности оборудования, работающего под избыточным давлением : принят от 02.07.2013 г. № 41 / Евразийская экономическая комиссия. – Минск : Госстандарт, 2013. – 33 с.

УДК 625.03

### АНАЛИЗ СИЛ, ДЕЙСТВУЮЩИХ НА ПОРОЖНИЙ ВАГОН, ПРИ ВПИСЫВАНИИ В КРИВЫЕ УЧАСТКИ ПУТИ

*Е. Г. ЛЕОНЕНКО*

*Красноярский институт железнодорожного транспорта – филиал Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Красноярск, Российская Федерация*

Проблема сходов подвижного состава и безопасности движения всегда привлекала повышенное внимание ученых и руководителей железнодорожного транспорта. Она никогда не выпадала из по-

ля зрения проектно-конструкторских и научных организаций при разработке и проектировании подвижного состава и конструкции пути, создании технического обслуживания и ремонта для повышения и обеспечения устойчивого движения поездов, выработке технических решений по сокращению сходов.

При вписывании вагона в кривую, на колесную пару в точке контакта с рельсом прикладывается целый ряд сил – переменных, постоянных, сил сопротивления, действующих в различных направлениях, причем направление их действия может меняться [3]. Одна часть сил действует, когда тележка находится в состоянии покоя, другая возникает в процессе взаимодействия рельсовой колеи и колес вагона. Действие этих сил для всех колесных пар вагона и тележки и их взаимодействие с рельсовой колеей является решающим для определения степени безопасности от схода с рельсов набегающих и свободно двигающихся колесных пар.

В качестве условий равновесия вагона необходимо выполнить уравнения моментов и составляющих сил:

– уравнение продольных сил

$$F + \sum_{j=k}^k V_{ij} - F_{\text{тр}}(\sin\alpha \sin\alpha) = 0;$$

– уравнение поперечных сил

$$\sum_{j=k}^k H_{ij} - F_{\text{тр}}(\sin\gamma \cos\gamma) = 0;$$

– уравнение вертикальных сил

$$-F_{\text{тр}}\cos\gamma - \sum_{j=k}^k P_{ij} = 0;$$

– уравнение моментов относительно поперечной оси

$$F t_1 + \sum_{j=k}^k P_{ij} b - \sum_{j=k}^k H_{ij} t = 0;$$

– уравнение моментов относительно вертикальной оси

$$-F a_{\text{кп}} + M_{\text{кр}} + \sum_{j=k}^k H_{ij} b - \sum_{j=k}^k V_{ij} a_{\text{кп}} = 0.$$

В процессе движения вагона в точке контакта колеса и рельса происходят постоянные изменения горизонтальных поперечных и вертикальных сил, что значительно усложняет определение этих сил в определенный момент времени. Поэтому для более точного расчета сил, действующих на вагон при движении в кривом участке пути, экипаж рассматривается в статическом равновесии.

При определении сил в точке контакта колеса и рельса был учтен ряд особенностей [1]:

- колеса в колесной паре (левое и правое) имеют жесткое соединение на оси;
- колесные пары объединены в общую раму, что не позволяет им перемещаться относительно друг друга;

- профиль колеса, который состоит из основных элементов поверхности катания: образующей конической поверхности и переход к гребню различных радиусов, а также на гребне – образующая конической поверхности гребня и различного радиуса переход к вершине гребня;

- головка рельса также имеет сложный профиль, состоящий из элементов различных радиусов.

В качестве примера были выбраны три кривые в которых произошли сходы вагонов внутрь кривой. Полученные значения представлены на рисунке 1.

В результате расчетов скоростей выполнен анализ зависимости перехода в положение свободной установки от возвышения наружного рельса  $h_p$  и зазора  $2\delta$  между гребнем и рельсом для кривых разных радиусов. Во всех случаях существует зависимость зазора  $2\delta$ , причем, как показали расчеты, она возрастает с увеличением радиуса кривой.

Из анализа динамических паспортов можно сделать вывод, что тележки вагонов в интервале допустимых скоростей от 0 до 80 км/ч находятся в положении наибольшего перекоса. Следует отметить, что в положении наибольшего перекоса образуется момент, приводящий к дополнительному развороту вагона в колее и созданию условий для сдвига.

Для кривых больших радиусов характерна большая зависимость от возвышения наружного рельса ввиду малой центробежной силы, которая сопоставима или меньше центростремительной силы, обусловленной возвышением наружного рельса.

Можно сделать вывод, что чем больше зазор между колесом и рельсом и чем меньше возвышение наружного рельса, тем быстрее наступает положение свободной установки.

При увеличении зазора момент, вызывающий дополнительный разворот тележки внутрь кривой, становится меньше, тем самым снижается вероятность схода подвижной единицы. Исчезновению момента способствует увеличение зазора между внутренней гранью головки рельса и гребнем бандажа.

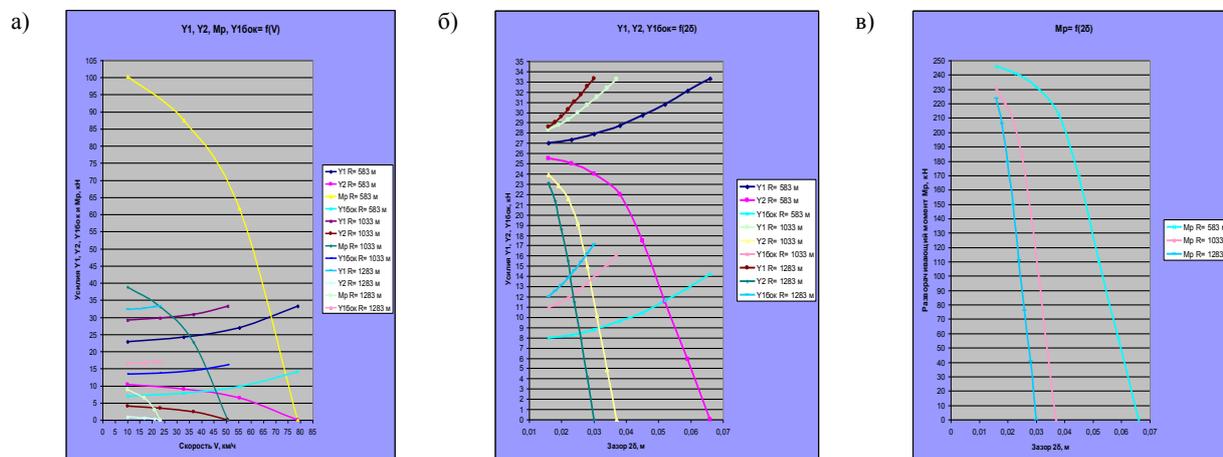


Рисунок 1 – Зависимости: а – усилий  $Y_1$ ,  $Y_2$ ,  $Y_{1\text{бок}}$  и  $M_p$  от скорости  $v$ ; б – усилий  $Y_1$ ,  $Y_2$ ,  $Y_{1\text{бок}}$  от зазора  $\delta$ ; в – разворачивающего момента  $M_p$  от зазора  $\delta$

Увеличение зазора между первой по ходу колесной парой и внутренней гранью головки рельса от 16 до 66,2 мм ведет к увеличению направляющих усилий  $Y_1$  от 27,03 кН до 33,3 кН при радиусе  $R = 583$  м, для порожнего вагона – в 1,23 раза. Значения направляющих усилий  $Y_2$  изменяются от 25,5 кН до 0 с увеличением в таких же пределах зазора; это означает, что подвижная единица быстрее переходит в положение свободной установки [2].

Как показали расчеты, численные значения поперечных горизонтальных усилий, действующие в плоскости контакта колес и рельсов малы и сами по себе никакой опасности при вписывании не представляют и схода вызвать не могут, даже при нахождении вагона в положении наибольшего перекаса. Значит, причину следует искать в соотношении сил давления в точке контакта колеса и рельса и горизонтальных поперечных усилий.

#### Список литературы

- 1 Леоненко, Е. Г. Взаимодействие пути и порожних грузовых вагонов при движении в прямых и кривых участках пути / Е. Г. Леоненко // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – Иркутск. – 2019. – Т. 63, № 3. – С. 148–154.
- 2 Николаев, В. А. Причины схода порожнего подвижного состава на Красноярской и Восточно-Сибирской железных дорогах / В. А. Николаев, Е. П. Капустина, Е. Г. Леоненко // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. – Екатеринбург. – 2019. – № 1 (41). – С. 47–53.
- 3 Леоненко, Е. Г. Анализ сходов порожних вагонов на Красноярской и Восточно-Сибирской железных дорогах / Е. Г. Леоненко // Инновационные технологии на железнодорожном транспорте : труды XXII Межвузовской науч.-практ. конф. КРИЖТ ИрГУПС. – Красноярск : КРИЖТ, 2018. – С. 35–39.

УДК 621.3.035.138

## ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПОКРЫТИЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ЛОКОМОТИВОВ, НА ОСНОВЕ ГАЛЬВАНИЧЕСКОГО ХРОМА, МОДИФИЦИРОВАННОГО НАНОРАЗМЕРНЫМИ ПРОДУКТАМИ ИМПУЛЬСНОЙ ЛАЗЕРНОЙ АБЛЯЦИИ КРЕМНИЯ В ВОДНОЙ СРЕДЕ

С. Д. ЛЕЩИК, А. С. ГОНЧАРОВ

Гродненский государственный университет им. Янки Купалы, Республика Беларусь

**Введение.** Предельный износ многих деталей локомотивов (втулки цилиндры дизеля, поршни дизеля, плунжерные пары, посадочные поверхности валов и т. п.) составляют десятые и сотые доли

миллиметра. Большую эффективность при восстановлении подобных деталей дают гальванические покрытия, которые позволяют не только восстановить первоначальные размеры, но и значительно улучшить качество поверхности, увеличив ее износостойкость. Преимущества хромирования: высокая твердость покрытий, жаропрочность, низкий коэффициент трения и устойчивость к воздействию влажной атмосферы, большинства кислот и щелочей. Основные недостатки процесса хромирования: энергоемкость и малая производительность. Ввиду этого целесообразным представляется осаждение покрытий на основе хрома и ультрадисперсных частиц из наноэлектролитов. При этом возможно формирование композиционного покрытия с улучшенными эксплуатационными характеристиками [1, 2]. Это позволяет снизить толщину наносимого слоя и, соответственно, энергетические и временные производственные затраты. Однако не все дисперсные модификаторы способны внедриться в хромовую матрицу и упрочнить ее [2]. С микрочастицами композиционное покрытие зачастую не образуется [2]. Эффективность же наночастиц как модификатора более высокая. Наноэлектролит, приготовленный с добавлением порошка наночастиц, зачастую таковым не является, т. к. в процессе хранения частицы слеживаются и попадают в электролит в виде микроразмерных агрегатов. Перспективным представляется использование электролитов, приготовленных на основе воды, в которой и проходил синтез наночастиц. Метод импульсной лазерной абляции (ИЛА) твердофазных веществ в водной среде представляется в этом случае весьма привлекательным для получения наножидкостей и в последующем наноэлектролитов. Целью настоящей работы явилось исследование характеристик покрытий на основе гальванического хрома, осажденного из электролита, содержащего продукты ИЛА кремния в водной среде.

**Материалы, методика и техника эксперимента.** Электроосаждение хрома осуществляли на подложку из стали 45. Для получения наноэлектролита использовали дистиллированную воду, в которой проводили абляцию и содержащую, таким образом, наноразмерные и субмикронные частицы. Для получения модифицированных и контрольных образцов готовили электролит хромирования с использованием водной наносuspension и дистиллированной воды соответственно. Использовали рецептуру стандартного сульфатного электролита хромирования на основе шестивалентных соединений хрома следующего состава: ангидрид хромовый – 230–270 г/дм<sup>3</sup>, кислота серная – 2,3–2,7 г/дм<sup>3</sup>.

В качестве твердофазного полуфабриката для получения наночастиц в дистиллированной воде использовали кремний. Абляцию проводили излучением неодимового лазера LS-2147 с длиной волны 532 и 355 нм. Частота импульсов составляла от 1 до 10 Гц. Энергия в импульсе варьировалась от 15 до 120 мДж. Длительность импульсов составляла 30 нс (16 нс на полувысоте импульса). Лазерное излучение фокусировалось на мишень, находящуюся под слоем жидкости, в пятно диаметром до 0,5 мм.

Контроль маслосъемности покрытий проводили методом, основанным на определении количества масла, адсорбированного покрытием. Образцы с нанесенным покрытием промывали в ацетоне и сушили при температуре 60 °С. Затем образцы взвешивали на аналитических весах, погружали в масло, нагретое до температуры 130 °С, и выдерживали в нем до остывания до комнатной температуры. После этого образцы извлекали, удаляли избыток масла и взвешивали повторно.

Триботехнические испытания проводили по схеме «вал-частичный вкладыш». На вкладыш из стали 45 наносили покрытие при режимах износостойкого хромирования. Вал изготавливали из закаленной стали X12M.

**Результаты.** Ранее установлено, что продукты ИЛА кремния в воде преимущественно имеют размер до 100 нм с максимумом распределения частиц по размеру в области от 20 до 60 нм [3].

Данные измерений свидетельствуют об увеличении маслосъемности, г/см<sup>2</sup>, покрытий, осажденных из наноэлектролитов (таблица 1). Установлено, что увеличение температуры при хромировании способствует образованию покрытий с меньшей маслосъемностью.

Таблица 1 – Значения маслосъемности ( $M \cdot 10^{-5}$ ) хромовых покрытий

Катодная плотность тока хромирования $I$ , А/дм <sup>2</sup>	Осаждение из стандартного электролита при температуре, °С				Осаждение из наноэлектролита при температуре, °С			
	45	50	55	60	40	50	55	60
30	1,4	1,5	1,3	1,2	1,6	1,6	1,5	1,4
40	1,6	1,6	1,4	1,2	1,8	1,7	1,6	1,4
50	1,4	1,4	1,2	1,1	1,6	1,7	1,5	1,2

Отличительная особенность хромовых покрытий – низкая смачиваемость и плохое удержание жидкого смазочного материала на поверхности. В реальных же условиях эксплуатации хромированным поверхностям приходится работать в условиях недостаточной подачи смазочного материала (граничное трение) или без него (сухое трение) в период пуска и остановки узлов, кратковременного нарушения в режиме работы смазочной системы, аварийной ситуации. В таких условиях на первое место выходит задиростойкость пары трения. В ходе исследований были выполнены испытания покрытий на задиростойкость. Удельная нагрузка задира определялась при скорости нагружения, равной 1 МПа/ч. Нагружение производилось дискретно с шагом 0,05 МПа. Нагрузку задира (критическую нагрузку) определяли по резкому возрастанию силы трения и температуры в зоне контактирования трущихся тел, после чего эксперимент прекращали. Данные по задиростойкости для исследованных материалов показали преимущество покрытия, полученного из нанозлектролита в сравнении со стандартным гальваническим покрытием, осажденным в идентичных режимах хромирования. Данные триботехнических испытаний образцов с хромовым покрытием из стандартного и нанозлектролитов приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты триботехнических испытаний в условиях граничной смазки

В мегапаскалях

Покрытие	Нагрузка задира при скорости скольжения, м/с		
	1,0	2,0	4,0
Из стандартного электролита	2,00	1,85	1,70
Из нанозлектролита	2,50	2,30	2,05

Как можно видеть, наличие в электролите наноразмерных продуктов ИЛА кремния приводит к формированию хромовых покрытий, обладающих большей на 20–24 % стойкостью к задиру в режиме граничного трения в диапазоне скоростей скольжения от 1 до 4 м/с.

**Заключение.** Выявлено, что маслоемкость покрытий на основе хрома, электроосажденных из нанозлектролитов, выше, чем у покрытий, полученных при прочих равных условиях из стандартного электролита. Показано, что наличие в электролите наноразмерных продуктов ИЛА кремния приводит к формированию хромовых покрытий, обладающих большей стойкостью к задиру в режиме сухого и граничного трения.

#### Список литературы

- 1 Триботехнические характеристики композиционных многослойных покрытий / Е. В. Овчинников [и др.] // Трение и износ. – 2000. – Т. 21, № 2. – С. 147–157.
- 2 Сайфуллин, Р. С. Композиционные покрытия и материалы / Р. С. Сайфуллин. – М. : Химия, 1977. – 272 с.
- 3 Лещик, С. Д. Генерация наночастиц при взаимодействии импульсного лазерного излучения с твердофазными материалами в этаноле / С. Д. Лещик, П. И. Шупан, И. Г. Сергиенко // Взаимодействие излучений с твердым телом : материалы 11-й Междунар. конф. ВИТТ-2015, Минск, 23–25 сент. 2015 г. / редкол. : В. М. Анищик (отв. ред.) [и др.]. – Минск : Изд. центр БГУ, 2015. – С. 322–324.

УДК 629.463.5

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ НАГРУЖЕННОСТИ И ПРОЧНОСТИ НЕСУЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ КРЫТОГО ВАГОНА ПРИ ВЕДЕНИИ С НЕГО ОГНЕВЫХ ДЕЙСТВИЙ

*А. А. ЛОВСКАЯ*

*Украинский государственный университет железнодорожного транспорта, г. Харьков*

*А. В. ФОМИН*

*Государственный университет инфраструктуры и технологий, г. Киев, Украина*

*Ю. В. ФОМИНА*

*Жилинский университет, Словакия*

Повышение эффективности использования и конкурентоспособности железнодорожного транспорта вызывает необходимость его привлечения к военно-стратегическим целям. Это обуславлива-

ет необходимость усовершенствования несущих конструкций вагонов для возможности не только перевозок военной техники, но и ведения с них огневых действий при движении.

На сегодняшний день одним из наиболее используемых типов вагонов для перевозки военной техники являются вагоны-платформы. Особенностью этих вагонов является то, что несущая конструкция представлена рамой. В основном эти вагоны используются для перевозки грузов, не требующих защиты от атмосферных осадков. Для перевозки военной техники, нуждающейся в защите от атмосферных осадков возможно используются в крытых вагонах.

Для возможности осуществлять огневые действия из крытых вагонов при движении предложено усовершенствование их несущих конструкций. В качестве прототипа выбран крытый вагон модели 11-217 (ОАО «Алтайвагон», Россия), так как данная модель является наиболее распространенной на железных дорогах СНГ. На базе альбома чертежей вагона создана его пространственная модель в среде программного обеспечения SolidWorks. При создании модели учтены элементы конструкции, которые жестко взаимодействуют между собой сваркой или заклепками. Ко вниманию не приняты передвижные самоуплотняющиеся двери, поскольку они имеют шарнирное соединение с несущей конструкцией.

Для возможности ведения огневых действий в вертикальной плоскости предложено использование раздвижной крыши, которая состоит из роллет,двигающихся с помощью пневматического или гидравлического привода.

С целью размещения военной техники в крытом вагоне на его раме предусмотрены опорные сектора (рисунок 1). Также возможно использование на опорных секторах съемных упоров для фиксации колесной военной техники.



Рисунок 1 – Несущая конструкция крытого вагона для перевозки военной техники и ведения огня

Для исследования закономерностей динамической нагруженности и прочности несущей конструкции крытого вагона от возмущающего воздействия, которое передается на него при ведении огня, использованы классические методы математического моделирования. При составлении дифференциальных уравнений перемещений несущей конструкции крытого вагона использован метод Ла-Гранжа II рода как один из наиболее распространенных в транспортной механике. При исследовании динамической нагруженности вагона учтены параметры рессорного подвешивания тележек модели 18-100. При решении уравнений движения начальные перемещения и скорости приняты равными нулю. Граничными условиями, которые приняты при моделировании является отсутствие износов несущей конструкции вагона. То есть принято предположение, что все составляющие вагона имеют альбомные размеры. Решение уравнений движения проведено в программном комплексе MathCad [1, 2]. В качестве расчетного использован метод Рунге-Кутты.

Установлено, что максимальные вертикальные ускорения, действующие на несущую конструкцию крытого вагона, составляют около  $6 \text{ м/с}^2$  (0,6g). В точках опоры кузова на тележки максимальные ускорения составляют около  $9,5 \text{ м/с}^2$  (0,95g), а ускорения тележек –  $10 \text{ м/с}^2$  (1,0g). При этом для соблюдения допустимой динамической нагруженности вагона сила отдачи от выстрела боевого орудия не должна превышать 3,2 кН.

Также рассмотрен случай вязкого взаимодействия опорных секторов с рамой вагона. Значение коэффициента вязкого сопротивления между секторами и рамой крытого вагона варьировалось в диапазоне 10–100 кН·с/м. Установлено, что для уменьшения динамической нагруженности несущей конструкции вагона при ведении с него огневых действий значение коэффициента вязкого сопротивления должно быть не менее 100 кН·с/м. При этом становится возможным снизить динамическую нагруженность несущей конструкции вагона на 15 %.

Определены основные показатели прочности несущей конструкции крытого вагона при ведении огневых действий. Расчет реализован по методу конечных элементов в программной среде CosmosWorks [3]. В качестве конечных элементов использованы изопараметрические тетраэдры. Оптимальное количество элементов конечно-элементной модели определено графоаналитическим методом [4]. Закрепление модели проводилось в зонах опоры на ходовые части. Материал конструкции – сталь марки 09Г2С. При этом учтено, что на опорные сектора вагона действует вертикальная нагрузка от боевого орудия, сила отдачи при выстреле, а также силы в зонах закрепления боевого орудия к опорному сектору. Установлено, что максимальные эквивалентные напряжения находятся в пределах допускаемых при силе отдачи боевого орудия при выстреле около 3,7 кН. Однако при такой силе отдачи не обеспечивается соблюдение вертикальных ускорений в пределах допускаемых [5, 6]. Поэтому в качестве расчетной принята сила отдачи 3,2 кН. При этом максимальные эквивалентные напряжения возникают в консольных частях хребтовой балки крытого вагона и составляют около 300 МПа, что ниже допускаемых напряжений на 13 % (при значении предела текучести материала  $\sigma_T = 345$  МПа). Максимальные перемещения равны 2,9 мм и сосредоточены в зоне размещения передних упоров автосцепки, максимальные деформации составили  $6,98 \cdot 10^{-3}$ .

Проведенные исследования будут способствовать созданию инновационного подвижного состава для перевозок военной техники и ведения огневых действий при движении.

#### Список литературы

- 1 Dynamic load computational modelling of containers placed on a flat wagon at railroad ferry transportation / O. Fomin [et al.] // VIBROENGINEERING PROCEDIA. – 2019. – Vol. 29. – P. 118–123.
- 2 Research of stability of containers in the combined trains during transportation by railroad ferry / O. Fomin [et al.] // MM SCIENCE JOURNAL. – 2020. – March. – P. 3728–3733.
- 3 **Алямовский, А. А.** SolidWorks/COSMOSWorks 2006–2007. Инженерный анализ методом конечных элементов / А. А. Алямовский. – М. : ДМК Пресс, 2007. – 784 с.
- 4 **Vatulia, G.** Structural Improvements in a Tank Wagon with Modern Software Packages / G. Vatulia, // Procedia Engineering. – 2017. – Vol. 187. – P. 301–307. Doi: 10.1016/j.proeng.2017.04.379
- 5 ДСТУ 7598:2014. Вагони вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових і модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних). – Київ. – 2015. – 162 с.
- 6 ГОСТ 33211–2014. Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам. – М. : Стандартинформ, 2016. – Введ. 2016–01–07. – 54 с.

УДК 621.3.04

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕНЕРАТОРОВ СИНУСОИДАЛЬНОЙ ФОРМЫ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ ИЗОЛЯЦИИ ОБМОТОК СУХИХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

*В. М. ЛЯШУК, А. В. ВЫСОЧАНСКИЙ*

*Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта им. акад. В. Лазаряна,  
Украина*

Системы тягового электроснабжения (СТЭ) содержат большое количество устройств, длительная эксплуатация которых, без надлежащего диагностирования технического состояния, может привести к выходу их из строя и к значительному экономическому ущербу. Для реализации эффективного диагностирования устройств тягового электроснабжения необходимы методики контроля и современные технические средства.

В настоящее время существует оборудование, позволяющее определять межвитковое короткое замыкание в обмотках силовых сухих трансформаторов. Но диагностирование состояния изоляции вызывает определенные трудности.

Предлагается еще один вариант проведения тестирования, основанный на измерении диэлектрических потерь в изоляции обмоток трансформатора путем подачи напряжения относительно высокой (звуковой) частоты. На измерения в большой степени влияет влажность изоляции, поэтому необходимо перед проведением тестирования измерить ее известными методами.

Предварительно проводится общая оценка состояния изоляции обмотки по методике измерения уровня обратного напряжения. Измеряется сопротивление изоляции (при сопротивлении менее 40 МОм дальнейшие измерения не проводятся). Анализ состояния изоляции производится по углу наклона касательной к началу кривой изменения уровня обратного напряжения и его величиной.

Дальнейшее диагностирование производится путем подачи переменного напряжения высокой (звуковой) частоты. Величина напряжения на два порядка меньше уровня рабочей. Применяется последовательный колебательный контур.

Как известно, простейшие резонансные (или колебательные) цепи – последовательный или параллельный колебательные контуры. Рассмотрим цепь, состоящую из последовательно включенных катушек индуктивности (в данном случае индуктивностью является катушка трансформатора, которой исследуется) и конденсатора емкостью 1000 пФ.

Когда частота колебаний генератора совпадает с резонансной частотой контура, возникает резонанс напряжения. По амплитуде напряжения и частоте резонанса делают выводы о пригодности трансформатора.

Для локализации места, где изоляция имеет существенные различия, подача измерительного напряжения на объект, диагностируется, проводится по определенному алгоритму.

Таким образом, проводится неразрушающий контроль состояния изоляции, который предотвращает возникновение короткого замыкания при эксплуатации оборудования и определяет местоположение короткого замыкания, если таковое имеется.

УДК 621.314

## **МЕТОДЫ СНИЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ ЗА СЧЕТ МОДЕРНИЗАЦИИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

*В. М. ЛЯШУК, Я. В. ПОРОДЬКО*

*Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта им. акад. В. Лазаряна,  
Украина*

Железные дороги характеризуются высокой эффективностью использования энергии. Это является важным фактором в конкурентной борьбе с другими видами транспорта. Усиление этой конкуренции играет решающую роль в развитии всех звеньев транспортной отрасли. Несмотря на высокую эффективность использования энергии, ежегодные затраты на нее составляют 4–8 % средств, выделяемых железным дорогам. Успехи в этой области позволят железным дорогам удержать или даже улучшить свои позиции на рынке транспортных услуг.

При разгоне подвижного состава подводится тяговая энергия, которая превращается в кинетическую энергию движения поезда и частично накапливается в поезде. На участках с подъемами начинает действовать дополнительно потенциальная энергия. Суммарная потенциальная энергия поезда пропорциональна его массе. Несмотря на то, что накопленная энергия электрического тягового подвижного состава может затем частично использоваться после соответствующего преобразования, следует помнить: каждое преобразование связано с дополнительными потерями энергии. Тот факт, что уменьшение энергопотребления подвижным составом достигается путем минимизации его массы, подтвержден многими исследованиями. При этом значительная часть рекуперативной энергии может быть возвращена в сеть.

Степень снижения энергопотребления за счет уменьшения массы подвижного состава в каждом отдельном случае зависит от многих граничных условий. Это, например, расстояния между пунктами остановок, наличие уклонов на линии, диапазон скорости движения, а также способность машиниста учитывать ряд важных факторов, влияющих на энергопотребление поезда. При этом не существует общей, пригодной для всех случаев, формулы расчета потенциала экономии энергии. Однако было рассчитано, что при уменьшении массы поезда на 10 % экономия энергии достигает 8 %. Для снижения массы подвижного состава используются две основные стратегии. Первая заключается в том, чтобы уменьшать массу отдельных компонентов. При этом, естественно, стремятся к созданию более легких компонентов, неизменности условий их интеграции в общую схему или конструкцию. В соответствии со второй стратегией не только снижают массу отдельных компонентов, но также меняют их функциональные возможности с изменением всей системы, получая в результате уменьшенную общую массу. Часто лучшее решение бывает в случае сочетания обеих стратегий. Поскольку повышение уровня комфорта в пассажирских салонах требует увеличенного потребления энергии бортовой системой электрооборудования, основное усилие по снижению массы целесообразно реализовать именно в этой области.

Преобразователь собственных нужд обеспечивает питание всех вспомогательных устройств на борту тягового подвижного состава. Чаще всего его схема имеет гальваническое разделение между входными и выходными цепями и монтируется в отдельном корпусе:

- изолирующий трансформатор с принудительным охлаждением частотой 50 или 60 Гц и массой 450 кг;
- сваренный подкузовной контейнер из обычной или нержавеющей стали массой около 600 кг;
- дроссель входного фильтра массой 150 кг.

Общая масса такого преобразователя – около 1500 кг. Чтобы ее уменьшить, необходимо снизить массу приведенных основных компонентов. Следует отметить, что масса компонентов собственно силовой электроники играет незначительную роль в общей массе преобразователя. При этом следует исходить из того, что использование новых технологий, основанных на применении новейших и, следовательно, более дорогих силовых электронных приборов, увеличивает возможности снижения общей массы преобразователя. Применение современных полупроводниковых приборов-транзисторов IGBT позволит упростить систему управления, уменьшить размеры преобразователя и улучшить систему охлаждения, что приведет к уменьшению общей массы преобразователя.

УДК 621.335.04:621.333

### **ВЕРОЯТНОСТНЫЙ АНАЛИЗ СТОХАСТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НАПРЯЖЕНИЙ В УЗЛЕ ПРИСОЕДИНЕНИЯ И НА ШИНАХ ТЯГОВОЙ ПОДСТАНЦИИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА**

*Т. Н. МИЩЕНКО, Д. А. ТАПУНОВ, Р. П. ТЫРСОВОЙ, А. Н. ЧИПАК*

*Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта им. акад. В. Лазаряна,  
Украина*

Решение задач повышения эффективности электроснабжения и качества электрической энергии не представляется возможным без знаний характера изменения напряжения в системе электрической тяги, в частности, переменного тока. В данной работе в результате экспериментальных исследований были получены, обработаны и проанализированы случайные (стохастические) процессы напряжения в узле присоединения 110 кВ и напряжения 27,5 кВ на шинах тяговой подстанции А Одесской железной дороги. В результате, в частности, установлено, что межфазные напряжения питающей ЛЭП представляют собой случайный стационарный неэргодический процесс с различными математическими ожиданиями 118,38; 117,44 и 120,32 кВ, а также с среднеквадратическими отклонениями 1,15; 1,37 и 1,22 кВ соответственно. Законы распределения указанных напряжений также различны: от двухмодального к нормальному.

Корреляционные функции межфазных напряжений имеют вид затухающей экспоненты, которая была аппроксимирована выражением  $K_U(\tau) = D_U \exp(-\alpha_U |\tau|)$ . Из анализа характера изменения корреляционных функций напряжений и их «хвостов» вытекает следующее:

а) «хвост» корреляционной функции не затухает, а совершает колебания относительно оси абсцисс (а не какой-то постоянной составляющей), что свидетельствует об отсутствии в исследуемых процессах напряжений постоянной составляющей. В то же время знакопеременный характер «поведения» «хвоста» функции  $K_U(\tau)$  свидетельствует о наличии в структуре процесса  $U(t)$  «слабо» периодических, т. е. низкочастотных, составляющих, которые в промышленной энергетике называются интергармониками и частота которых располагается в интервале  $0 < f < 50$  Гц;

б) относительно медленное затухание корреляционной функции указывает на сохранение тесной связи между мгновенными значениями напряжения при значительных величинах аргумента;

в) отрицательные значения  $K_U(\tau)$  свидетельствуют, что положительным отклонениям значений процесса  $U(t)$  в определенный момент  $t_k$  соответствуют отрицательные отклонения процесса в другой момент времени  $t_{k+1}$ ;

г) корреляционная функция имеет тот же период изменения, что и стохастический процесс  $U(t)$ , то есть, хвост функции содержит те же гармоники, что и сам случайный процесс.

Напряжение 27,5 кВ на шинах тяговой подстанции А также представляет собой случайный стационарный неэргодический процесс с различными значениями математических ожиданий (28,06 и 23,9 кВ) и дисперсий (соответственно 0,358 и 0,237 кВ<sup>2</sup>) в зависимости от плеч нагрузки. Закон распределения напряжений негауссовский: для одного плеча – островершинный, для другого – имеет левостороннюю асимметрию. Характер изменения корреляционных функций аналогичный указанному выше.

## ИДЕНТИФИКАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ТЯГОВОЙ ПОДСТАНЦИИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Т. Н. МИЩЕНКО, В. А. ФАЛИНСКИЙ, К. Р. ХАУСТОВ, М. С. ШАПОВАЛ

*Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта им. акад. В. Лазаряна,  
Украина*

Тяговые подстанции (ТП) постоянного тока электрифицированных железных дорог являются сложными нелинейными динамическими системами, поскольку включают в себя ряд мощных нелинейных устройств: главный понижающий трансформатор, тяговый трансформатор, инверторно-преобразовательный агрегат, сглаживающий реактор, два быстродействующих выключателя, подстанционный пассивный фильтр. Это позволяет утверждать, что практически невозможно построить точную (классическую, или имитационную) модель ТП. Поэтому со времен начала электрификации железных дорог и до настоящего времени как в отечественных, так и в зарубежных публикациях в качестве модели ТП принимают источник постоянного напряжения, последовательно соединенный с резистивным элементом, иногда добавляют индуктивность. Понятно, что участок R–L не может заменить указанные выше устройства. Во-вторых, в работах не обосновываются значения параметров R, L.

По нашему мнению, задачу построения модели ТП можно решить идентификационными методами, то есть, построением идентификационной модели, под которой понимается модель «вход–выход», основанная на известных входном и выходном процессах системы, полученных в условиях реальной ее эксплуатации. В настоящее время идентификационные модели применяют в виде «классических» форм: дифференциального или интегрального оператора, интегро-дифференциального уравнения, импульсной переходной (весовой) функции, передаточной или частотной функций и др. Наиболее часто в качестве идентификационной модели принимают весовую функцию, поскольку она является исчерпывающей характеристикой любой, а следовательно и электроэнергетической, системы.

Модель может быть создана для детерминированных (неслучайных) и случайных входных и выходных процессов. В случае стохастических процессов искомая весовая функция – результат решения интегрального уравнения Винера – Хопфа, что пока является сложной задачей. Поэтому в данной работе осуществлено построение модели для детерминированных входного (до ТП) и выходного напряжений.

Выражение мгновенного входного фазного напряжения (в узле присоединения 35 кВ) может быть записано как

$$u_{\text{л}}(t) = 35 \cdot \sqrt{2} \sin(\omega_{\text{л}} t + \psi_{\text{и}}) = 49,35 \sin(314t + 53,8^\circ) \text{ кВ},$$

а в операторной (по Лапласу) форме –

$$U_{\text{л}}(\bar{p}) = \frac{49,35(p \sin 53,8^\circ + 314 \cos 53,8^\circ)}{p^2 + 314^2} \text{ кВ}.$$

Поскольку выпрямленное напряжение ТП не является неизменным, а колеблется с  $f = 0,047$  Гц, тогда по аналогии и его мгновенная величина, в первом приближении, может быть представлена как

$$u_{\text{т}}(t) = 3,32 \cdot \sqrt{2} \sin \omega_{\text{т}} t = 4,68 \sin 314t \text{ кВ},$$

а в операторной –

$$U_{\text{т}}(\bar{p}) = \frac{4,68}{p^2 + 314^2}.$$

Поделив  $U_{\text{т}}(\bar{p})$  на  $U_{\text{л}}(\bar{p})$ , получим передаточную функцию  $H(\bar{p})$  тяговой подстанции по напряжению, обратное преобразование которой по Лапласу позволяет получить выражение искомой весовой функции как модели ТП в виде  $h_U(t) = L^{-1} [H(\bar{p})] \approx 23,8 \exp [-250t]$ .

По нашему мнению, основная ценность весовой функции как исчерпывающей характеристики ТП – это возможность прогнозирования напряжения на шинах тяговой подстанции в зависимости от напряжения в узле присоединения 35 кВ.

## ЭКСПЛУАТАЦИЯ ГИБРИДНОГО ПРИВОДА НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

*В. Л. МОИСЕЕНКО, А. В. ДМИТРИЕВ, К. В. МАКСИМЧИК, Н. В. ПИСЬМЕННАЯ*  
*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Ресурсы нашей планеты не бесконечны, и для дальнейшего существования человечества требуется большой запас энергонесущего сырья, в том числе, нефти, из которой изготавливают нефтепродукты и топливо для автомобилей.

Двигатели внутреннего сгорания, применяемые на транспорте, в процессе эксплуатации выделяют большое количество вредных веществ (окиси углерода и азота), загрязняющих атмосферу.

Очевидно, что основной целью создания гибридного привода для различных машин и механизмов, в том числе и на железнодорожном транспорте, является уменьшение выбросов загрязняющих веществ в атмосферу.

«Гибридным» называют привод, содержащий не менее двух различных силовых установок. В основном это сочетание двигателя внутреннего сгорания и электродвигателя, позволяющее максимально использовать их преимущества, при этом компенсируя имеющиеся недостатки [1–3].

Главное достоинство двигателя внутреннего сгорания и его использование в большинстве транспортных средств заключено в запасе движения по топливу. Запас хода достигается благодаря большой концентрации энергии в применяемом топливе. Обратной стороной медали является достаточно высокий уровень шума и большой выброс различных вредных веществ, а также способность эксплуатации только в одном интервале скоростей, что заставляет дополнительно применять такие устройства, как сцепление и трансмиссия.

Также КПД двигателя внутреннего сгорания сравнительно низок, составляет порядка 20–40 % и значительно повышает вредные выбросы при отклонении от равномерного движения.

Электродвигатель, в свою очередь, имеет КПД существенно выше (80–90 %), не выделяет вредных выбросов, практически не производит шума и с момента своего запуска способен создавать крутящий момент.

Однако у электрического двигателя, на сегодня есть ряд ограничений по его применению – ограниченное количество существующих аккумуляторов касательно их веса, размеров и стоимости, пригодных к практическому применению для наземного транспорта.

Развитие гибридного привода осуществляют в двух основных направлениях [4]:

- 1) равноправное объединение двигателя внутреннего сгорания с электродвигателем (так называемые «полные гибриды»);
- 2) оснащение двигателя внутреннего сгорания вспомогательным электродвигателем («неполные гибриды»).

Первое направление, связанное с полными гибридами, активно развивается в области автотранспортных средств, однако на текущий момент не нашло развития на железной дороге из-за необходимости применения габаритных и тяжелых аккумуляторных батарей.

Второе направление развивается более успешно ведущими производителями железнодорожной техники. Имеется два основных варианта конструкций неполных гибридов:

- параллельное сочетание двигателя внутреннего сгорания и электродвигателя («параллельные гибриды»);
- последовательное размещение двигателя внутреннего сгорания и электродвигателя («последовательные гибриды»).

При «параллельном» сочетании источников энергии электродвигатель используют как дополнение к дизельному двигателю. Совместное функционирование дизельного и электрического двигателей в составе гибридного привода позволяет каждому источнику энергии работать в оптимальном режиме, дополняя друг друга при различных условиях эксплуатации. Электродвигатель практически мгновенно дает дополнительную мощность, не расходуя топливо и не загрязняя окружающую среду.

Выпускаемые машины с параллельным расположением источников энергии имеют тяговые электродвигатели постоянного тока. В конструкции этих машин использован двигатель внутреннего сгорания, а также следующие электрические компоненты:

- электрический агрегат, способный работать в режимах генератора и двигателя (мотор-генератор);
- инвертор (преобразователь переменного тока в постоянный, т. е. трансформатор);
- аккумуляторная батарея (конденсатор);
- электродвигатель постоянного тока.

Гибридный привод на тепловозах JR Freight Class HD300 – гибридный дизельный/аккумуляторный колесный тепловоз типа 2o-2o, эксплуатируемый Japan Freight Railway Company (JR Freight) в Японии [5]. После поставки и оценки опытного локомотива в марте 2010 года первый серийный локомотив был введен в эксплуатацию в феврале 2012 года.

В локомотиве используют литий-ионные аккумуляторы, и они предназначены для снижения выбросов выхлопных газов как минимум на 30–40 % и уровня шума не менее чем на 10 дБ по сравнению с существующими тепловозами класса DE10. Испытания, проведенные на Токийском грузовом терминале в июне 2010 года, показали экономию топлива на 36 %, сокращение выбросов NO<sub>2</sub> на 62 % и снижение уровня шума на 22 дБ по сравнению с локомотивом класса DE10.

Локомотив содержит высокоэффективные аккумуляторные батареи большой емкости, выходная мощность которых может обеспечить перевозку 1300 т, что позволяет уменьшить размер двигателя. PMSM используют в качестве двигателя, направленного на повышение эффективности. С конструктивной точки зрения модульная концепция была использована для упрощения технического обслуживания, а также для обеспечения возможности быстрой установки аккумуляторных батарей более высокой производительности.

Применение гибридного привода в специальном подвижном составе. Машина фирмы «Plasser & Theurer» UNIMAT 09-4x4 / 4S E3 предназначена для технического обслуживания путей, которая использует как электрическую энергию от контактного провода, так и дизель-генераторную установку для питания рабочего привода [6]. Plasser & Theurer UNIMAT 09-4x4 / 4S E3 использует электрическую энергию от воздушной линии не только для электрической тяги во время движения, но и для питания блоков трамбовки. Если на участке отсутствует воздушная линия, машина использует дизель-электрический генератор.

Работа машины от линии электропередач осуществляется следующим образом: при контакте токоприемника и ЛЭП напряжение поступает на высоковольтный модуль, после чего переходит на трансформатор. После трансформатора напряжение подается на преобразователь питания, который подает напряжение на электродвигатели, приводящие машину в движение.

Работа машины от дизель-генераторной установки осуществляется следующим образом: в результате возгорания сжатого дизельного топлива образуется энергия расширения газов. В процессе переработки этой энергии с помощью кривошипно-шатунного механизма возникает механическая энергия вращения коленчатого вала. Вал через муфту соединен с ротором генератора. При вращении ротора возбуждается электромагнитное поле, в результате чего появляется электродвижущая сила (ЭДС), создающая исходящее напряжение. Это напряжение, стабилизируемое с помощью устройства управления, подается на электродвигатели, которые приводят машину в движение.

В настоящее время на железной дороге в Республике Беларусь не наблюдают использование гибридного привода на специальном подвижном составе. Но в связи с тем, что в стране интенсивно идет электрификация магистральных железнодорожных линий, возникает необходимость в этих машинах, т. к. гибридный привод имеет больше преимуществ перед обычными машинами с двигателем внутреннего сгорания.

Основные преимущества применения гибридного привода заложены в больших возможностях при достижении требуемых технических характеристик, например:

- 1) экономичность и снижение количества выбросов вредных веществ. Применение электропривода позволяет обеспечить снижение расхода топлива выбросов вредных веществ на 30 % и более в сравнении с традиционными механическими системами;
- 2) компоновочные преимущества. Отсутствие жестких кинематических связей элементов трансмиссии позволяет их применять без существенного изменения существующей компоновки машины;
- 3) увеличение пробега без участия ДВС. Наличие на борту накопителя энергии помимо существенного увеличения экономических и динамических характеристик транспортного средства позволяет обеспечить пробег с выключенной или вышедшей из строя энергетической установкой;
- 4) увеличенное полезное пространство. За счёт использования электромеханической трансмиссии, машина освобождается от компонентов системы привода, в котором размещались механические детали;

5) возможность автоматизации. По своей сути привод электротрансмиссии является полностью автоматическим. Все воздействия машиниста на органы управления машины преобразуются в электрические сигналы системы управления;

6) ремонтпригодность. Достигается благодаря модульности конструкции, которой обладает электропривод, и отсутствию механической связи энергетической установки и колёс, что является классическим примером гибридного привода;

7) режим «электростанция». Энергетическая установка машины имеет возможность обеспечения внешних потребителей электроэнергией, эквивалентной мощности энергетической установки, что позволяет, при необходимости, использовать машину как миниэлектростанцию.

Следует отметить, что использование гибридных установок повышает стоимость машин на 25 %, тем не менее за счет упомянутых технико-экономических достоинств первоначальные финансовые вложения окупятся в период эксплуатации.

#### Список литературы

1 Перспективные технологии : [монография] / А. В. Алифанов [и др.] ; под ред. В. В. Клубовича. Гл. 8 : Технологии гибридных силовых установок – перспективные технологии производства автомобильной техники / Л. Г. Красневский. – Витебск : Изд-во УО «ВГТУ», 2011. – С. 167–187.

2 Power output apparatus and hybrid vehicle: US Pat. № 7,938,208 B2 // Toyota Jidosha K. K. – 2011. – May 10.

3 Electric hybrid powertrain system: US Pat. № 7,572,201 B2 // Ford Global Technologies, LLC. – 2009. – Aug. 11.

4 Довгяло, В. А. Дорожно-строительные машины. В 2 ч. Ч. II. Машины для устройства и ремонта дорожных покрытий : учеб. пособие / В. А. Довгяло, Д. И. Бочкарев. – Гомель : БелГУТ, 2014. – 385 с.

5 Japan Freight Railway Company [Электронный ресурс] : офиц. сайт. – Режим доступа : <https://jref.com>. – Дата доступа : 06.08.2020.

6 Plasser & Theurer [Электронный ресурс] : офиц. сайт. – Режим доступа : <https://www.plassertheurer.com>. – Дата доступа : 08.08.2020.

УДК 625.8

## ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ВАГОНА-САМОСВАЛА (ДУМПКАРА)

*Д. Г. НАДТОЧЕЙ, Д. И. ПЕТРАКОВ*

*Брянский государственный технический университет, Российская Федерация*

Рост грузовых железнодорожных перевозок в настоящее время связан с нарастающей необходимостью перевозки различных материалов, готовой продукции, увеличивается пассажирский грузопоток [1]. В последнее время увеличивается объем разработки и добычи Российских полезных ископаемых открытым способом, с транспортировкой их железнодорожным транспортом с использованием специального типа подвижного состава – вагона-самосвала (думпкара) [2]. Данная ситуация требует проектирования с целью создания современных высокотехнологичных конструкций вагона-самосвала (думпкара) [3]. В данной работе целью является проведение анализа нагрузки, а также напряженно-деформированного состояния кузова вагона-самосвала. Объектом анализа напряженно-деформированного состояния выбран четырехосный вагон-самосвал модели 31-675.

Вагон-самосвал обладает рядом особенностей несущей конструкции кузова и имеет в своем составе верхнюю раму, нижнюю раму, два продольных борта, поворачивающихся при разгрузке, а также две торцевые стены и механизм автоматического открывания бортов при разгрузке вагона [4]. Основой нижней рамы является балка хребтовая сварной конструкции, состоящей из двух профилей двутаврового сечения, усиленных перекрытием листами обшивки по верхним и нижним полкам. Вдоль хребтовой балки установлены крепежные кронштейны рабочих цилиндров, шкворневые кронштейны и лобовые листы рамы. В консольной части несущей конструкции нижней рамы установлены силовые кронштейны, в проушины которых монтируются упорные стойки механизма автоматического открывания бортов вагона при разгрузке. Также на кронштейнах установлены и опоры. В средней части несущей металлоконструкции нижней рамы установлены упоры, предотвращающие возможность продольного сдвига кузова относительно конструкций нижней рамы. Силовые кронштейны с обеих сторон хребтовой балки принимают нагрузку и удерживают по два пневмоцилиндра механизма разгрузки. Металлоконструк-

ция верхней рамы включает в себя набор подкрепляющих балок с обвязками, перекрытых листом настила пола [5].

Анализ и исследование напряженно-деформированного состояния металлоконструкций составных частей кузова вагона-самосвала выполнены посредством метода конечных элементов. Для обеспечения данной возможности в среде промышленного программного комплекса Siemens PLM Software FEMAP 10.1, реализующего метод конечных элементов, разработана детализированная пластинчатая конечно-элементная расчетная схема металлокаркаса несущих элементов кузова (рисунок 1).

В полученной расчетной конечно-элементной схеме кузова вагона все силовые подкрепляющие элементы и листы обшивки продольных бортов и лобовых стен моделируются четырехузловыми пластинчатыми конечными элементами. Тяговые элементы рычажной передачи откидывания борта кузова во время разгрузки представлены в виде двух узловых стержневых элементов. Связь бортов металлоконструкции кузова с элементами верхней рамы осуществляется с применением жестких конечных элементов элементов типа Rigid.

Суммарное количество конечных элементов расчетной схемы кузова и нижней рамы составило 237 тыс. элементов, соединенных между собой в 234 тыс. узлов.

Расчет выполнялся с учетом приложения нагрузок, рекомендуемых «нормами на проектирование и расчет вагонов [6]. При эксплуатации данного подвижного состава рассматриваемая конструкция кузова вагона подвергается воздействию всевозможных нагрузок, в том числе динамических, связанных с падением отдельных кусков смерзшегося груза массой до 3 т с высоты 3 м и подъемом кузова при проведении разгрузочных работ. По указанным причинам задача исследования напряженно-деформированного состояния несущей конструкции кузова вагона-самосвала с учетом эксплуатационных особенностей является актуальной.

При выполнении расчетов также учитывались продольные сжимающие растягивающие усилия по оси автосцепки, соответствующие режимам движения вагона, а по сети дорог ОАО «РЖД» и на путях промышленных предприятий – вертикальные нагрузки от массы тары вагона и веса полезной нагрузки вагона, а также усилия, возникающие при приведении погрузочно-разгрузочных работ.

В ходе программных расчетов получены картины напряженно-деформированного состояния несущих силовых элементов конструкции кузова вагона-самосвала. Анализ результатов выявил что полученные напряжения и усилия, возникающие в несущих металлоконструкциях кузова, не превышает допустимых пределов, прописанных нормативными документами [1, 2], для всех режимов нагружения и движения за исключением выполнения погрузочных работ. Во время выполнения погрузочно-разгрузочных работ возникающие напряжения в подкрепляющих элементах и листах настила пола превышают допустимые. Для обеспечения выполнения требуемых норм прочности подкрепляющих элементов и элементов обшивки настила пола кузова при проведении данного вида работ предложено изготавливать подкрепляющие элементы настила пола из другого материала и специального профиля для уменьшения возникающих нагрузок и деформаций, а также выполнять листы обшивки пола из высокопрочной стали марки RAEX-400 с креплением его на раме иным способом.

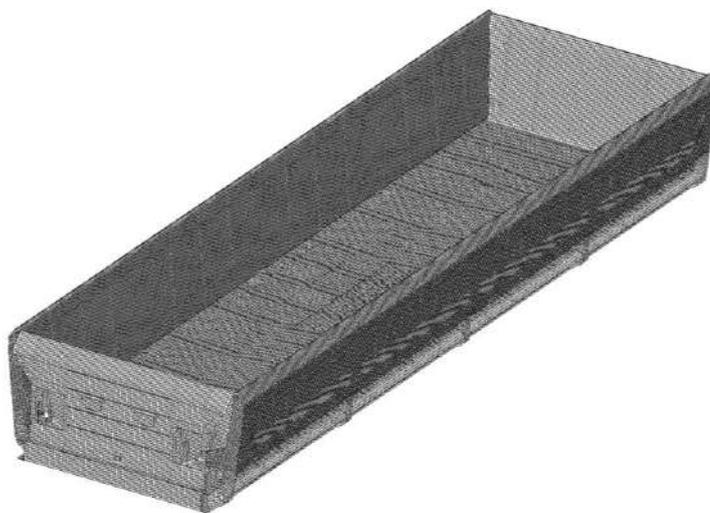


Рисунок 1 – Детализированная пластинчатая конечно-элементная модель несущих конструкций кузова вагона-самосвала

#### Список литературы

1 Мотянко, Т. А. Исследование динамической нагруженности верхней рамы кузова вагона-самосвала (думпкара) / Т. А. Мотянко, Д. Я. Антипин, М. В. Мануева // Вестник Брянского государственного технического университета. 2014. – № 4 (44). – С. 20–23.

2 Antipin, D. Y. Justification of a rational design of the pivot center of the open-top wagon frame by means of computer simulation / D. Y. Antipin, D. Y. Racin, S. G. Shorokhov // Procedia Engineering, 2016. – С. 150–154.

3 **Antipin, D.** Research of dynamic load capacity of tipper car using mathematical model method / D. Antipin, T. Motyanko, D. Rasin // Proceedings of 2015 International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems. – 2015. – С. 741–748.

4 **Мотянко, Т. А.** Исследование динамической нагруженности четырехосного вагона-самосвала / Т. А. Мотянко, Д. Я. Антипин // Trans-mech-art-chem : труды X международной науч.-практ. конф. ; под общ. ред. проф. В. Н. Глазкова. – 2014. – С. 73–74.

5 **Тюбаева, Т. А.** Исследование динамической нагруженности кузова вагон-самосвала методами математического моделирования / Т. А. Тюбаева, М. А. Лазарев, Д. Я. Антипин // Проблемы и перспективы развития вагоностроения : материалы VII Всероссийской науч.-практ. конф., 2016. – С. 145–149.

6 **Антипин, Д. Я.** Методика разработки трехмерных моделей технических средств железнодорожного транспорта : учеб. пособие / Д. Я. Антипин, Д. Ю. Расин, С. Г. Шорохов. – Брянск : БГТУ, 2016. – 176 с.

УДК 629.4.027.52

## **ПОСТРОЕНИЕ ЦИФРОВОЙ 3D МОДЕЛИ РАЗДВИЖНОЙ КОЛЕСНОЙ ПАРЫ С ТАНГЕНЦИАЛЬНО-ОСЕВЫМ ЗАМКМ**

*О. В. НИКИТИН, Д. О. НИКИТИНА*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Перестановка тележек вагонов с колеи 1520 мм на колею 1435 мм и наоборот на перестановочных пунктах вблизи пограничных станций имеет существенные недостатки: увеличение времени оборота вагонов; существенные затраты технологических и производственных ресурсов.

Поэтому актуальным является вопрос разработки раздвижных колесных пар (РКП), способных без остановки движения изменять ширину колеи на специальных переводных путевых устройствах. При этом должна обеспечиваться почти абсолютная надежность, поскольку отказ раздвижной колесной пары приводит к аварийным ситуациям с тяжелыми последствиями.

Основными задачами данной работы являются:

- изучение перспектив эксплуатации раздвижных колесных пар на железных дорогах мира;
- восстановление отсутствующей необходимой технической документации и построение цифровой 3D-модели;
- подготовка цифровой модели к получению макета колесной пары и тележки в сборе к печати на 3D принтере.

В СССР впервые проблематикой проектирования раздвижных колесных пар заинтересовались в середине прошлого века. На Брянском машиностроительном заводе в 1957 г. была создана колесная пара с раздвижными на оси колесами.

Передвижение колёс из одного положения в другое происходит автоматически при движении вагона по специальному переводному стенду, соединенному одним концом с колеей 1520 мм, а вторым – с колеей 1435 мм.

Были изготовлены опытные образцы РКП типа ТГ-14.

Эти колесные пары прошли цикл заводских и эксплуатационных испытаний, по результатам которых был выявлен ряд недостатков.

Основным таким недостатком являлась ненадежная работа предохранительного устройства (замка), предназначенного для исключения случаев самопроизвольного перевередения колес.

К концу 1960-х гг. все работы в СССР по созданию надежной и работоспособной конструкции РКП для ускоренного перехода грузовых и пассажирских вагонов с колеи 1520 мм на колею 1435 мм (и обратно) в силу различных причин были остановлены.

Позднее усовершенствованную конструкцию РКП создали на Уралвагонзаводе с применением тангенциально-осевого замка, предложенного БелИИЖТом.

В 1975 г. этими колесными парами были оборудованы две тележки модели 18-100. Одновременно была разработана и изготовлена рычажная тормозная передача для тележек с РКП и колесо-переводное устройство [1].

В настоящее время в России, Испании, ФРГ, Японии, Болгарии и Польше ведутся разработка и испытания различных систем перевода подвижного состава с одной колеи на другую. Дальше всего в этом направлении продвинулись в Испании и Польше.

Раздвижная колесная пара SUW-2000 прошла апробацию в поездах, обращающихся на отдельных направлениях между Польшей, Украиной и Литвой [2].

Надежную работу показывает конструкция испанской фирмы «TALGO». Раздвижные колесные пары эксплуатируются на пассажирских экспрессах, разработанных этой же фирмой. Они курсируют между Испанией (где ширина колеи 1676 мм) и другими странами Европы (1435 мм) и работают безаварийно десятки лет. Поезда TALGO поставлены на одноосные тележки (рессорное подвешивание, тормозное и другое оборудование смонтированы на одной раздвижной колесной паре). Чтобы при этом нагрузка на каждую ось не превышала допустимой нормативами, длина каждого вагона меньше, чем стандартного пассажирского четырехосного вагона.

Раздвижная колесная пара DBFG V (разработка ФПГ) равноценна SUW-2000 и может эксплуатироваться на том же переводном путевом устройстве [3].

Конструкторские работы по восстановлению технической документации и построению 3D модели выполнены в среде трехмерного твердотельного моделирования AUTODESK INVENTOR как наиболее отвечающей современным стандартам проектирования.

В связи с оригинальной конструкцией замка одним из сложных элементов являлось моделирование эвольвентных шлицевых соединений.

На рисунке 1 показана конструкция раздвижной колесной пары с тангенциально-осевым замком, включающая в себя ось, два стандартных облегченных цельнокатаных колеса, насаженных на ось подвижно, и два замка, удерживающие колеса от осевого перемещения и от проворачивания.



Рисунок 1 – 3D модель раздвижной колесной пары

Примененное безбандажное колесо, повышенная несущая способность элементов замка, малый вес замка, высокая степень центрирования подвижных деталей, надежность фиксации замка дают возможность эксплуатировать раздвижные колесные пары с тангенциально-осевым замком при движении поездов на высоких скоростях.

Тангенциально-осевое замковое устройство, разработанное в БелИИЖТе, принципиально отличается от известных замков для раздвижных колесных пар.

Кинематическая схема тангенциально-осевого замка представляет собой косозубое шлицевое подвижное соединение с одной степенью подвижности.

Для достижения нулевой степени подвижности применена замковая муфта с прямозубым двойным шлицевым соединением. В нем применяется эвольвентное шлицевое соединение силовых деталей с большой контактируемой площадью, способной переносить значительные динамические нагрузки.

В основу работы замка положена фиксация подвижной втулки, соединенной с колесом, тангенциально-осевыми силами, возникающими в элементах зубчатого зацепления.

Термически обработанные контактирующие поверхности с наличием постоянной жидкой смазки в замковом узле, обеспечивают длительный срок службы раздвижной колесной пары с тангенциально-осевым замком.

В свою очередь тангенциально-осевой замок (рисунок 2, а, б) состоит из трех силовых деталей: втулки неподвижной (рисунок 2, в), втулки подвижной (рисунок 2, г), и муфты замковой (рисунок 2, д).

Втулка подвижная насажена на ось с гарантийным натягом методом горячей посадки и соединена со ступицей колеса болтами. Болты затягиваются гайкой и шплинтуются шплинтом.

С внутренней стороны ступица колеса проточена. Проточенная поверхность ступицы сопрягается с подвижной втулкой.

Наружная сторона ступицы колеса проточена для посадки корпуса уплотнительной манжеты. Для установки гаек диск подвергается цековке. В ступицу колеса запрессована втулка из катаной бронзы.

Муфта замковая соединена с корпусом фиксатором и диском буферным болтами.

Втулка подвижная косыми зубьями сочленена с венцом неподвижной втулки. Такое сочленение позволяет подвижной втулке свободно перемещаться по неподвижной по винтовой линии.

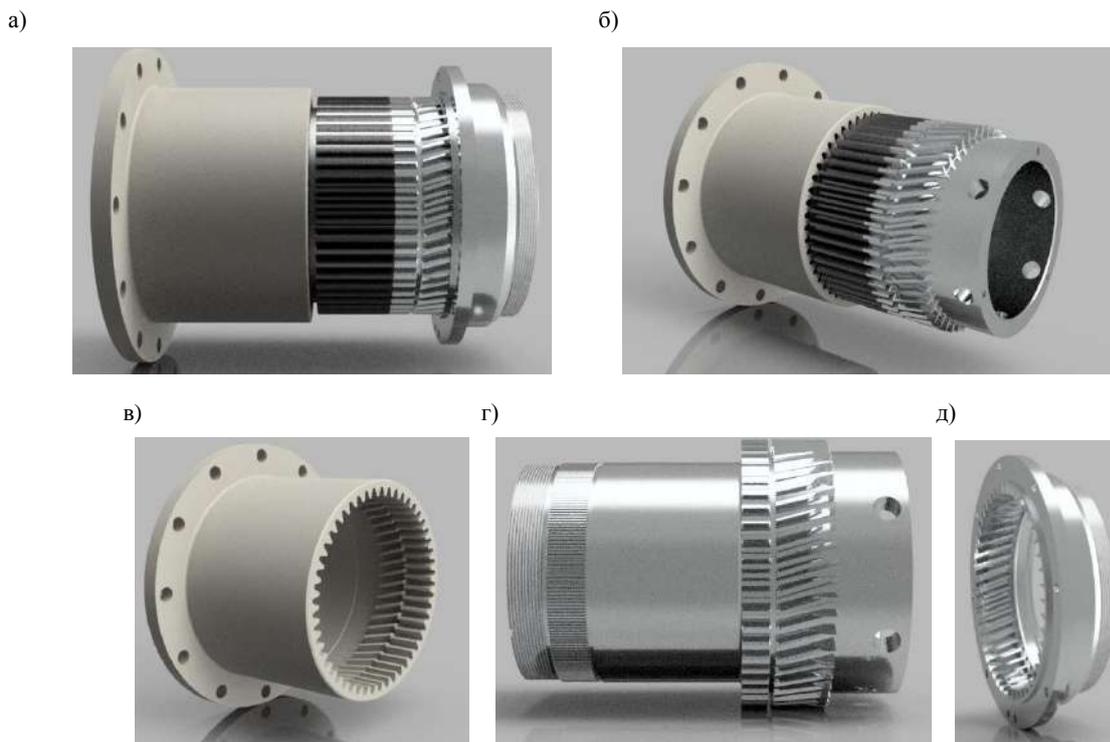


Рисунок 2 – 3D модель тангенциально-осевого замка:  
*а, б* – тангенциально-осевой замок; *в* – втулка неподвижная; *г* – втулка подвижная; *д* – муфта замковая

Таким образом, при движении подвижной втулки по винтовой линии происходит осевое перемещение подвижной втулки относительно неподвижной и проворачивание.

Для предотвращения осевого перемещения подвижной втулки достаточно ее ограничить от проворачивания. Эту функцию выполняет замковая муфта.

Замковая муфта наружными зубьями постоянно зацеплена с внутренними прямыми удлиненными зубьями подвижной втулки и свободно может перемещаться по оси относительно ее.

Одновременно замковая муфта внутренними зубьями в крайнем левом положении сочленяется с прямым и зубьями неподвижной муфты.

При крайнем правом положении зубья замковой муфты и зубья неподвижной втулки разомкнуты.

Так как замковая муфта постоянно сочленена с подвижной втулкой, то при крайнем правом положении замковой муфты подвижная втулка может перемещаться вдоль косых зубьев до тех пор, пока зубья венца замковой муфты не упрутся в зубья венца неподвижной втулки.

Следовательно, ограничение окружному проворачиванию подвижной втулки вызывает ограничение осевому смещению подвижной втулки относительно неподвижной. Это происходит при крайнем левом положении замковой муфты, которая своими венцами связывает подвижную втулку с неподвижной.

Изучение вопросов применяемости РКП позволяет сделать вывод о перспективности их использования в подвижном составе на железных дорогах.

Однако это требует проведения дополнительных исследовательских работ по оптимизации конструкции данных колесных пар с целью повышения надежности, ремонтпригодности и получения высоких эксплуатационных характеристик.

#### Список литературы

1 Раздвижные колёсные пары [Электронный ресурс] / Википедия. Свободная энциклопедия. Режим доступа : [https://ru.wikipedia.org/wiki/Раздвижные\\_колесные\\_пары](https://ru.wikipedia.org/wiki/Раздвижные_колесные_пары). – Дата доступа : 25.09.2020.

2 Пигунов, В. В. Конструкция ходовых частей вагонов: учеб. пособие / В. В. Пигунов, А. В. Пигунов. – Гомель : БелГУТ, 2018. – С. 12–13.

3 Раздвижные колесные пары для вагонов [Электронный ресурс] / Железные дороги мира. – Режим доступа : <http://1430mm.ru/node/264>. – Дата доступа : 25.09.2020.

## РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ МАГНИТОПОРОШКОВОГО КОНТРОЛЯ АДАПТЕРОВ ГРУЗОВОГО ВАГОНА

*А. Г. ОТТОКА, Е. В. САМУСЕНКО*

*Гомельское вагонное депо, Белорусская железная дорога*

*О. В. ХОЛОДИЛОВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Неразрушающий контроль литых деталей тележек грузовых вагонов является частью технологий деповского и капитального видов ремонта вагонов и предназначен для своевременного выявления дефектов, указанных в нормативной и/или конструкторской (ремонтной, эксплуатационной) документации, принятия необходимых мер по обеспечению технической и экологической безопасности транспорта.

В настоящее время проверка адаптеров (полубукс) (рисунок 1) методами НК не проводится ни на Белорусской железной дороге, ни на заводе-изготовителе.

Задачами входного контроля являются:

- обеспечение поступления в организации Белорусской железной дороги качественных изделий, соответствующих установленным требованиям;
  - получение объективной и достаточной информации о качестве поставляемых изделий;
  - накопление статистических данных о фактическом уровне качества получаемых изделий.
- Дефектация адаптеров проводится по ГОСТ 34385-2018 как требования к отливкам [1].

а)



б)



Рисунок 1 – Конструктивное исполнение адаптера (а) и его расположение в колесной паре (б)

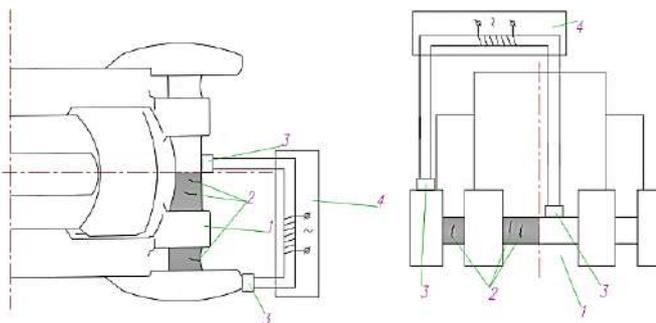
Объем контроля, а также виды недопустимых дефектов и их размеры устанавливаются в НТД отрасли или предприятия на контроль объектов [2].

Анализ существующих методов НК показал, что для проверки адаптеров наиболее подходящим с точки зрения чувствительности и информативности является магнитопорошковый метод.

Исходя из магнитных характеристик материала адаптера, было выбрано полюсное намагничивание с помощью электромагнита переменного тока (рисунок 2).

Рисунок 2 – Полюсное намагничивание с использованием электромагнита переменного тока:

- 1 – объект контроля; 2 – трещины в зоне контроля; 3 – подвижные полюсы; 4 – электромагнит (серым цветом показаны зоны контроля)



В таблице 1 приведены некоторые характеристики технологического процесса контроля.

Таблица 1 – Характеристики технологического процесса МПК адаптеров

Способ контроля, $H$ , на поверхности детали, А/см, не менее	Вид намагничивания	Ширина раскрытия дефектов, мкм	Направление дефектов (ориентация)
СПП, 20	Полусное намагничивание с использованием электромагнита переменного тока	$\geq 30$	Поперечное

Порядок проведения МПК адаптера включает в себя следующие этапы.

1 Подготовка адаптера к контролю:

- проверка работоспособности средств МПК;
- проверка контролепригодности адаптера.

Проверка контролепригодности детали заключается в визуальном осмотре ее поверхности в зонах обязательного НК на отсутствие видимых поверхностных дефектов, загрязнений, краски и других покрытий, мешающих проведению контроля.

Для проверки работоспособности используют настроечный образец с естественным и искусственным дефектами (рисунок 3).

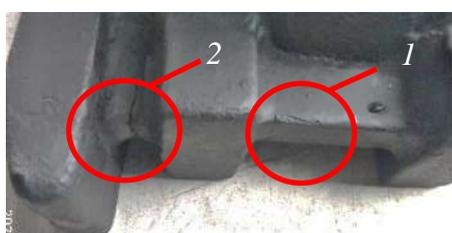


Рисунок 3 – Зона контроля адаптера с естественным (1) и искусственным (2) дефектами

2 Намагничивание изделия.

Для намагничивания используют намагничивающее устройство МЭД-40. Контроль напряженности магнитного поля намагничивания осуществляют с помощью измерителя напряженности магнитного поля ИМАГ-400Ц.

3 Нанесение на поверхность изделия магнитного индикатора в процессе намагничивания и выявление дефектов (рисунок 4).

Для выявления дефектов используют сухой концентрат флуоресцентной суспензии КСФ-12.

а)



б)



Рисунок 3 – Пример выявления искусственного (а) и эксплуатационного (б) дефектов

4 Выявление индикаторных рисунков при контроле в соответствии с общими ведомственными методиками с помощью УФ-фонаря, излучающего на длине волны 395–400 нм. При выполнении осмотра контролируемой поверхности в УФ-излучении используют защитные очки с желтым фильтром.

Для того чтобы удостовериться в отсутствии необходимости размагничивания детали, используют измеритель магнитного поля ИМП-6.

5 Удаление индикаторных средств.

Предложенная методика показала свою эффективность и может быть использована в практике ремонтного производства вагонных депо Белорусской железной дороги

#### Список литературы

1 ГОСТ 34385–2018 Буксы и адаптеры для колесных пар тележек грузовых вагонов. Общие технические условия. Введ. 2015–06–07. – М. : Стандартинформ, 2018. – 20 с.

2 ГОСТ 56512–2015 Контроль неразрушающий. Магнитопорошковый метод. Типовые технологические процессы. Введ. 2018–12–01. – М. : Изд-во стандартов, 2015. – 60 с.

## ПРИМЕНЕНИЕ АЛЮМИНИЯ И НЕРЖАВЕЮЩИХ СТАЛЕЙ В КОНСТРУКЦИЯХ КУЗОВОВ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ

*А. В. ПИГУНОВ, В. В. ПИГУНОВ, П. А. ДАШУК*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Наиболее металлоемкой частью вагона является кузов, конструкция которого определяет тип вагона. Кузов вагона в независимости от назначения подвержен в том числе и коррозионному износу, который начинается после разрушения лакокрасочного покрытия. Значительная доля затрат приходится на работы по восстановлению повреждений металлоконструкций кузовов и окраску. Применение прогрессивных конструктивных решений, основанных на анализе несущей способности, и новых материалов в минимальной степени подверженных коррозионному износу позволит повысить ресурс кузовов, снизить массу тары и минимизировать эксплуатационные затраты.

В СССР применение алюминия в вагоностроении не получило широкого распространения, хотя опытные конструкции вагонов различных типов проектировались, изготавливались и прошли комплекс необходимых испытаний. Первые опытные образцы вагонов из алюминиевых сплавов были изготовлены на Уралвагонзаводе и Алтайском ВЗ [1]. Это были универсальные полувагоны и универсальные крытые вагоны. Для их изготовления металлургическая промышленность освоила производство специальных прессованных алюминиевых профилей из сплава АМг 6.

Алтайский вагоностроительный завод в 1964 г. [2] спроектировал и изготовил универсальный крытый вагон с объемом кузова  $130 \text{ м}^3$ . Это было больше, чем у серийной модели того времени на  $10 \text{ м}^3$ . Тара вагона составила 19,5 против 22 т у типовой конструкции. Приведенные параметры показывают очевидные преимущества алюминиевой конструкции.

Конструкция рамы не имела принципиальных отличий от серийных моделей. Хребтовая балка рамы была выполнена из толстостенного профиля, по форме повторяющего сечение балки, которая состоит из двух зетов № 31. Толщина нижних горизонтальных полок составляла 35 мм, вертикальных стенок 16 мм, верхней полки 18 мм. Концевая балка сварная, из двух горизонтальных и вертикального листа толщиной 8 мм. Шкворневая балка замкнутого коробчатого сечения переменной высоты. Верхний лист толщиной 12 мм, нижний – 14 мм, а вертикальные – 8 мм. Поперечные балки рамы сварные в виде двутавра из листа толщиной 8 мм. Боковая балка рамы изготавливалась из z-образного профиля с размерами  $80 \times 200 \times 105 \times 15 \text{ мм}$  [3].

Уралвагонзавод занимался разработкой конструкции универсальных 4- и 6-осных полувагонов. Для их изготовления было освоено производство алюминиевых профилей из сплава АМг6.

Дальнейший интерес к применению алюминия в кузовах грузовых вагонов возобновился в начале 2000-х годов. ГУП ПО «Уралвагонзавод» УВЗ совместно с «СУАЛ-Холдинг» разработали конструкцию полувагона с применением алюминия. Рама вагона была изготовлена из стали, а остальные элементы кузова – из алюминия производства Каменск-Уральского металлургического завода. За аналог при проектировании была взята стальная конструкция полувагона модели 12-197, масса тары алюминиевой конструкции была на 4,5 т меньше, а грузоподъемность на столько же больше.

Одновременно Воронежскому авиационно-строительному объединению (ВАСО) была заказана разработка полувагона из алюминиевых сплавов с глухим кузовом [4].

Рама полувагона была изготовлена из сплава 1915Т1. Хребтовая балка рамы располагалась в консольных частях на участках до шкворневых балок. После шкворневой балки предусмотрены раскосы, для передачи продольных нагрузок на боковые балки, выполненные в форме швеллеров. Также в средней части рамы для обеспечения необходимой прочности предусмотрено расположение поперечных балок в количестве 9 штук.

Стеновые конструкции выполнены из четырех экструдированных прессовых панелей [5]. Они состоят из наружной и внутренней обшивки толщиной 4 мм и расположенных между ними ребер жесткости (2,8 мм). Панели, а также остальные конструктивные элементы боковых и торцевых стен изготавливают из сплава 6005.

Установка стен на балку рамы производилась при помощи рамного замка. При этом рамный замок и рама соединяются болтами, а профиль стены к ним приваривается.

По мнению разработчиков, применение такого соединения обеспечит необходимую податливость, чтобы снизить динамические нагрузки на конструкцию.

В последние годы применение алюминия реализовано в ряде опытных конструкций вагонов-хопперов. Широкое применение алюминия сдерживается тремя факторами:

- 1) стоимость алюминиевых сплавов в разы выше стоимости стали;
- 2) нет эффективного решения проблемы изоляции стальных конструктивных элементов от выполненных из алюминия, так как между ними возникает гальваническая коррозия;
- 3) эксплуатация не готова обеспечить ремонт металлоконструкций кузовов, выполненных из алюминия.

Нержавеющая сталь получила широкое распространение в вагоностроении за рубежом. Чего нельзя сказать о советском вагоностроении. Хотя определенные исследования проводились. В частности, Калининским вагоностроительным заводом (сегодня – Тверским) в 1968 году были изготовлены два опытных пассажирских вагона с частичным использованием нержавеющей стали 10X14Г14НЗ для наиболее подверженной коррозии участков кузова – настила пола и обшивки подоконного пояса боковых стен.

Для получения максимального экономического эффекта один из изготовленных кузовов был не окрашен в местах установки нержавеющей стали. Однако для придания эстетического, товарного вида обшивке необходимо было удалить цвета побежалости. Дальнейшие исследования показали, что наиболее оптимальным сочетанием свойств для вагоностроения обладает безникелевая нержавеющая сталь 12X13Г18Д, механические свойства которой обеспечивают возможность изготовления элементов конструкций путем гибки и штамповки.

Наиболее подвержены коррозионным повреждениям вагоны-хопперы для перевозки минеральных удобрений. В конце 80-х годов прошлого века финская компания «Rautaruukki» для СССР освоила выпуск вагонов-хопперов для перевозки минеральных удобрений модели 19-921, у которых обшивка кузова изготавливалась из нержавеющей стали, а рама и подкрепляющие элементы кузова – из низколегированной. Опыт эксплуатации этих вагонов показал их высокую эффективность и эксплуатационную надежность.

По нашему мнению, применение алюминиевых сплавов в конструкции кузова вагона должно сочетаться со стальной рамой. Наиболее целесообразно изготовление алюминиевых элементов кузова универсального крытого вагона.

Разработанная конструкция универсального крытого вагона предусматривает изготовление боковых, торцевых стен и крыши из алюминиевых сплавов. Стены, по аналогии с конструкцией полувагона, разработанного ВАСО, свариваются из экструдированных прессовых панелей без стоек.

Стальная рама крытого вагона состоит из продольных и поперечных балок. К поперечным балкам рамы относятся концевая, шкворневая, основные и вспомогательные поперечные балки. Концевая балка сварная Г-образного поперечного сечения. Изнутри она подкреплена четырьмя ребрами жесткости. Шкворневая балка замкнутого коробчатого сечения переменной высоты по длине.

Хребтовая балка выполнена из двух сварных двутавров переменной сечения. В консольной части хребтовой балки для размещения упоров автосцепки и поглощающих аппаратов предусмотрены вырезы нижних горизонтальных полок. Внутри установлены диафрагмы в местах соединения с поперечными балками рамы.

Боковая балка представляет собой швеллер № 20. В месте соединения боковой балки с шкворневой присутствует усиление в виде вертикального листа.

В средней части рамы, в районе дверного проема, установлены три сварные основные поперечные балки, имеющие переменное сечение по высоте. Они выполнены в виде сварного двутавра. Дополнительно для поддержания металлического настила пола предусмотрена установка поперечных балок из швеллера № 14. Для придания необходимой прочности раме и настилу пола предусмотрено размещение продольных вспомогательных балок.

Предполагается изготовление крыши из алюминиевых сплавов (обшивка и дуги).

Проблему изоляции алюминия от стали предполагается решить путем применения рамного замка для соединения стен и рамы по аналогии с конструкцией полувагона. В качестве изолирующего материала предполагается применение карбоновой подкладки.

По предварительной оценке масса тары предлагаемой конструкции в сравнении с стальным аналогом снизилась на 0,8 т, что, на наш взгляд, недостаточно.

Для оценки прочности конструкции в единой несущей системе кузова была разработана расчетная конечно-элементная модель кузова крытого вагона. (рисунок 1).

К конечно-элементной модели прикладывались нагрузки соответствующие I расчетному режиму. Рассматривались варианты нагружения с учетом действия продольной сжимающей ( $T = 2,5$  МН) и растягивающей ( $T = 2,0$  МН) нагрузок, которые прикладывались к задним и передним упорам автосцепного устройства. При действии сил, соответствующих ударному нагружению, к задним упорам автосцепного устройства с ударной стороны кузова прикладывалась продольная сила  $T = 3,5$  МН, уравновешенная продольными инерции массы вагона и груза. В элементах стен, выполненных из алюминиевого профиля, при действии сжимающей и растягивающей нагрузок максимальная величина расчетных напряжений составила 109 МПа, что не превышает 51 % от допускаемых. При действии ударной нагрузки расчетные напряжения превысили допускаемые. Поэтому возникла необходимость в её усилении, путем установки двух попе-

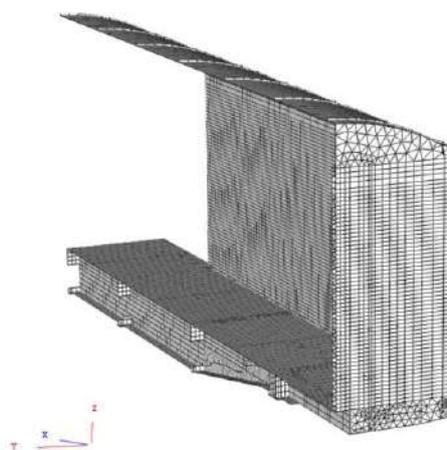


Рисунок 1 – Исходная конечно-элементная модель с усилением торцевой стены

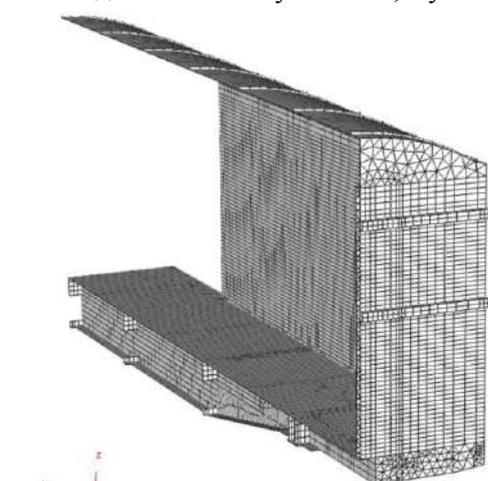


Рисунок 2 – Конечно-элементная модель кузова

речных усиливающих поясов из швеллера (рисунок 2). После усиления наибольший уровень напряжений в элементах торцевой стены составляет 218 МПа.

Разработанная расчётная модель позволит в дальнейшем определить рациональные толщины алюминиевых панелей в единой системе несущего кузова с учетом воздействия на него нормативных нагрузок.

#### Список литературы

- 1 Вагоны СССР : сб. трудов ; Научно-исследовательский институт вагоностроения. – 1975.
- 2 Исследование прочности и динамики крытого грузового вагона из алюминиевых сплавов / М. М. Грихлес [и др.] // Сборник ВНИИВ. – 1966. – № 2. – С. 68–81.
- 3 Гнутые профили в вагоностроении / Н. Г. Жигарь [и др.] // Сборник ВНИИВ. – 1966. – № 2.
- 4 Опытный полувагон с кузовом из алюминиевых сплавов / В. А. Саликов [и др.] // Вагоны и вагонное хозяйство. – 2006. – № 1. – С. 9–11.

5 Каменск-Уральский металлургический завод [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.kumz.ru/>. – Дата доступа : 10.05.2020г.

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

УДК 631.869.4

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ПОДЪЁМА СЕКЦИЙ КОСИЛКИ-ПЛЮЩИЛКИ РОТАЦИОННОЙ КНР-9

*В. Б. ПОПОВ*

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

Динамический анализ гидроприводов (ГП), связанных с подъемом центральной секции КНР-9 и переводом боковых секций в транспортное положение через соответствующие механизмы подъема (МП), позволяет определить закон движения нагруженного поршня соответствующего гидроцилиндра (ГЦ). Исследование динамики процесса подъема секции – одно из условий рационального проектирования МП. В процессе подъема секции в элементах МП возникают переменные нагрузки, и

без знания закона движения поршня соответствующего гидроцилиндра  $S \ddot{t} = f(S, \dot{S}, \ddot{S}, t)$  нельзя проанализировать их изменение.

В режиме автоматизированного проектирования конструктор поэтапно выполняет многовариантный параметрический анализ и синтез МП. При этом следует помнить, что гидроцилиндры МП запитываются от шестеренного насоса гидропривода (рисунок 1), мощность которого ограничена.

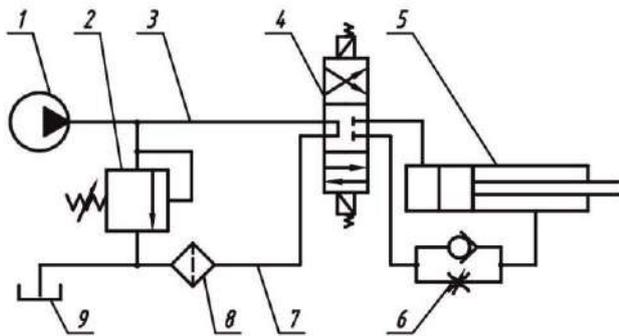


Рисунок 1 – Схема гидропривода механизма подъема секции косилки:

- 1 – насос шестеренный; 2 – клапан предохранительный (ПК);
- 3 – напорная магистраль; 4 – гидрорас-пределитель; 5 – гидроцилиндр; 6 – регулируемый дроссель; 7 – сливная магистраль;
- 8 – фильтр; 9 – бак

Уравнение движения нагруженного поршня ГЦ составляется для машинного агрегата, состоящего из ГП и МП на основе уравнения Лагранжа 2-го рода. При моделировании на макроуровне выбор динамической схемы для замещения ГП определяется соотношением отдельных объемов жидкости в напорной магистрали до и после гидрораспределителя (ГР). В большинстве случаев приемлемая точность решения системы уравнений достигается при использовании уравнения расхода с одним приведенным объемом жидкости. В данном случае принимаем, что большая часть жидкости находится после ГР, поэтому весь её объем возможно сосредоточить у ГЦ (рисунок 2).

Масса и момент инерции секции, приводятся к штоку ГЦ гидропривода. Влиянием веса звеньев МП пренебрегаем вследствие их малости по отношению к весу секции и одновременно считаем их абсолютно жесткими. Динамическая модель агрегата в составе МП и секции представляет собой материальную точку с переменной массой  $m(S)$ , которая движется под действием переменной силы  $Q(S)$ , так что обобщенная координата  $S$  (положение штока гидроцилиндра) этой точки совпадает с обобщенной координатой машинного агрегата в любой момент времени.

Из закона равенства кинетических энергий приведенная масса, с учетом упомянутых допущений, определяется как:

$$m \dot{S}^2 = m_c I_v^2 + J_c \varphi_c'^2, \quad (1)$$

где  $m_c, J_c$  – соответственно масса и момент инерции секции;  $I_v, \varphi_c'$  соответственно аналоги линейной скорости центра масс и угловой скорости секции.

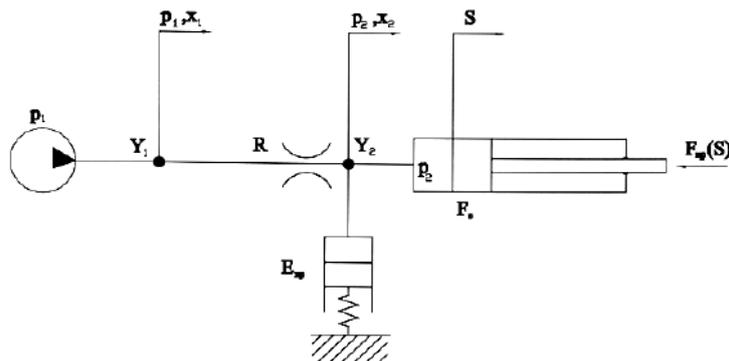


Рисунок 2 – Динамическая схема замещения гидропривода (с переменной нагрузкой на штоке гидроцилиндра)

Уравнение движения для машинного агрегата получим из уравнения Лагранжа 2-го рода:

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{S}} \right) - \frac{\partial T}{\partial S} = Q(S). \quad (2)$$

Подставляя в (2) известное выражение для кинетической энергии  $T$ , осуществляя необходимые преобразования и учитывая, что обобщенная сила  $Q(S)$  равна разности между движущей силой  $F_{дв}$  на штоке гидроцилиндра и приведенной к нему со стороны секции нагрузкой  $F_{пр}(S)$ , получим

$$m S \cdot \frac{d^2 S}{dt^2} + \frac{1}{2} \cdot \frac{dm S}{dS} \cdot \left( \frac{dS}{dt} \right)^2 = F_{дв} - F_{пр} S . \quad (3)$$

Из-за присутствия в рабочей жидкости пузырьков нерастворенного воздуха считаем её сжимаемой. Кроме того, при формировании динамической схемы учитываются назначение МП и особенности работы ГП. Процесс подъема секции протекает за относительно короткое время и по характеру близок к адиабатическому. Поэтому температура, плотность, вязкость рабочей жидкости, а также количество нерастворенного в ней воздуха в процессе подъема принимаются постоянными. Также считается, что структурные элементы ГП: гидронасос (ГН), ГР и предохранительный клапан (ПК) работают безинерционно. В итоге получают функциональную математическую модель (ФММ) динамического анализа в виде системы нелинейных дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} \dot{p}_1 = \frac{E_{пр}}{V_0 + F_c S - S_0} \cdot Q_{ГН} - \frac{F_c \cdot E_{пр}}{V_0 + F_c S - S_0} \cdot \dot{S} \\ p_2 = p_1 - a_1 \cdot \ddot{S} + a_2 \cdot \dot{S} + a_3 \cdot S^2 - \Delta p_{др} \\ m(S) \cdot \ddot{S} + \frac{1}{2} \cdot m'(S) \cdot \dot{S}^2 = p_2 \cdot F_c - [F(S) + F_{тр}^{мп}(S)] \end{cases} ,$$

где  $F_c$  – площадь поршня ГЦ;  $\dot{p}_1$  – скорость изменения давления у ГН;  $Q_{ГН}$  – подача ГН;  $V_0$  – начальный объем жидкости;  $E_{пр}$  – приведенный модуль объемной упругости гидроцепи;  $p_2$  – давление у ГЦ;  $a_1$  – коэффициент, учитывающий инерцию жидкости;  $a_2$  – коэффициент, учитывающий ламинарный характер течения жидкости;  $a_3$  – коэффициент, учитывающий турбулентный характер течения жидкости и местные гидравлические сопротивления;  $m(S)$ ,  $m'(S)$  – соответственно приведенная масса и её производная по обобщенной координате;  $F(S)$  – полезная нагрузка;  $F_{тр}^{мп}(S)$  – сила трения.

В результате решения системы уравнений методом численного интегрирования определяется закон движения поршня ГЦ –  $S(t) = f(S, \dot{S}, \ddot{S}, t)$  – и изменение давления у ГН –  $p_1(t)$  и ГЦ –  $p_2(t)$ .

УДК 51-74, 656.2

## МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ФОРМИРОВАНИЯ И ИДЕНТИФИКАЦИИ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ В ПРИМЕНЕНИИ К ОЦЕНКЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

*А. П. ПРУДКО*

*Днепропетровский национальный университет им. О. Гончара, Украина*

*Д. А. БОСЫЙ*

*Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта  
им. акад. В. Лазаряна, Украина*

Создание любых сложных систем в современном мире обязательно проходит определенные этапы. Развитие технологического процесса обуславливает наиболее скорейшее продвижение сложных технических разработок от идеи до конечного продукта. Не являются исключением и технологически сложные в изготовлении и требовательные к безопасности при эксплуатации детали подвижного состава железных дорог.

Эволюция подвижного состава коррелирует с постоянным трендом увеличения его мощности, скорости движения, точности управления, универсальности. Особое требование предъявляется к соответствующему повышению уровня надежности и безопасности.

С развитием вычислительной техники напряженно-деформированное состояние механических деталей стало оцениваться широким разнообразием предлагаемых программных продуктов, которые представляют собой среды твердотельного моделирования. В основе большей части из них лежит метод конечных элементов. В отсутствие возможности полного описания сложной системы аналитическими уравнениями метод конечных элементов позволил с приемлемой для практической стороны точностью получать решение системы конечно-элементных уравнений широким набором методом численного интегрирования.

Более сложным с теоретической точки зрения является подход с применением непрерывных моделей формирования и идентификации физико-механических полей. Любой элемент механической конструкции практически любой сложности может быть представлен в виде пространственно-временной сущности, которая математически представляет собой описание физико-механического поля. Применение такого подхода значительно усложняет математическую модель и соответствующее время расчета с применением вычислительной техники. Но идентификация ответственных деталей подвижного состава в виде непрерывных математических моделей позволяет максимально точно учесть все технические требования при изготовлении и затем сопоставить полученные механо-прочностные характеристики с закладываемыми на этапе проектирования.

Неоспоримым преимуществом моделей на основе физико-механических полей является возможность включения в систему уравнений динамических возмущений, что позволяет оценивать механический ресурс и усталостно-прочностные характеристики механических частей.

С точки зрения дальнейшего развития и усовершенствования безопасности подвижного состава необходимо осваивать новые знания и получать новые средства проектирования и испытаний. Это позволит повысить качество, надежность и безопасность проектируемого подвижного состава. Новые средства должны включать расчет ресурса ответственных деталей подвижного состава, оценку их долговечности новейшими методами механики разрушения. При внедрении высокоскоростного подвижного состава возникает необходимость исследования характеристик сопротивления усталости материалов и сварных конструкций уже в гигацикловом порядке области циклического нагружения. Постоянное повышение требований к вопросам безопасной эксплуатации подвижного состава обуславливает разработку новых методов математического моделирования, применение разработки для расследования аварийных ситуаций, создание системы для управления техническим состоянием подвижного состава и рисками возникновения аварий и катастроф.

Таким образом, выбранные методы формирования математических моделей на основе физико-механических полей являются перспективным направлением исследования и соответствуют актуальным запросам современной практики проектирования и разработки подвижного состава.

УДК: 629.47

## **МОДЕЛЬ ВЫБОРА ДИАГНОСТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ЛОКОМОТИВОРЕМОНТНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ**

*В. Г. ПУЗЫРЬ, Ю. Н. ДАЦУН, И. Г. КРАМЧАНИН, К. М. САРКИСЯН*

*Украинский государственный университет железнодорожного транспорта, г. Харьков*

Безопасность движения на железнодорожном транспорте является ключевым принципом его работы. Техническое состояние подвижного состава оказывает существенное влияние на показатели безопасности железных дорог. Для поддержания технического состояния и эксплуатационной надежности подвижного состава применяют систему его технического обслуживания и ремонта (ТОР). Она включает в себя совокупность производственных площадей, технических средств, документации и персонала по ТОР подвижного состава [1]. Недостаточное финансирование ремонтной составляющей подвижного состава на протяжении многих лет привело к ситуации, когда большинство основного технологического оборудования и инструмента ремонтных производств морально и физически устарело. Это негативно сказывается на эффективности работы предприятий, снижает качество ТО и Р и в конечном итоге ухудшает надежность подвижного состава в эксплуатации.

В этих условиях особо актуальными становятся вопросы формирования программ технического перевооружения предприятий, выбора оптимального состава оборудования. Задача усложняется

наличием на рынке широкой номенклатуры как технологического, так и диагностического оборудования, которое имеет различные технические характеристики и стоимость.

Из множества известных методов и подходов для решения этой задачи предпочтительно применение таких, которые позволяют учитывать многокритериальность и неопределенность, а также позволяют выбирать решения из множества альтернатив различных критериев различной размерности.

Однако в ряде случаев существующие методы не могут давать однозначного и обоснованного вывода при подборе оборудования из группы аналогичных и равнозначных типов или моделей. Поскольку подбираемые образцы оборудования могут существенно отличаться друг от друга по техническим характеристикам и типу исполнения, применение некорректного метода может показывать худшие критерии выбора с лучшими функциональными возможностями [2].

Проблема выбора правильного метода многокритериального подбора оборудования должна базироваться на двух условиях:

- соответствие метода свойствам решаемой задачи (условия выбора, тип множества альтернатив, количество критериев т.д.);
- учет влияния субъективных характеристик метода, которые обусловлены индивидуальными особенностями лица (лиц), принимающего решения.

Одним из методов, учитывающих такие условия при выборе оборудования, является метод анализа иерархий (МАИ) [3]. МАИ заключается в структуризации задач принятия решений путем построения многоуровневой иерархии, объединяющей все представляющие интерес компоненты задачи, которые сравниваются между собой при помощи разработанных для этого процедур [3].

Ключевой этап МАИ – построение дерева иерархии и оценки его альтернатив. Эксперт на основе своего субъективного мнения оценивает принадлежность элемента данному множеству относительно другого элемента.

Нормативной документацией [4] установлен ряд общих требований к диагностическому оборудованию. С точки зрения задачи выбора оптимального диагностического оборудования эти требования можно разделить на две группы. К первой целесообразно отнести безусловные требования, соответствие которым является обязательным для принятия средства диагностирования к рассмотрению. Сюда были отнесены обеспечение измерений или контроль диагностических параметров с заданной погрешностью (точностью) измерения, надежность (наработка на отказ). Во второй группе были сконцентрированы требования, соответствие которым у разных средств диагностирования может обеспечиваться по-разному, а значит, может выступать критерием в процессе выбора. К таковым можно отнести стоимость, степень автоматизации, трудоемкость работы, требуемую квалификацию персонала, эксплуатационную технологичность конструкции.

Для получения реальных данных по указанным критериям в работе рассматривались существующие средства и системы диагностирования колесных пар подвижного состава. Если учесть, что в данный момент на рынке представлено 5 типов диагностических средств по колесным парам, то дерево иерархий будет иметь вид, представленный на рисунке 1.

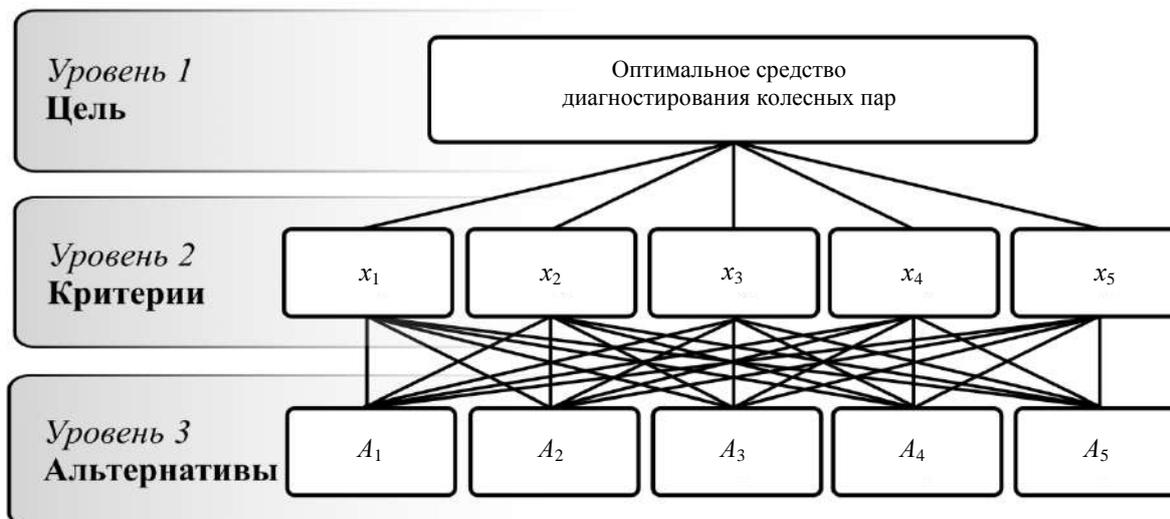


Рисунок 1 – Дерево иерархии выбора средств диагностики колесных пар

Относительные веса критериев и локальных оценок альтернатив определялись путем формирования матрицы попарных сравнений сначала критериев, затем каждой альтернативы по каждому критерию. Результаты попарного сравнения элементов заносились в матрицу сравнения размерности  $n \times n$ , где  $n$  – число сравниваемых элементов. Поскольку все критерии характеризуются разной размерностью, для проведения парных сравнений использовалась шкала относительной важности Саати [3].

В результате дальнейших расчетов были получены значения вектора глобальных приоритетов альтернатив (таблица 1).

Таблица 1 – Значения глобальных приоритетов

Альтернативы	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	$A_5$
Значение глобального приоритета	0,2929	0,1747	0,1541	0,0973	0,2819

Анализ полученных результатов показывает, что наиболее значимым критерием в настоящее время является стоимость средств диагностики. Поэтому максимальным значением глобального приоритета характеризуются альтернативы  $A_1$  и  $A_5$ , которые соответствуют портативным ручным устройствам бесконтактного контроля параметров колесных пар подвижного состава. Полностью автоматизированная система диагностики колесных пар  $A_2$  характеризуется невысоким значением глобального приоритета по причине высокой стоимости.

#### Список литературы

- 1 Systems Approach to the Organization of Locomotive Maintenance on Ukraine Railways / E. Tartakovskiy [et al.] // Rail Transport – Systems Approach. Springer, Cham. – 2017. – P. 217–236.
- 2 Гривачев, А. В. Сравнительный анализ подходов и методов многокритериального выбора сложных мобильных систем // А. В. Гривачев, С. Ю. Сазонов // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2016. – № 5(68). – С. 35–43.
- 3 Саати, Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Т. Саати. – М. : Радио и связь, 1993. – 320 с.
- 4 ГОСТ 25176-82. Техническая диагностика. Средства диагностирования автомобилей, тракторов, строительных и дорожных машин. Классификация. Общие технические требования. – М. : Издательство стандартов, 1986. – 10 с.

УДК 629.47

### ВЫБОР СТРАТЕГИИ СОДЕРЖАНИЯ ЛОКОМОТИВНОГО ПАРКА ПРИ ВНЕДРЕНИИ СЕРВИСА

*В. Г. ПУЗЫРЬ, А. С. КРАШЕНИНИН, Ю. Н. ДАЦУН, А. Н. ОБОЗНЫЙ, В. И. ЗАДЕСЕНЕЦ*  
*Украинский государственный университет железнодорожного транспорта, г. Харьков*

В эксплуатации иногда возникают ситуации неопределенности оценки технического состояния оборудования локомотивов и одновременно выбора оптимальной стратегии их содержания, в том числе с возможностью применения сервиса.

Как показывает опыт развитых стран, целесообразно при эксплуатации локомотивов внедрять концепцию сервиса, так как это дает возможность стимулировать работу всех подразделений локомотивного хозяйства, экономить все виды ресурсов на эксплуатацию локомотивов.

Отечественными и зарубежными учеными много внимания уделялось оптимизации системы технического обслуживания (ТО), текущих ремонтов (ТР) тягового подвижного состава (ТПС), внедрению в ТО и ТР методов и систем диагностирования, средств автоматизации и информационных технологий, оценке жизненного цикла ТПС.

Сочетание этих подходов с позитивным опытом стран, которые внедрили принцип сервиса, позволит адаптироваться отрасли к новым реалиям содержания подвижного состава.

Теоретическое обоснование перехода на сервис достаточно точно можно описать, применяя подходы теории игр относительно принятия решений в конфликтных ситуациях и определения оптимальной стратегии поведения каждого из участников в этой ситуации [1, 2].

Рассмотрим игровую задачу так называемой торговли.

Пусть фирма А планирует организовать выпуск запасных частей для скоростного подвижного состава. Для этого необходимы ресурсы и техника, которых у фирмы А нет.

В этой ситуации возможно заключить контракты с фирмой В, которая может обеспечить финансирование этого проекта, но ставит за это условие фирме В – долю выпущенных запасных частей для скоростного подвижного состава за первый год работы фирмы А.

Предполагается выпуск запасных частей для скоростного подвижного состава за год в объеме в среднем 250 единиц по цене 40 тыс. грн. (всего 100 млн грн.).

Для фирмы А, которая представляет страну с ослабленной инфраструктурой и неэффективной экономикой, необходимо выполнения этого задания как можно быстрее.

Фирма В требует получить часть готовой продукции больше половины, поскольку только это покрывает ее затраты, что для нее принципиально.

Фирма В не может требовать от фирмы А выполнения своих интересов, так как фирма А может привлечь к выпуску запчастей для скоростного подвижного состава фирму С.

Складывается конфликтная ситуация между взаимодействием фирм, так как они обе получают прибыль и сумма их платежей не равна нулю. Это кооперативная игра с ненулевой суммой. Оцениваются возможности фирм путем определения функции полезности.

Когда какая-нибудь одна фирма получает всю прибыль за год, полезность для нее равна 1, а для другой – соответственно 0. То есть при росте полезности для одной фирмы другой фирме приходится потерять эту полезность.

Лучшим решением является такое распределение прибыли, при котором произведение полезностей является максимальным.

В общем случае функцию полезности можно задать на основании статистических данных для конкретных условий функционирования предприятия.

Запишем функцию полезности для фирмы А как функцию  $y_1 = a_1x^3 + a_2x^2 + a_3x + a_4$  в общем виде. То есть с возрастанием платежей от фирмы В фирма А получает всё больше пользы в своей деятельности.

Вместе с этим для фирмы В функция полезности с увеличением платежей также возрастает, но в противофазе к интересам фирмы А. Эту особенность представим для функции полезности в виде  $y_2 = -b_1x^3 + b_2x^2 + b_3x + b_4$ .

Для условия достижения оптимального значения функции полезности определим перемноженную функцию  $y = y_1 \cdot y_2$ . В связи со сложностью аналитического представления максимальной полезности приведем числовой пример реализации данной задачи. По статистическим данным [3] запишем для фирмы А функцию полезности в виде  $y_1 = 10^{-6}x^3 - 0,62 \cdot 10^{-3}x^2 + 0,41 \cdot 10^{-1}x + 0,29 \cdot 10^{-1}$ .

Для фирмы В соответственно  $y_2 = -0,3 \cdot 10^{-6}x^3 + 0,134 \cdot 10^{-4}x^2 + 0,115 \cdot 10^{-1}x - 0,2 \cdot 10^{-1}$ .

Соответствие платежей и полезности от их распределения приведено в таблице 1.

Таблица 1 – Соответствие платежей и полезности от их распределения

Фирма	Значение											
А	$y_1$	0	0,386	0,636	0,798	0,891	0,933	0,943	0,938	0,939	0,963	1
	$x_1$	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
В	$y_2$	1	0,921	0,842	0,753	0,655	0,55	0,439	0,325	0,208	0,091	0
	$x_2$	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
$y_1 \cdot y_2$		0	0,355	0,535	0,601	0,583	0,513	0,414	0,305	0,196	0,088	0

Как видно из расчетов, максимальное значение  $y$  достигается при распределении платежей: 30 млн грн. фирме А и 70 млн грн. фирме В, когда  $y = 0,601$ .

На рисунке 1 представлено решение этой задачи. По оси абсцисс в числителе отображен платеж в пользу фирмы А, в знаменателе – платеж в пользу фирмы В.

Из проведенных исследований по выбору стратегии содержания локомотивного парка видно, что методами стратегических игр можно решать различные типы задач, связанные с принятием решений, в частности, обоснование постепенного перехода к сервису, выбор тактики обслуживания подвижного состава, оптимальное взаимодействие между разными фирмами.

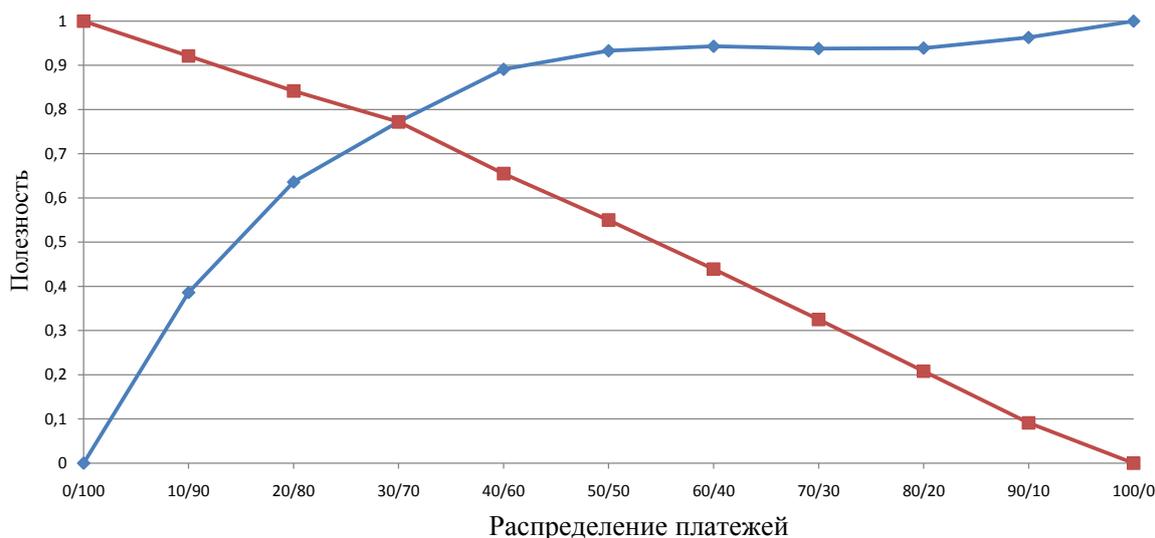


Рисунок 1 – Графическое представление решения игровой задачи торговли

В ситуации, присущей кооперативной игре с ненулевой суммой, целесообразно получить информацию о динамике функции полезности, по которой можно оценивать выбранные стратегии игроков.

#### Список литературы

- 1 **Вентцель, Е. С.** Элементы теории игр / Е. С. Вентцель. – М. : Физматгиз, 1961. – 68 с.
- 2 **Dixit, A. K.** Games of Strategy / A. K. Dixit, S. Skeath, D. McAdams. – Norton & Company, 2015.
- 3 Автоматизированная система управления надежностью локомотивов (АСУНТ) / К. В. Липа [и др.] // Концепция ТМХ-Сервис. – М. : ТМХ-Сервис, 2012. – 160 с.

УДК 629.4.023

## РАЗРАБОТКА 3D МОДЕЛИ ЯКОРЯ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ЭД-118

*А. В. ПУТЯТО, А. Л. ШВЕДОВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В процессе эксплуатации тягового подвижного состава Белорусской железной дорогой особое внимание уделяется поддержанию требуемого уровня эксплуатационной надежности, в том числе за счет совершенствования технологии выполнения работ по неразрушающему контролю его ответственных деталей и узлов. Несмотря на соблюдение технологии ремонта тяговых электрических машин при различных видах обслуживания и ремонта в условиях локомотивных депо Белорусской железной дороги и иных специализированных предприятий в локомотивном хозяйстве наряду с типовыми неисправностями, такими как понижение сопротивления изоляции, перегрев и расплавление контактных соединений и прочих, наблюдается тенденция увеличения отказов по причинам, имеющим механическую природу: трещины валов якорей и подшипниковых щитов, ослабление посадки зубчатого колеса на конусной части вала и внутренних колец подшипников на шейках вала якоря, разрушение сепараторов подшипников и т. п.

Одной из наиболее распространенных электрических машин тягового подвижного состава, эксплуатируемой на Белорусской железной дороге является ЭД-118. Указанным тяговым электродвигателем укомплектованы тепловозы серии М62 и 2ТЭ10 всех исполнений. Анализ результатов ультразвукового и магнитопорошкового контроля валов якорей тяговых электродвигателей со средним сроком эксплуатации 30 лет свидетельствует о встречающихся трещинах, имеющих, предположительно, природу усталостного характера. Отметим, что ряд возникающих эксплуатационных неисправностей успешно устраняется при плановых видах ремонта и не влияет на достижение предельного состояния электродвигателя. В то же время такая неисправность, как появление трещин в ба-

зовых элементах, носит принципиальный характер и напрямую определяет ресурс электрической машины в целом.

Как правило, при проектировании и прочностных расчетах узлов и деталей подвижного состава применяется подход, предусматривающий поэлементную оценку нормативным критериям. В то же время тяговый электродвигатель работает в условиях комплексного воздействия электромагнитных и тепловых полей, вибрации и иного механического нагружения различной природы. Таким образом, актуальной становится задача количественной оценки влияния, например, изменяющегося температурного поля на деформационную картину механически взаимодействующих узлов в условиях динамического нагружения. Решение такой задачи может стать основой разработки уточненных методик оценки остаточного ресурса базовых частей тяговых электрических машин, а также превентивного контроля их в процессе эксплуатации.

Для проработки указанного выше подхода на начальной стадии решения задачи разработана трехмерная модель вала якоря тягового электродвигателя ЭД-118 в среде Autodesk Inventor. На рисунке 1 приведены геометрические модели вала и пластины якоря, представленные регулярной сеткой конечных элементов.

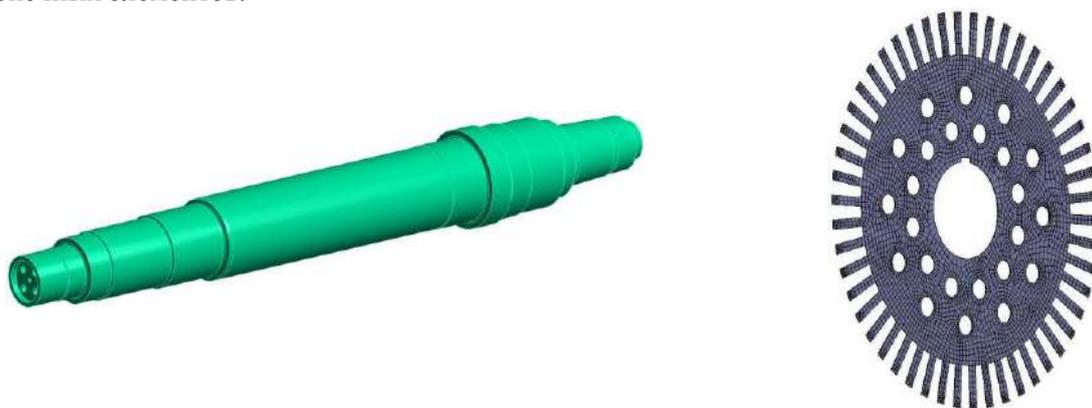


Рисунок 1 – Геометрические модели вала и пластины якоря тягового электродвигателя ЭД-118

Моделирование выполнено на основании комплекта заводских чертежей, а также обмеров образцов тяговых электродвигателей. Основной проблемой при моделировании якоря машины постоянного тока является его многокомпонентность: на вал якоря напрессован шихтованный сердечник, состоящий из большого числа штампованных стальных пластин, которые пропитаны между собой компаундом. Также в пазах якоря укладывается медная обмотка, припаяваемая к коллекторным пластинам. Разнообразие материалов, способов их соединения, а также элементы бандажировки значительно усложняют процесс моделирования.

Для дальнейшего решения поставленной комплексной задачи указанные конструктивные элементы будут импортированы в программный продукт ANSYS для доработки компьютерной модели и последующей разработки методики сопряженного анализа.

УДК 629.44

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ РЕМОНТА УДАРНО-ТЯГОВЫХ ПРИБОРОВ МАГИСТРАЛЬНЫХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ВАГОНОВ**

*В. Ф. РАЗОН, П. Г. ЗАЙЦЕВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В настоящее время для эффективного поддержания исправного технического состояния ударно-тяговых приборов магистральных железнодорожных вагонов необходимо иметь современное техническое оснащение и соответствующую ему передовую организацию работ. На большинстве предприятий по ремонту вагонов преобладают устаревшие металлообрабатывающие станки выпуска 1980–2000 годов. Эти станки имеют ручное управление, поэтому качество и скорость обработки зависят не только от технических характеристик станка и обрабатываемого инструмента, но и от квалификации рабочих.

Для существенного повышения производительности работ при ремонте корпусов автосцепок на вагоноремонтных предприятиях Белорусской железной дороги предлагается использовать специализированный фрезерный станок с числовым программным управлением модели СФС-02 CNC (рисунок 1), разработанный Российской компанией «СК Станкоснаб» [1].

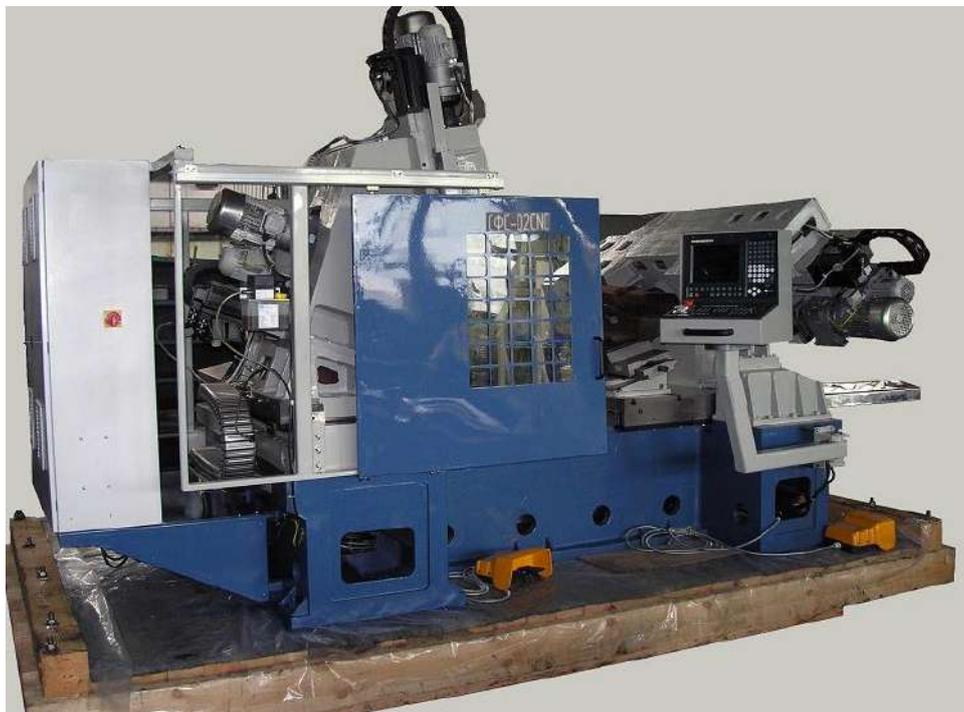


Рисунок 1 – Фрезерный станок с ЧПУ модели СФС-02 CNC

На этом станке обработка выполняется в автоматическом режиме с полным исключением влияния человеческого фактора на производственный процесс. Обслуживающий персонал задаёт лишь программу обработки, а сам процесс происходит без участия людей. В случае если во время работы происходит сбой программы, станок автоматически останавливается, а корпус автосцепки специальным манипулятором снимается с рабочей позиции, подается на подготовительно-заключительную позицию и фиксируется на ней. При выборе цикла обработки все параметры выбираются по результатам измерений автоматически из памяти модуля ЧПУ. Например, если хвостовик имеет изгиб до 3 мм у новых автосцепок и до 15–20 мм у бывших в эксплуатации, то оператору станка достаточно в программе обработки заменить лишь один параметр, и система ЧПУ автоматически произведет корректировку траекторий движения обрабатывающего инструмента. Особенность фрезерного станка СФС-02 CNC состоит в том, что для обработки различных поверхностей корпуса автосцепки нет необходимости переустанавливать его на рабочей позиции в другое положение.

На станке обрабатываются следующие поверхности:

- ударная часть малого зуба;
- тяговая часть малого зуба;
- отверстие под валик подъемника;
- зев автосцепки;
- тяговая часть большого зуба;
- ударная часть хвостовика;
- отверстие клина тягового хомута;
- верхняя плоскость хвостовика.

Применяемый на данном станке режущий инструмент использует сменные твердосплавные пластины, которые позволяют в разы повысить скорость резанья и стойкость инструмента.

Для обработки торцевой поверхности хвостовика используется фреза диаметром 100 мм (рисунок 2), которая имеет дополнительную поддержку центром, что значительно повышает жесткость системы, производительность и точность обработки. Фреза для обработки паза имеет гораздо

меньшую консоль, чем на других станках, что также значительно повышает жесткость системы и производительность обработки. Шпиндели станка имеют жесткую конструкцию за счет использования 2-рядных роликовых подшипников.



Рисунок 2 – Специальная фреза для обработки отверстия под валик подъемника

Управление станком осуществляется от системы ЧПУ модели NC-110, что позволяет достаточно гибко управлять процессами обработки хвостовика, большого и малого зубьев с однократной «привязкой» системы управления к детали. Система ЧПУ после «привязки» в автоматическом режиме выдерживает параметры обработки большого и малого зубьев с обеих сторон. При обработке корпуса автосцепки обеспечиваются: точные геометрические размеры профиля и расстояние между ударной и тяговой поверхностями малого зуба; расстояние между ударной и тяговой поверхностями большого зуба; расстояние между цилиндрической частью хвостовика и пазом для клина тягового хомута. На станке СФС-02 CNC реализован принцип автоматической смены режущего инструмента, что очень удобно для обслуживающего персонала и существенно повышает производительность труда.

Опыт использования станка модели СФС-02 CNC показывает, что обработка корпуса автосцепки сокращается с 2,5 часов до 45 минут при более высоком качестве. Это делает его весьма перспективным для использования на вагоноремонтных предприятиях Белорусской железной дороги.

УДК 629.4.01

## **ИЗМЕРЕНИЯ ВЕРТИКАЛЬНЫХ И БОКОВЫХ СИЛ, ДЕЙСТВУЮЩИХ НА БОКОВУЮ РАМУ ТЕЛЕЖКИ ПРИ ДВИЖЕНИИ ВАГОНА**

*Р. В. РАХИМОВ, Ю. П. БОРОНЕНКО*

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

При проведении ходовых испытаний грузовых вагонов важное значение имеет точное определение их динамических качеств, которые определяются расчетно-эмпирическим методом [1]. Среди показателей динамических качеств грузовых вагонов можно выделить коэффициент динамической добавки необрессоренных частей и рамные силы. Эти показатели рассчитываются через значения вертикальных и боковых сил, действующих на раму тележки от колесной пары при движении вагона.

В настоящее время существующие методы измерения вертикальной силы, с помощью которой рассчитывается коэффициент динамической добавки необрессоренных частей тележки, в том числе и традиционная схема измерения согласно ГОСТ 33788–2016 [2], которая состоит из двух активных тензорезисторов, установленных на поверхности радиуса, образованного зоной перехода от верхнего пояса боковой рамы к наклонному поясу, и двух компенсационных тензорезисторов, не позво-

ляют определить ее значение с достаточной точностью. При одновременном действии нескольких сил существующие схемы не в полной мере позволяют исключить влияние дополнительных нагрузок, возникающих при движении в кривых участках пути и на стрелочных переводах, что существенно влияет на погрешность измерения вертикальной силы.

Проведенные в работе [3] теоретические исследования нагруженности боковой рамы тележки грузового вагона с применением метода конечных элементов при действии нагрузок от колесной пары показали, что при действии продольной силы на внутренний опорный упор буксового проема, а также по площадке контакта клина и стенки рессорного проема при принятой схеме измерения по ГОСТ 33788–2016 значение вертикальной силы уменьшается, тогда как при действии продольной силы на наружный опорный упор буксового проема ее значение увеличивается. Это приводит к существенным ошибкам в определении коэффициента динамической добавки необрессоренных частей при ходовых испытаниях. Также установлено, что традиционная схема установки тензорезисторов для измерения боковых (рамных) сил согласно ГОСТ 33788–2016, которая состоит из восьми тензорезисторов (рисунок 1), размещенных с двух сторон на верхнем и наклонном поясах боковой рамы тележки, при соединении тензорезисторов в два полных моста с четырехпроводной схемой подключения с дальнейшей обработкой сигналов позволяет применить схему одновременно для измерения вертикальных и боковых (рамных) сил, действующих на раму тележки от колесной пары [4].

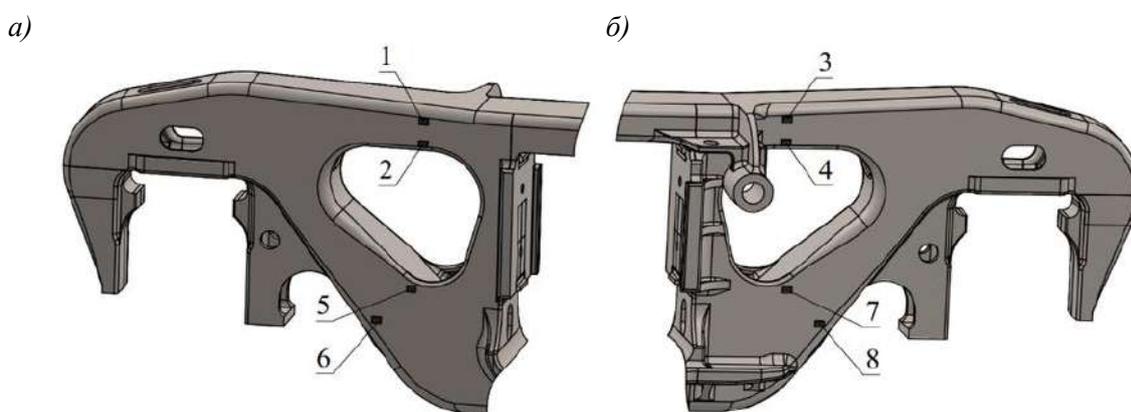


Рисунок 1 – Схема установки тензорезисторов для измерения вертикальных и боковых сил на боковой раме тележки:  
а – вид снаружи; б – вид изнутри; 1–8 – номера тензорезисторов

Величины вертикальной и боковой сил, выраженные через деформации, имеют следующий вид:

$$P_v = K_v \frac{E}{1-\mu^2} \epsilon_{x1} + \epsilon_{x2} + \epsilon_{x3} + \epsilon_{x4} - \epsilon_{x5} - \epsilon_{x6} - \epsilon_{x7} - \epsilon_{x8} ;$$

$$P_6 = K_6 \frac{E}{1-\mu^2} \epsilon_{x1} + \epsilon_{x2} - \epsilon_{x3} - \epsilon_{x4} + \epsilon_{x5} + \epsilon_{x6} - \epsilon_{x7} - \epsilon_{x8} ,$$
(1)

где  $K_v$  и  $K_6$  – постоянные коэффициенты соответственно для измерения вертикальной и боковой сил, определяемые при градуировке тензометрических схем;  $E$  – модуль упругости;  $\mu$  – коэффициент Пуассона;  $\epsilon_{xi}$  – линейные деформации, вызванные продольными нормальными напряжениями  $\sigma_{xi}$  в измерительных точках, расположенных на поверхности боковой рамы тележки.

Если учесть, что

$$S_1 = \epsilon_{x1} + \epsilon_{x2} - \epsilon_{x7} - \epsilon_{x8};$$

$$S_2 = \epsilon_{x3} + \epsilon_{x4} - \epsilon_{x5} - \epsilon_{x6},$$
(2)

то выражения (1) можно записать следующим образом:

$$P_v = K_v \frac{E}{1-\mu^2} \epsilon_{x1} + \epsilon_{x2} - \epsilon_{x7} - \epsilon_{x8} + \epsilon_{x3} + \epsilon_{x4} - \epsilon_{x5} - \epsilon_{x6} ;$$

$$P_6 = K_6 \frac{E}{1-\mu^2} \epsilon_{x1} + \epsilon_{x2} - \epsilon_{x7} - \epsilon_{x8} - \epsilon_{x3} + \epsilon_{x4} - \epsilon_{x5} - \epsilon_{x6} .$$
(3)

Чтобы использовать одну схему установки тензорезисторов для измерения вертикальных и боковых сил, действующих на раму тележки от колесной пары, тензорезисторы целесообразно соединить в два полных моста с четырехпроводной схемой подключения. Это позволит получить суммирование и вычитание сигналов  $S_1$  и  $S_2$ .

Тогда из выражений (2) и (3) получаем формулы для вычисления вертикальной и боковой сил, действующих на боковую раму тележки от колесной пары при движении вагона:

$$\begin{aligned} P_v &= K_v \frac{E}{1-\mu^2} S_1 + S_2 ; \\ P_b &= K_b \frac{E}{1-\mu^2} S_1 - S_2 . \end{aligned} \quad (4)$$

Таким образом, традиционная схема установки тензорезисторов для измерения боковых сил, согласно ГОСТ 33788–2016, при соединении тензорезисторов в два полных моста с четырехпроводной схемой подключения, согласно выражениям (4), позволяет применить схему одновременно для измерения вертикальных и боковых сил. Это дает возможность повысить точность измерений вертикальной силы, с помощью которой рассчитывается коэффициент динамической добавки необрессоренных частей при проведении испытаний согласно ГОСТ 33788–2016, и обеспечить одновременное измерение вертикальных и боковых сил, передающихся на боковую раму тележки от колесной пары, что позволит, не увеличивая количество измерительных каналов в аппаратуре, сократить число тензорезисторов для измерения рассматриваемых сил при проведении ходовых динамических испытаний.

#### Список литературы

- 1 ГОСТ 33211–014. Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам. – Введ. 2016–01.07. – М. : Стандартинформ, 2016. – 54 с.
- 2 ГОСТ 33788–2016. Вагоны грузовые и пассажирские. Методы испытаний на прочность и динамические качества. – Введ. 2017–01.05. – М. : Стандартинформ, 2016. – 41 с.
- 3 **Бороненко, Ю. П.** Разработка новых методов измерения вертикальных сил, действующих на боковую раму тележки от колесной пары при движении вагона / Ю. П. Бороненко, Р. В. Рахимов, А. В. Белянкин // Известия ПГУПС. – 2020. – Т. 17. – Вып. 1. – С. 7–22.
- 4 Способ измерения вертикальных и боковых сил, действующих на боковую раму тележки от колесной пары при движении вагона: заявка на изобретение 2020125348 Российская Федерация: МПК G01L 5/16 / Ю. П. Бороненко, Р. В. Рахимов, М. В. Зимакова, С. В. Дмитриев, С. Ю. Петухов, А. В. Белянкин; заявитель и патентообладатель АО «НВЦ «Вагоны»; заявл. 23.07.2020.

УДК 629.4.027.27

## АНАЛИЗ ОТКАЗОВ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ВАГОНОВ ПО ПРИЧИНЕ ИЗНОСА ВТУЛОК ТЕЛЕЖКИ

*А. П. РУДКОВСКИЙ, С. М. ВАСИЛЬЕВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Проведенный анализ отказов работоспособности вагонов, выявленных на станции Жлобин за 2019 год, показал, что 266 из 416 связаны с износом/изломом/отсутствием втулки подвески башмака. Это привело к простоям вагонов, несвоевременной доставке груза, затратам на ремонт и выплатам дополнительной премии (в размере одной базовой величины за каждый случай обнаружения) осмотрщику-ремонтнику вагонов.

Узел подвески тормозного башмака представлен на рисунке 1.

Втулка выполнена двухслойной и состоит из внутреннего рабочего слоя скольжения и наружного демпфирующего слоя.

Данные втулки имеют низкие прочностные характеристики. Кроме того, из-за наличия в составе материала втулок большого количества формальдегидной смолы при изготов-

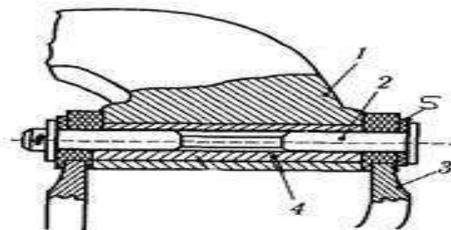


Рисунок 1 – Узел подвески тормозного башмака:  
1 – кронштейн боковой рамы; 2 – валик подвески; 3 – подвеска башмака; 4 – втулка (волоконитовая); 5 – втулка полиуретановая

лении таких втулок выделяется фенол, формальдегид и пыль, что требует принятия повышенных мер безопасности. Втулка технологически сложна в изготовлении, а при эксплуатации возникают расслоения, трещины, выкрашивание и протёртости ее частей (рисунки 2, 3).



Рисунок 2 – Отсутствие резиновой и волокнистой втулки



Рисунок 3 – Износ, протёртость и выкрашивание

Руководящий документ «Инструкции по ремонту тележек грузовых вагонов» РД 32 ЦВ 052–2009 предписывает следующее: «Втулки кронштейнов боковых рам тележек, у которых отверстия для валиков подвески триангеля разработаны более чем на 1 мм при деповском ремонте, а при капитальном ремонте независимо от износа, заменяют. При установке новых волокнистых втулок осуществлять их подбор по трём типоразмерам (диаметром 45, 46, 47 мм) с зазором не более 1 мм. При разработке отверстия в кронштейне более 48 мм его рассверливают до диаметра 50 мм для постановки промежуточной металлической втулки, которую обваривают с торца по периметру».

Подбор втулок по диаметру существенно увеличивает время на восстановление работоспособности вагона и усложняет технологический процесс при текущем отцепочном ремонте.

При замене или установке втулки подвески тормозного башмака производится замена шплинтов крепления валика, в случае адгезии втулки и кронштейна боковой рамы приходится использовать газорезку для удаления остатков, а это дополнительные затраты времени на ремонт вагона и ресурсов.

При рассмотрении резиновых и полиуретановых втулок подвески тормозного башмака, изображенных на рисунке 4, выявлен ряд недостатков:

- плохо выдерживает нагрузки на скручивание;
- эластичность и прочность материала зависят от температуры;
- сложность переработки во вторичное сырье.



Рисунок 4 – Резиновая и полиуретановая втулки подвески тормозного башмака

Наличие данных недостатков отрицательно сказывается на работоспособности узла подвески тормозного башмака и требует их устранения путём замены материала, из которого они изготавливаются.

Отказ работоспособности вагона в эксплуатации по причине износа, отсутствия или выкрашивания втулок подвески тормозного башмака создаёт ряд негативных последствий:

- отцепка вагона от состава поезда;
- подача вагона на ремонтный путь;
- комиссионный осмотр;
- простой вагона в ожидании ремонта.

Отцепка вагона от состава поезда ведёт к уменьшению веса состава, а соответственно отрицательно влияет на показатель тонно-километров.

Подача вагона на ремонтный путь сопровождается дополнительной маневровой работой, что негативно влияет на запланированную маневровую работу по расформированию и формированию поездов.

Комиссионный осмотр вагона производится комиссией, состоящей из заместителя начальника депо по эксплуатации, начальника ПТО и мастера ПТО, с целью подтверждения отказа работоспособности и составления акта о премировании ОВР, выявившего отказ.

В свою очередь важнейшим элементом системы товародвижения является транспортировка товаров. Для собственников грузовых вагонов определяющими условиями являются стоимость, качество ремонта и время простоя вагона в ремонте.

Нашей же задачей является использование материалов, позволяющих увеличить срок службы втулок за счет повышения их технических характеристик, которое достигается путем качественного и количественного соотношения входящих в материал втулок компонентов.

УДК 621.331:621.332

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭНЕРГООБМЕННЫХ РЕЖИМОВ В СИСТЕМАХ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С НАКОПИТЕЛЯМИ ЭНЕРГИИ**

*О. И. САБЛИН, Д. А. БОСЫЙ*

*Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта  
им. акад. В. Лазаряна, Украина*

Перспективным направлением снижения энергоёмкости и повышения энергетических показателей систем электрифицированного транспорта является использование силовых накопителей энергии (НЭ) [1–3]. Они позволяют демпфировать колебания тяговой нагрузки транспортных средств, повысить эффективность использования энергии рекуперации, снизить потери энергии и установленную мощность системы тягового электроснабжения. Временное хранение энергии рекуперации в НЭ имеет существенное преимущество перед ее возвращением в систему внешнего электроснабжения, поскольку не зависит от режимов нетяговых нагрузок в узлах присоединения тяговых подстанций (ТП). На сегодняшний день существует положительный опыт эксплуатации НЭ на метрополитенах и городском электротранспорте. На ТП преимущественно используются инерционные механические НЭ как наиболее согласованные с электромеханическими характеристиками транспортных нагрузок. Комплекс из 2–5 энергоблоков позволяет аккумулировать энергию мощностью 1,5–2,5 МВт, что обеспечивает пуск и разгон двух электропоездов до скорости 60 км/ч [3]. Использование суперконденсаторных и сверхпроводящих индуктивных НЭ в тяговых сетях в настоящее время находится на стадии экспериментальной эксплуатации.

Управление процессами энергообмена в НЭ для систем общей энергетики и электрической тяги отличаются. В общей электроэнергетике НЭ должно обеспечивать постоянный уровень отбора электроэнергии от генерирующей системы, компенсируя отклонения от среднего значения мощности. Уровень энергопотребления, по которому НЭ переключается с зарядного режима в разрядный и наоборот, и величина его энергоёмкости устанавливаются путем статистического моделирования графиков нагрузок с учетом заданного значения показателя, характеризующего неравномерность потребления мощности от источника. В системе электрической тяги, где имеет место как потребление, так и рекуперация энергии, управление процессом энергообмена является более сложным и требует применения других алгоритмов, которые позволяют эффективно согласовывать работу НЭ в режиме демпфирования пиковых нагрузок и временного хранения избыточной энергии рекуперации. Во-первых, здесь надо четко различать, когда имеет место рекуперация с избытком мощности, отдаваемой по сравнению с потреблением. Другой режим – это когда потребляемая мощность превышает ту, что отдается. В первом случае алгоритм управления НЭ прост – он поглощает всю избыточную энергию, и его параметры должны быть выбраны именно с этим режимом. Во втором случае принцип управления энергообменом может варьироваться между двумя крайними случаями:

реализуется алгоритм максимально быстрого разряда НЭ и отдачи накопленной энергии с целью поглощения следующей порции энергии рекуперации или процесс отдачи энергии регулируют по принципу поддержания определенного уровня потребляемой от энергосистемы мощности или минимально допустимого уровня напряжения на фидерах.

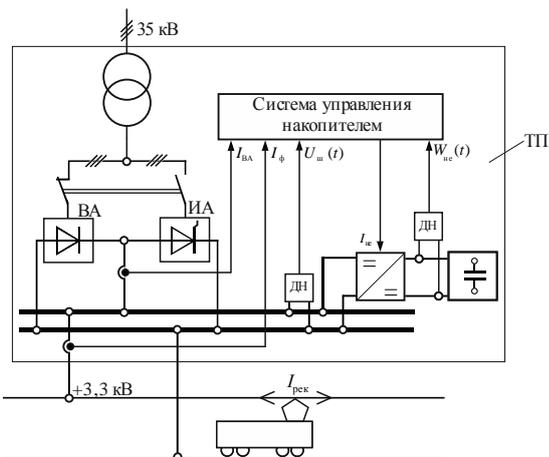


Рисунок 1 – Структурная схема управления режимом энергообмена НЭ

Построение системы управления НЭ определяется наличием датчиков для реализации обратных связей, измеряющих для сравнения потребляемые мощности (токи) с тяговой и внешней сетями и датчиков напряжения на шинах ТП и собственно самого НЭ (рисунок 1). При этом возможна регулировка только по сигналам датчика напряжения на фидерах ТП, когда при повышении напряжения выше уровня холостого хода НЭ включается в режим поглощения, стабилизируя напряжение на шинах в заданных пределах.

Для расширения возможностей исследования режимов работы НЭ при рекуперации авторами была разработана универсальная модель системы электрической тяги в среде MatLab [1], позволяющая учитывать параметры движения поездов на участках, режимы системы внешнего электроснабжения, характеристики НЭ, которая позволяет выбирать наиболее рациональные энергообменные режимы работы НЭ. Модель состоит из элементов внешнего электроснабжения, тяговой подстанции и тяговой сети, накопителей и тяговых нагрузок, а также системы управления.

В качестве примера моделирования рассмотрим однопутный железнодорожный участок тяговой сети постоянного тока (3,3 кВ), включающий три ТП, одна из них (ТП 2) оборудована НЭ с энергоемкость 300 кВт·ч, в зоне питания которой одновременно движутся два поезда (рисунок 2, а).

Рассмотрим случай прохождения тяжеловесного поезда 1, оборудованного рекуперацией, за которым следует легковесный поезд 2 без рекуперации. Профиль пути между подстанциями выбран таким, что поезда на участке ТП 1-2 находятся в режиме тяги и выбега, а ТП 2-3 – частично в режиме выбега и торможения. Режимы движения поездов были выбраны такими, что процессы тягового электропотребления и рекуперации поездов на смежных участках не совпадают во времени, что является наиболее распространенным случаем, поэтому всю избыточную энергию рекуперации необходимо поглощать в НЭ. После выхода поезда 1 за пределы рассматриваемой области и входа поезда 2 на участок ТП 2-3, на участок ТП 1-2 заходит тяжеловесный поезд 3, потребляющий энер-

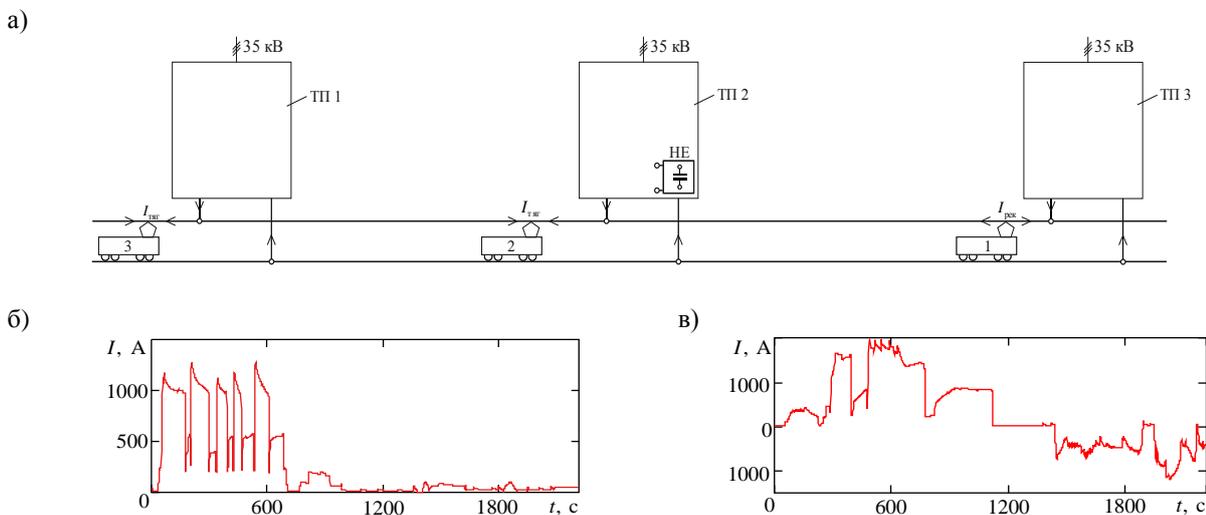


Рисунок 2 – Структурная схема моделируемого участка (а), графики токов поездов 1, 3 (б) и 2 (в)

Рассмотрим случай прохождения тяжеловесного поезда 1, оборудованного рекуперацией, за которым следует легковесный поезд 2 без рекуперации. Профиль пути между подстанциями выбран таким, что поезда на участке ТП 1-2 находятся в режиме тяги и выбега, а ТП 2-3 – частично в режиме выбега и торможения. Режимы движения поездов были выбраны такими, что процессы тягового электропотребления и рекуперации поездов на смежных участках не совпадают во времени, что является наиболее распространенным случаем, поэтому всю избыточную энергию рекуперации необходимо поглощать в НЭ. После выхода поезда 1 за пределы рассматриваемой области и входа поезда 2 на участок ТП 2-3, на участок ТП 1-2 заходит тяжеловесный поезд 3, потребляющий энер-

гию по тому же графику, что и поезд 1. При этом случае он частично подпитывается от НЭ. На основе тяговых расчетов для данного участка (ТП 1-3) были составлены графики токов поездов, определяющие режим электропотребления для заданных профиля и времени хода по участку.

В результате моделирования было выполнено сравнение расхода энергии по вводу 35 кВ ТП 2 при наличии и отсутствии на ней НЭ, а также рассмотрены рациональные пределы разряда НЭ при подкормке тяговой нагрузки. При отсутствии тягового электроснабжения в зоне рекуперации и НЭ на ТП 2 вся энергия рекуперуется при торможении поезда на участке ТП 2-3 и будет утилизироваться в его реостатных или механических тормозах поезда. При наличии НЭ эта энергия может частично или полностью поглощаться с последующим возвращением в тяговую сеть для подпитки тяговых нагрузок.

Таким образом, при использовании накопителей энергии на тяговых подстанциях и управлении процессом их заряда-разряда по напряжению на шинах расход электроэнергии на вводе 35 кВ тяговой подстанции может быть снижен на 15–17 %, но энергия рекуперации вследствие ограниченной энергоемкости накопителя эффективно используется только на 60–70 %. Для увеличения экономического эффекта нужно повышать энергоемкость накопителя либо оптимизировать его энергообменные режимы с помощью преобразователя.

#### Список литературы

1 **Bosyi, D.** Computing and Optimization for DC Power Systems of Electric Transport / D. Bosyi, O. Sablin, Ye. Kosariev // New Jersey : World Scientific. – 2020. – 198 p. – Режим доступа : <https://www.worldscientific.com/worldscibooks/10.1142/q0229>. – Дата доступа : 10.10.20.

2 **Сопов, В. И.** Способы повышения эффективности использования энергии электрического торможения подвижного состава / В. И. Сопов // Онлайн Электрик: Электроэнергетика. Новые технологии [Электронный ресурс]. – 2012. – Режим доступа : <http://www.onlineelectric.ru/articles.php?id=43>. – Дата доступа : 18.09.2020.

3 **Саблін, О. І.** Дослідження ефективності процесу рекуперації електроенергії в умовах метрополітену / О. І. Саблін // Східно-європейський журнал передових технологій. – 2014. – № 6/8 (72). – С. 9–13.

УДК 625.

## РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ САН-ШИНЫ ШКАФА R3 ТЕПЛОВЗОВ СЕРИИ ТМЭ

*Ю. Г. САМОДУМ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

*Е. В. ПИСАРЕНКО*

*ЗАО «Штадлер Минск», г. Минск, Республика Беларусь*

В настоящее время ключевым направлением в развитии железнодорожного транспорта стало его усовершенствование и внедрение электроники. Современный локомотив представляет собой сложную систему механических и электронных устройств, правильная работа которых обеспечивает безопасность движения и выполнение перевозочного процесса. Применение электроники позволило добиться автоматизации в управлении системами локомотива, адаптировать работу этих систем для различных условий движения, а также снизить расход топлива и выбросы вредных веществ в окружающую среду.

На Белорусской железной дороге нашли широкое применение новые маневровые тепловозы серии ТМЭ1 и ТМЭ2, которые оснащены микропроцессорной системой управления.

При всех положительных сторонах внедрения электронных систем появились и новые проблемы, связанные со сложностью диагностирования и устранением неисправностей микропроцессорного оборудования. Участвовавшие случаи выходов из строя электронного оборудования, тепловозов серии ТМЭ1 и ТМЭ2 привели к увеличению простоя локомотивов в ремонте и, как следствие, усложнили процесс организации маневровой работы.

За период с 01.01.2016 по 31.10.2019 выполнен учет неисправностей электронного оборудования распределительного шкафа R3 тепловозов серии ТМЭ1 и ТМЭ2, результаты которого представлены на рисунке 1.

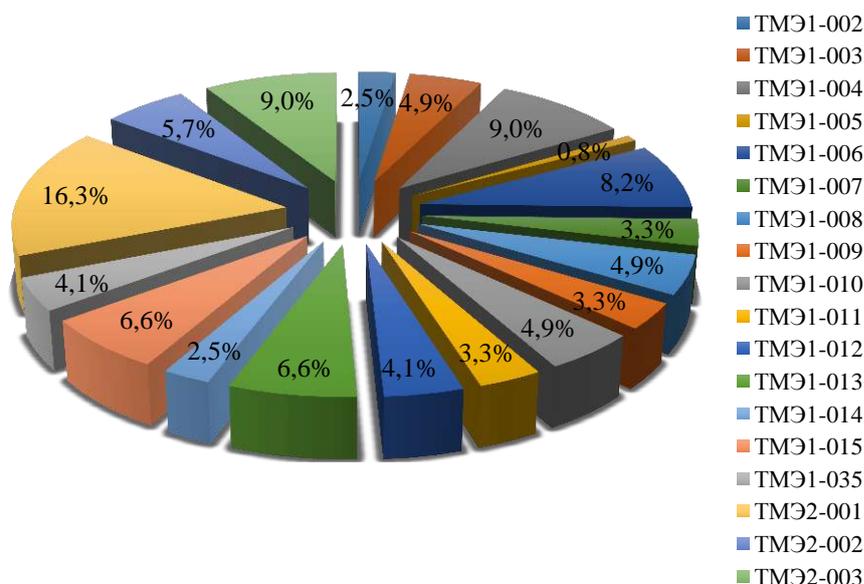


Рисунок 1 – Распределение неисправностей функциональных блоков преобразователя собственных нужд R3 тепловозов серии ТМЭ1 и ТМЭ2

Наибольшее количество сбоев в работе электронного оборудования за указанный промежуток времени было зафиксировано у тепловозов ТМЭ2 № 001 – 16,3 %, ТМЭ1 № 004 – 9,0 %, ТМЭ2 № 003 – 9,0 % и ТМЭ1 № 006 – 8,2 %. Данный факт указывает на появление определенных локомотивов, у которых участились случаи сбоев в работе и выходов из строя электронного оборудования преобразователя собственных нужд R3 типа PM120-4. Наибольшее количество неисправностей выявлено по следующему оборудованию распределительного шкафа R3: блок возбуждения тягового генератора GU4 – 27,5 %; инвертор, питающий электродвигатель компрессора и вентилятора охлаждения компрессора GS1 – 17,3 %; инвертор, питающий вентиляторы охлаждения двигателя внутреннего сгорания GS3 – 14,3 %; инвертор, питающий вентиляторы охлаждения тяговых электродвигателей локомотива GS2 – 9,2 %; зарядное устройство GU1 – 9,2 %.

В большинстве случаев при выходе из строя указанных блоков производят их замену, поскольку отсутствуют утвержденные методы их ремонта. Выявление неисправных деталей и их замена (восстановление) позволяют значительно снизить расход средств на ремонт электронного оборудования тепловозов.

При появлении на дисплейном модуле локомотива тревожного сообщения, связанного с выходом из строя инверторов GS1, GS2 и GS3, причиной может служить неисправность CAN-шины – устройства в электронной автоматике локомотива, основной задачей которой является объединение различных датчиков и процессоров в общую синхронизированную систему. Выявление неисправности этой системы поможет избежать тестирования и замены инверторов GS1, GS2 и GS3.

Упрощенная схема соединения функциональных блоков распределительного шкафа R3 типа PM120-4 по CAN-шине представлена на рисунке 2 [1, 2].

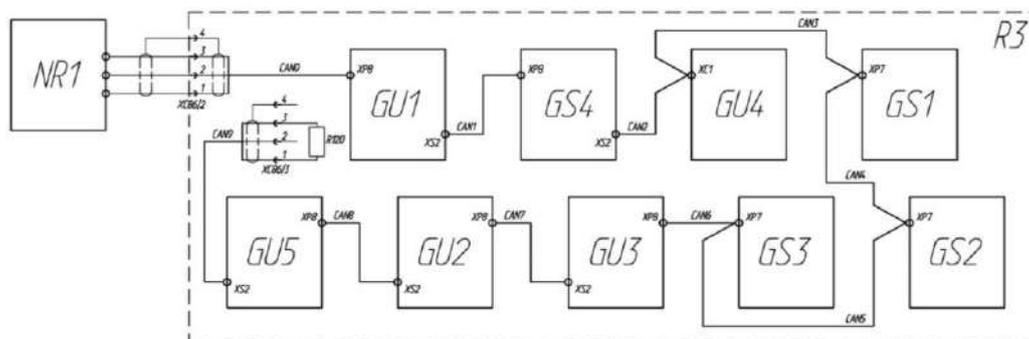


Рисунок 2 – Схема соединения функциональных блоков распределительного шкафа R3 типа PM120-4 по CAN-шине

Для диагностирования неисправностей предлагается использовать известный метод «средней точки». Схема подключения щупов мультиметра представлена на рисунке 3.

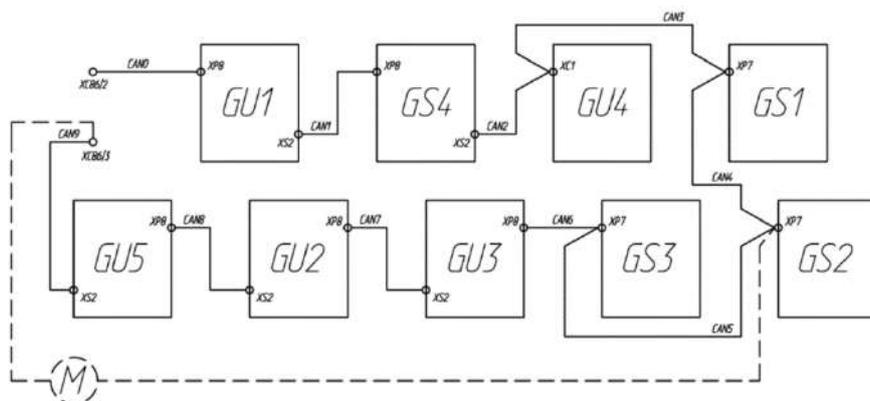


Рисунок 3 – Схема подключения щупов мультиметра при проверке методом «средней точки» CAN-шины распределительного шкафа R3 типа PM120-4

При выполнении проверки CAN-шины с использованием цифрового мультиметра в режиме «прозвонка» разъемы XC86/2 и XC86/3 необходимо отключить. Для первой проверки можно выбрать соединение XP7 электронного блока GS2. Если зуммер мультиметра M при включении будет издавать звуковой сигнал, значит, цепь от соединения XP7 до разъема XC86/3 исправна. Дальнейшую проверку необходимо осуществлять на участке от разъема XC86/2 до соединения XP7 инвертора GS2. Если зуммер мультиметра M не издавал звукового сигнала – неисправность находится на участке от соединения XP7 электронного блока GS2 до разъема XC86/3 и дальнейшую проверку необходимо выполнять там. Если зуммер издает звук – следующую проверку выполняем, присоединив щуп мультиметра M к разъему XC1 возбудителя тягового генератора GU4. Если зуммер не издает сигнал – наблюдается неисправность кабеля CAN3, если издает сигнал – неисправен кабель CAN2. Так как CAN-шина представляет собой витой кабель, данные работы должны быть выполнены для каналов CAN-H и CAN-L, по которым передаются высоко- и низкочастотные сигналы и для общего канала CAN-0, служащего для выравнивания потенциалов отдельных узлов.

Если диагностика CAN-шины показала ее исправность, то, как правило, причиной выхода из строя функциональных блоков распределительного шкафа R3 является неисправность инверторов GS1, GS2 и GS3, ремонт которых гораздо дешевле, чем их прямая замена. Так, общая стоимость одного трехфазного инвертора GS1–GS3 типа SN400-70.ZV с НДС составляет 17092,80 рублей [3]. Согласно анализу коммерческих предложений ремонт указанного электронного оборудования составит около 8546,40 рублей (50 % стоимости нового инвертора).

#### Список литературы

- 1 Электрическая схема распределительного шкафа R3 типа PM120-4: V00070B. – Введ. 2012-29-06. – Ческа-Тршебова : АО «CZ LOKO», 2012. – 8 с.
- 2 Преобразователь собственных нужд R3 типа PM120-4. Руководство по эксплуатации: TGP016269\_1. – Введ. 2014-23-02. – Ческа-Тршебова : АО «CZ LOKO», 2014. – 25 с.
- 3 Цент заключения контрактов [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://contract-center.ru>. – Дата доступа : 24.11.2019.

УДК 629.4.015

## ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ БОЛЬШОЙ МАССЫ И ДЛИНЫ

П. А. САХАРОВ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Увеличение массы и длины составов поездов способствует росту продольно-динамических сил в межвагонных соединениях. Большие продольные силы нарушают устойчивость движения и могут привести к сходу подвижного состава с рельсов вследствие выжимания или выдергивания вагонов,

распора или сдвига колес. Поскольку повышение массы поездов способствует росту провозной способности железнодорожных линий и экономии топливно-энергетических ресурсов, вопрос увеличения массы и длины составов в настоящее время особенно актуален. При этом возникает необходимость обеспечения безопасности движения таких поездов. Основным условием безопасности служит поддержание допустимого уровня продольных сил между вагонами при стационарных и нестационарных режимах ведения поезда. Наибольшие силы возникают при переходных процессах, возникающих при смене режимов движения и на переломах продольного профиля пути. Их снижение достигается как путем конструкционного совершенствования вагонов и межвагонных связей, так и обоснованным грамотным формированием составов и управлением движением.

Для решения задачи снижения продольных сил разработана математическая модель движения поезда, особенностью которой стал учет контактного взаимодействия автосцепок. В отличие от моделей, в которых межвагонное соединение описывается одним выражением, она позволяет учитывать силовые характеристики отдельно каждого поглощающего аппарата, зазоры между автосцепками и в их соединениях с тяговыми хомутами. Это повышает точность расчетов и расширяет возможности моделирования. Программная реализация математической модели выполнена в программном комплексе MSC.ADAMS. Модель поезда учитывает взаимодействие абсолютно твердых тел, моделирующих вагоны, на которые наложены связи, допускающие их прямолинейное движение вдоль трассы железнодорожной линии без вертикальных колебаний и угловых перемещений. Отсутствие пространственных колебаний оказывает несущественное влияние на достоверность результатов, но значительно упрощает расчеты. Для повышения точности определения продольных сил  $T$  в автосцепках поезда и возможности учета силовых характеристик поглощающих аппаратов различных типов разработана математическая модель амортизатора, определяемая выражением

$$T = \begin{cases} -\min C_{\text{пр}}, \max C_{\text{нст}}, Q_{\text{н}} \left( \left| \dot{q} \right| \right) |q| \in \left[ \frac{\delta}{2}, \frac{\delta}{2} + q_{\text{max}} \right], q\dot{q} \geq 0; \\ -\min C_{\text{пр}}, \max C_{\text{мин}}, \max \left( \min C_{\text{рст}}, Q_{\text{р}} \left( \left| \dot{q} \right| \right) K_{\text{нр}} \right) |q| \in \left[ \frac{\delta}{2}, \frac{\delta}{2} + q_{\text{max}} \right], q\dot{q} < 0; \\ -P_{\text{max}} - C_{\text{пр}} \left( \left| q \right| - \frac{\delta}{2} - q_{\text{max}} \right) \left| q \right| > \left( \frac{\delta}{2} + q_{\text{max}} \right); \\ 0, \text{ если } |q| < \frac{\delta}{2}, \end{cases} \quad (1)$$

где  $P_{\text{пр}}$  – сила взаимодействия вагонов при отсутствии амортизаторов, Н;  $P_{\text{нст}}$  – силовая характеристика амортизатора при статической нагрузке, Н;  $Q_{\text{н}}$  – силовая характеристика амортизатора при динамической нагрузке, Н;  $q$  – сжатие поглощающего аппарата, м;  $\dot{q}$  – скорость сжатия поглощающего аппарата, м/с;  $\delta$  – зазор в соединении тягового хомута с автосцепкой, м;  $q_{\text{max}}$  – конструкционный ход поглощающего аппарата, м;  $P_{\text{мин}}$  – сила возврата поглощающего аппарата в исходное состояние, Н;  $P_{\text{рст}}$  – силовая характеристика амортизатора при статической разгрузке, Н;  $Q_{\text{р}}$  – силовая характеристика амортизатора при динамической разгрузке, Н;  $C_{\text{пр}}$  – коэффициент продольной жесткости вагона, Н/м;  $K_{\text{нр}}$  – функция перехода от линии нагрузки к линии разгрузки, Н;  $P_{\text{max}}$  – сила закрытия поглощающего аппарата, Н.

Произведена оценка устойчивости движения поездов большой массы и длины по участкам пути неизменной крутизны, а также на переломах продольного профиля. Критерием устойчивости выбрана максимально допустимая сила сжатия, составляющая 500 кН для порожних вагонов и 1000 кН для груженых. Исследовано влияние неоднородности поезда по массе на величину продольных сил при резком и плавном торможении средствами локомотива. Рассмотрены случаи различного формирования составов из 100 вагонов массой от 24 до 100 т. При упруго-вязком взаимодействии вагонов и резком увеличении тормозного воздействия продольные силы в неоднородном поезде превысили соответствующие силы, возникшие в однородном поезде той же массы, на 30 % и более. Наибольшие из них превысили тормозную силу на 60–77 % и возникли при расположении порожних вагонов в первой трети состава. При их расположении в центре поезда максимальные силы возникли во второй четверти состава и достигли 40%-го превышения тормозной силы. Сделан вывод, что наименьшие продольные силы возникают в однородных по массе поездах, а в случае неоднородности – при расположении порожних вагонов в хвосте поезда. В последнем случае уровень продольных сил снижается по всей длине поезда, а между порожними вагонами уменьшается на порядок и более. Последнее обстоятельство имеет большое значение, так как именно порожние

вагоны предрасположены к потере устойчивости при относительно небольших сжимающих силах, особенно при движении в кривых участках пути. Данные выводы подтверждаются в работе [1].

Исследована продольная динамика поездов при плавном увеличении тормозной силы. Как показали результаты расчетов, медленное нарастание тормозной силы локомотива является наиболее значимым фактором снижения продольных сил, возникающих при переходных процессах. В большинстве случаев с увеличением времени роста тормозной силы уменьшаются силы между вагонами поезда. Наименьший уровень продольных сил наблюдается при нарастании тормозной силы в течение периода собственных продольных упругих колебаний поезда и более. В случае однородности состава по массе и жесткости межвагонных связей плавное увеличение тормозной силы в течение периода собственных упругих колебаний поезда способствует тому, что продольные колебания в нем практически не возникают. Это характерно для поездов с линейными силовыми характеристиками амортизаторов и подтверждается в работе [2]. Однако наличие неоднородности в этих же условиях приводит к незначительным колебаниям, пропорциональным степени неоднородности. Также способствуют развитию колебаний нелинейность силовых характеристик поглощающих аппаратов вагонов и зазоры в автосцепках. Определено, что в поезде массой до 10000 т возможные в эксплуатации зазоры до 100 мм могут привести к росту упругих сил действием более 2 с на 15–25 % относительно тормозной силы, а сил ударного характера – на величину до 120 % и более. Наибольшие значения характерны для неоднородных по массе поездов. При этом торможение растянутого поезда с зазорами в связях вызывает волну ударов, амплитуда и длительность которых увеличивается с ростом зазоров и распространяется от головы поезда к его хвосту. При плавном росте тормозной силы ударный характер взаимодействия вагонов сохраняется, но при меньшем уровне продольных сил.

Произведены расчеты, позволяющие оценить устойчивость движения поездов через переломы продольного профиля пути. При движении неоднородного по массе поезда через перелом продольного профиля пути в режиме выбега наибольшие продольные силы возникают в тех случаях, когда порожние вагоны располагаются в голове или центре поезда. Их расположение хвостовой части способствует значительному снижению продольных сил во всех межвагонных соединениях, а наиболее существенному – между порожними вагонами. В поездах большой массы и длины расположение порожних вагонов в центре поезда недопустимо. Как показали расчеты, при движении поезда массой более 6000 т в режиме выбега через положительный перелом профиля до 17 ‰ на расположенные в центре состава порожние вагоны могут действовать продольные сжимающие силы величиной 300–500 кН, способные привести к выжиманию вагонов с рельсовой колеи. В этом случае использование тормозных средств локомотива недопустимо, так как приведет к еще большему увеличению сжимающих сил и нарушению устойчивости движения.

Таким образом, представленные результаты исследований показали необходимость расположения порожних вагонов в хвосте состава, что особенно важно для поездов большой массы и длины.

#### Список литературы

- 1 Шимановский, А. О. Моделирование продольной динамики поезда в среде программного комплекса MSC.ADAMS / А. О. Шимановский, П. А. Сахаров, А. В. Коваленко // Актуальные вопросы машиноведения. – 2018. – № 7. – С. 75–78.
- 2 Сахаров, П. А. Оценка влияния характеристик межвагонных связей в поезде на величину продольных сил при электрическом торможении / П. А. Сахаров, А. О. Шимановский // Механика. Исследования и инновации. – 2019. – № 12. – С. 171–181.

УДК 629.4.01

### ОЦЕНКА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ МЕЖВАГОННОГО БЕЗАЗОРНОГО СЦЕПНОГО УСТРОЙСТВА БСУ-ТМ136 ТМ136.00.00.000 (ИСПОЛНЕНИЙ -13 и -14) ПРОИЗВОДСТВА ОБЩЕСТВА С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ «ТРАНСПОРТНАЯ ТЕХНИКА»

*Е. В. СОРОКИНА, Н. С. ПИСКАРЕВ*

*АО НО «Тверской институт вагоностроения», Российская Федерация*

Современный рынок пассажирских перевозок выдвигает новые требования к скоростям движения, комфортности и безопасности отечественного подвижного состава. Одной из тенденций совершенствования межвагонных связей пассажирского подвижного состава в России и за рубежом является применение безазорных сцепных устройств.

Являясь наиболее ответственной частью вагона, сцепные устройства подвижного состава железных дорог выполняют важную функцию по обеспечению соединения вагонов и локомотивов, передавая растягивающие и сжимающие усилия, возникающие во время движения поезда, а также при маневровых работах. Со времени создания первых поездов сцепные устройства прошли большой путь от винтовой стяжки до современных сцепных устройств, обеспечивающих автоматическое сцепление не только механической части устройства, но и межвагонных коммуникаций.

Конструкции сцепных устройств постоянно модифицируются. Это, в первую очередь, связано с увеличением скоростей движения подвижного состава и, как следствие, повышением требований безопасности, предъявляемым к эксплуатируемому пассажирскому подвижному составу.

БСУ-ТМ136 ТМ136.00.00.000 – межвагонное беззачорное сцепное устройство для пассажирского моторвагонного подвижного состава и вагонов локомотивной тяги, обеспечивающее сцепление вагонов и компенсацию продольных усилий, возникающих при движении поезда (БСУ-ТМ136 или сцепное устройство).

БСУ-ТМ136 позволяет выполнить межвагонный переход ровным, что обеспечивает беспрепятственный провоз тележек и контейнеров обслуживающего персонала при движении по различным участкам пути с конструкционной скоростью, а также пронос ручной клади пассажиров из одного вагона в другой.

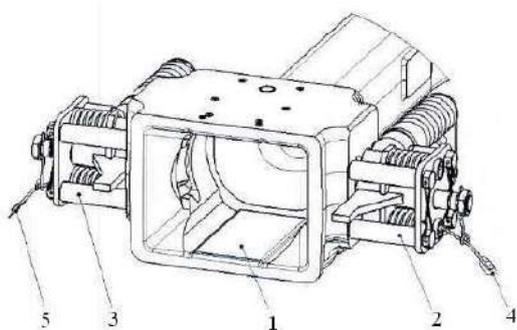


Рисунок 1 – Головная часть БСУ-ТМ136 исполнения -13:

1 – корпус сцепки; 2 – механизм сцепления (правый); 3 – механизм сцепления (левый); 4 – сигнальный флажок (правый); 5 – сигнальный флажок (левый)

Сцепное устройство имеет контур зацепления по ГОСТ 33434-2015 и может быть использовано для сцепления с аналогичными сцепными устройствами типа БСУ. Для сцепления с автосцепкой СА-3 предусмотрен специальный переходник.

Комплект БСУ-ТМ136 изготавливается в различных исполнениях и состоит из головной части БСУ-ТМ136 исполнения -13 (рисунок 1) и головной части БСУ-ТМ136 исполнения – 14 (рисунок 2).

Исполнения -13 и -14 БСУ-ТМ136 используются на вагонах производства ОАО «Тверской вагоностроительный завод» (ОАО «ТВЗ»).

Для подтверждения соответствия сцепного устройства заявленным техническим и эксплуатационным по-

казателям, нормативным требованиям специалистами АО НО «Тверской институт вагоностроения» (АО НО «ТИВ»), совместно с ОАО «ТВЗ» и ООО «Транспортная техника», по разработанной и согласованной в установленном порядке методике, был организован эксплуатационный контроль за двухэтажными вагонами моделей 61-4465, 61-4472, 61-4473 производства ОАО «ТВЗ», оборудованных БСУ-ТМ136 исполнений -13 и -14. Указанные вагоны приписаны к вагонному депо ЛВЧД-16 (г. Сочи, Адлер) и курсируют в четырех составах поездов 103/104 по маршруту следования Москва – Адлер – Москва.

Контроль состояния БСУ-ТМ136 при плановом осмотре (ПО) проводился один раз в два месяца на четырех составах двухэтажных вагонов, при плановом осмотре с дефектацией узлов и деталей (ПОД) одного выделенного вагона – один раз в год. Проведение ПО осуществлялось в ЛВЧД-16 (г. Сочи, Адлер) на специально выделенных участках пути, оборудованных смотровой ямой. При проведении ПО состав с обеих сторон был закреплен тормозными башмаками. Осмотры сцепных устройств, оценка их состояния производились посредством визуального и измерительного контроля средствами измерений, поверенными в установленном порядке и принадлежащими АО НО «ТИВ», в соответствии с документами:

– Межвагонное беззачорное сцепное устройство БСУ-ТМ136. Руководство по эксплуатации ТМ136.00.00.000РЭ;

– Межвагонное беззачорное сцепное устройство БСУ-ТМ136. Руководство по ремонту ТМ136.00.00.000РК.

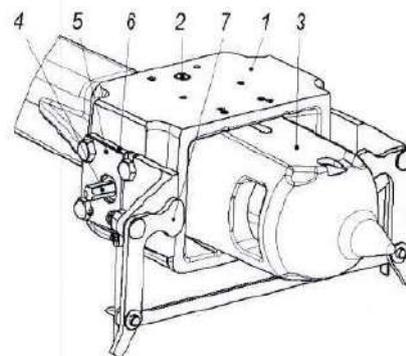


Рисунок 2 – Головная часть БСУ-ТМ136 исполнения -14:

1 – корпус сцепки; 2 – штифт; 3 – конус центрирующий; 4 – клиновый замок; 5 – крышка; 6 – прокладка; 7 – привод расцепной

В процессе проведения ПО сцепных устройств были зафиксированы отклонения контролируемых показателей от нормативных. В числе наиболее встречаемых отклонений от допускаемых значений можно выделить деформацию и излом сигнальных флажков замка БЗМ, изгиб и деформацию рычагов, кронштейнов и тяги расцепного привода замка БЗМ, отсутствие стопорения болтов крепления кронштейнов расцепного привода замка БЗМ, отсутствие стопорения болтов крепления клинового замка, ослабление фиксатора упора корпуса тягового узла, отсутствие контровки болтов крепления диска фиксации пальца, соединяющего головку сцепки и корпус тягового узла, момент затяжки болтов крепления диска фиксации пальца, соединяющего головку сцепки и корпус тягового узла (контролировалось по несовпадению рисок болтов и диска).

При проведении планового осмотра с дефектацией узлов и деталей БСУ-ТМ136 были также зафиксированы отклонения контролируемых показателей от нормативных значений, в частности повреждение резьбы М20 на правом хвостовике замка БЗМ, деформация сигнального флажка замка БЗМ, износ размера стопоров 55 мм замка БЗМ, повреждение резьбы М16 на штоке центрирующей балочки.

Анализ полученных статистических данных в ходе проведения эксплуатационного контроля показывает, что отклонения контролируемых показателей БСУ-ТМ136 от нормативных носит в основном конструктивный характер. По мнению специалистов АО НО «ТИВ», разработчикам конструкторской документации сцепного устройства (ООО «Транспортная техника») следует разработать мероприятия, необходимые для обеспечения эксплуатационной надежности БСУ-ТМ136.

УДК 620.178.3

## ОБОБЩЕННЫЙ КРИТЕРИЙ ПРЕДЕЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ПРИ КОНТАКТНОЙ УСТАЛОСТИ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ОБЪЕКТАМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

*Л. А. СОСНОВСКИЙ, В. В. КОМИССАРОВ, Е. С. ТАРАНОВА*  
*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Долгое время считалось, что после  $10^7$  циклов нагружения усталостное разрушение невозможно, но практика показала, что это не так. Разрушение деталей двигателей и турбин обнаруживалось и после наработки  $10^8$  циклов. Поэтому пришло время тщательных экспериментальных исследований усталостной долговечности в диапазоне  $10^7$ – $10^{10}$  циклов (рисунок 1).

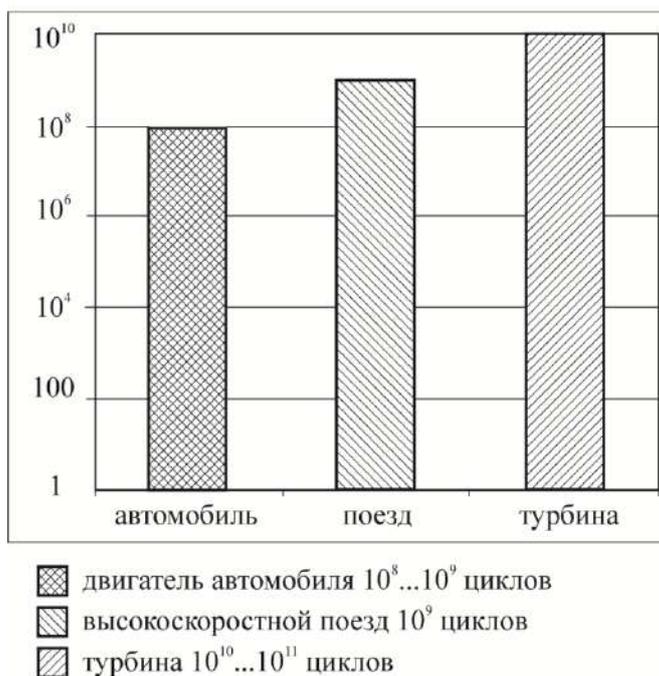


Рисунок 1 – Усталостная долговечность типичных машин и узлов

Применительно к высокопрочному чугуно с шаровидным графитом предложено (К. И. Ващенко) два критерия: 1) при значительных перегрузках за критерий контактной усталости поверхностей принималось наступление прогрессивного выкрашивания, проявляющегося в образовании крупных одиночных оспин и сопровождающегося усиленным шумом и вибрацией; 2) при малых перегрузках за критерий принималось образование значительного количества мелких оспин, поражающих большую часть зоны контакта, что также сопровождается усилением шума. В этой связи характеристики шума и вибрации оказываются эффективным признаком контактного повреждения и поверхностного разрушения.

Анализ известных критериев оценки предельного состояния контактных пар показал, что однозначный и общепринятый критерий предельного состояния в области долговечности от 1 до  $2 \cdot 10^8$  циклов в литературе отсутствует (таблица 1).

Таблица 1 – Критерии предельного состояния при контактной усталости

1 Наличие единичного выкрашивания диаметром, превышающим 50 % малой полуоси пятна контакта (Р 50-54-30-87)	8 Наличие 20 раковин, расположенных цепочкой по длине зуба
2 Наличие на контактной поверхности усталостной трещины, возникающей у контура пятна контакта (пульсирующий контакт) (Р 50-54-30-87)	9 Выкрашивание, поражающее 50 % площади поверхностей не менее чем на 40–50 % всех зубьев
3 Критическая плотность ямок выкрашивания (питтингов) на поверхностях трения (ГОСТ 30754–2001)	10 Выкрашивание, раковины которого занимают не более 2 % суммарной площади рабочих поверхностей зубьев шестерни и колеса (при большом количестве зубьев занимаемую раковинами площадь определяют не менее чем на 30 зубьях, а при малом – на всех зубьях)
4 Предельный износ (предельное сближение осей) образца и контробразца (ГОСТ 30754–2001)	
5 Выкрашивания материала, занимающие 0,6 % от всей рабочей поверхности зубьев	11 Не менее 10 крупных или 20 мелких раковин выкрашивания, равномерно распределенных по всей длине зуба
6 Образование остаточных волнообразных повреждений (ГОСТ 30754–2001)	12 Резкое повышение уровня шума и вибрации
7 Наличие на контактной поверхности нескольких ямок выкрашивания	13 Образование гребней и вмятин и др.

В работе исследован интегральный параметр  $d_c$  сближения осей образца и контробразца. Его величина оказывается обобщенной характеристикой повреждаемости, так как определяется упругой ( $d_c^{(e)}$ ) и остаточной ( $d_c^{(pl)}$ ) деформациями (при статическом нагружении), а также дополнительно учитывает износ обоих элементов ( $d_c^{(i)}$ ) (при регулярном и ступенчатом динамических нагружении), обусловленный различными механизмами (путем отслаивания, выкрашивания и т. д.), т. е.  $d_c = d_c^{(e)} + d_c^{(pl)} + d_c^{(i)}$ .

Именно это свойство параметра  $d_c$  делает возможным принятие его определенного значения как обобщенного критерия достижения предельного состояния при контактной усталости независимо от механизмов поверхностного повреждения и разрушения, т. е. при любом виде нагружения и во всем возможном интервале изменения действующей нагрузки. Экспериментально установлено, что для таких массовых и ответственных компонент общемашиностроительного применения, как зубчатые зацепления, можно в первом приближении принять  $d_c^{(lim)} \sim 100$  мкм. В других условиях испытаний может быть принята и другая (обоснованная) величина  $d_c^{(lim)}$ .

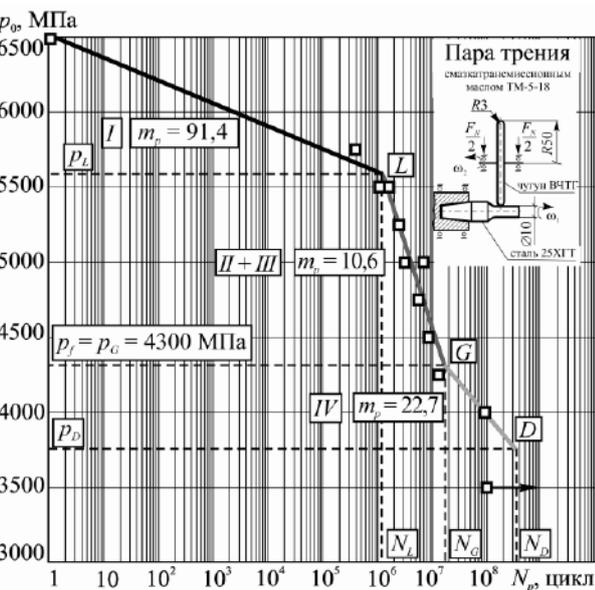


Рисунок 2 – Полная кривая контактной усталости

Используя принятый критерий достижения предельного состояния, разработана методика и построена полная кривая контактной усталости в диапазоне долговечностей от  $N_p = 1$  до  $10^8$  циклов (рисунок 2). Установлены ее характерные параметры, определяемые в точках пересечения прямых, а также параметры их наклона к оси абсцисс.

## ПРИМЕНЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКИХ ВИБРОПОГЛОЩАЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ТЕЛЕЖКЕ ГРУЗОВОГО ВАГОНА

*А. А. ТАРМАЕВ*

*Иркутский государственный университет путей сообщения, Российская Федерация*

*Г. И. ПЕТРОВ*

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

### **Введение**

Перспективным направлением повышения эффективности перевозок и обеспечения безопасности движения на железных дорогах является улучшение динамических качеств и увеличение межремонтного пробега вагонов за счет модернизации их тележек.

В настоящее время в моделях тележек Motion Control – США, 18-194, 18-9750, 18-9800, 18-9810 – Россия, 18-7020, 18-4129 – Украина, ZK-1, ZK-2 – Китай установлены податливые резинометаллические элементы между буксой и боковой рамой [1]. Элементы исполняются как в виде простых полиуретановых накладок, так и в виде многослойных резинометаллических прокладок (металло-эластомерных элементов). Для оценки влияния модернизации тележек с применением металло-эластомерных элементов на снижение вибронегативности была разработана математическая модель динамики вагона.

### **Расчет показателей безопасности движения вагона**

При формировании систем дифференциальных уравнений движения применялся принцип Германа – Эйлера – Даламбера и производился их численный анализ разностно-итерационным с автоматическим выбором шага и безитерационным замкнутым методами интегрирования. Математическая модель вагона формировалась посредством расчетной схемы экипажа в виде системы отдельных твердых и податливых тел, соединенных между собой нелинейными упруго-фрикционными связями с кинематическими и динамическими ограничениями, внутренних и внешних сил и моментов.

Моделирование движения экипажа заключалось в численном интегрировании систем дифференциальных уравнений на заданном отрезке времени или пройденного пути. При этом на каждом шаге интегрирования по времени определяются значения координат, скоростей и ускорений всех тел в принятой расчетной схеме и усилия в связях, а также следующие величины: коэффициент запаса устойчивости каждого колеса против схода с рельсов; подъем гребня каждого колеса на головку рельса с оценкой возможности схода; динамическая ширина колеи с оценкой возможности провала каждого колеса внутрь колеи; мощность сил трения, факторов износа на обод и гребне каждого колеса, головке рельса; динамические боковые, направляющие и рамные силы во всех узлах «колесо – головка рельса», «колесная пара – рельсовые нити», «буксы колесной пары – боковой рамы тележки» и т. д.; коэффициенты динамики по необрессоренным и обрессоренным деталям каждой тележки.

Безопасность движения оценивалась по коэффициенту запаса устойчивости колеса против схода с рельса [2]. В качестве нормируемых показателей ходовых качеств, используемых для оценки колебаний обрессоренных частей грузового вагона, были приняты коэффициенты вертикальной динамики рессорных комплектов и ускорения кузова в шкворневых точках.

### **Описание математической модели антифрикционного износостойкого вибропоглощающего элемента в изнашиваемых фрикционных узлах тележки модели 18-100**

Элементы представляют собой трехслойную металло-эластомерную прокладку, состоящую из двух стальных и одного полимерного или резинового слоев. Вибропоглощающий элемент (рисунок 1) смоделирован в виде подсистемы, что позволяет вставлять его в качестве связи между узлами трения в тележках вагона.

Математическая модель полимерного слоя реализована при помощи таких реологических моделей, как ячейка Максвелла (последовательное соединение линейных пружины и демпфера) и рессора Фанчера (параллельно установленных пружины и гасителя сухого трения) [3].

Приняты следующие рациональные упруго-фрикционные параметры полимерного слоя вибропоглощающего элемента: коэффициент трения  $\mu = 0,8$ , жесткость рессоры (параллельной пружины)  $c_{fan}$  и жесткость последовательной пружины  $c$ ,  $c_{fan} = c = 9$  МН/м,  $\beta = 0,000002$ , коэффициент нелинейности  $k = -6 \cdot 10^{12}$  Н/м<sup>3</sup>,  $d = 4500$  Н·с/м.

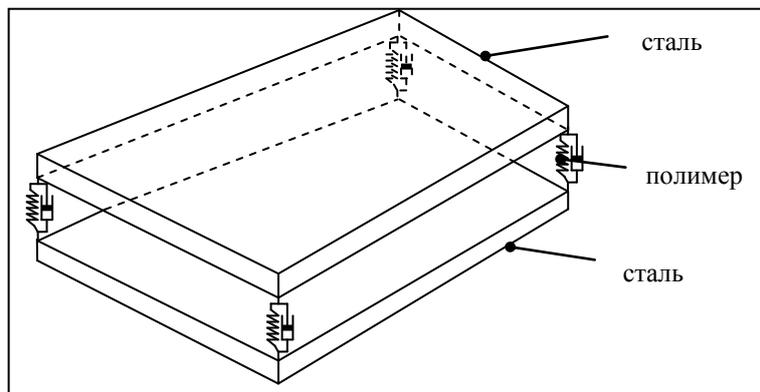


Рисунок 1 – Трехслойный антифрикционный износостойкий вибропоглощающий элемент

Связь верхней и нижней пластин с внешними по отношению к вибропоглощающим элементам телами реализована при помощи контактных элементов типа «точка – плоскость», которые задаются коэффициентами трения, контактными жесткостью и диссипацией.

### Сравнительное моделирование движения вагона на типовых и модернизированных тележках 18-100

Сравнение экспериментальных данных с результатами численного моделирования производилось по динамическим процессам в порожнем и груженом режимах движения. При сравнении учитывались следующие динамические показатели: коэффициент запаса устойчивости колеса от вкатывания на головку рельса; коэффициент вертикальной динамики по раме; рамные силы. Полученные результаты численного моделирования показали удовлетворительную сходимость с экспериментальными данными, что свидетельствует о достоверности разработанной математической модели вагона для оценки влияния установки вибропоглощающих элементов.

#### Результаты и выводы

Упруго-гистерезисные свойства полимеров (эластомеров) позволяют эффективно перерабатывать разночастотные динамические вибрации. Эффективным и недорогим способом снижения вибронгруженности и износа деталей и узлов ходовых частей, увеличения гарантированного безремонтного пробега вагона является выполнение всех износостойких и опорных элементов в парах трения тележки в виде антифрикционных износостойких вибропоглощающих элементов. Вибропоглощающие элементы не требуют особого ухода, их характеристики регулируются толщиной полимерного слоя.

Вагон с тележкой, имеющей антифрикционные вибропоглощающие элементы, обладает лучшими динамическими показателями, чем вагон с типовой тележкой без модернизации, и сниженным износом ходовых частей. В диапазоне конструкционных скоростей движения порожнего и груженого вагонов достигается улучшение динамических показателей: по запасу устойчивости колеса против схода с рельсов – на 10–30 %, по забегу боковых рам тележки – на 20–50 %, по боковым силам – на 10–22 %, по удельной работе (износам) профиля колеса – на 20 %, по работе сил трения (износам) корпуса буксы и буксовых направляющих боковой рамы – на 50–83 % в порожнем и на 87 % в груженом режимах, по вертикальной динамике колеса и рельса на 36 %.

#### Список литературы

- 1 **Бороненко, Ю. П.** Инновации в тележках грузовых вагонов: реальность и перспективы / Ю. П. Бороненко, Е. А. Рудакова, А. М. Орлова // Наука и транспорт. – 2009. – С. 14–17.
- 2 Методика компьютерной оценки безопасности движения подвижного состава : утверждена МПС РФ / В. Д. Хусидов [и др.]. – М. : МПС РФ, 1999. – 23 с.
- 3 **Петров, А. Г.** Способ увеличения межремонтного пробега грузовых вагонов за счет модернизации тележки / А. Г. Петров, М. В. Сапетов, С. И. Порядин // Мир Транспорта. – 2015. – № 3. – С. 46–57.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТРЕБОВАНИЙ БЕЗОПАСНОСТИ К ОБОРУДОВАНИЮ ТОРМОЗНОМУ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

*З. Ю. ТРЕТЬЯК, Н. М. ПЕРЕКРЕСТОВА, К. В. СВИРИДЕНКО*  
*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

**1 Общие сведения.** Технический регламент Евразийского экономического союза (далее – ЕАЭС) ТР ТС 001/2011 «О безопасности железнодорожного подвижного состава» [1] распространяется на железнодорожный подвижной состав и его составные части, выпускаемые в обращение для использования на железнодорожных путях шириной колеи 1520 мм на территории ЕАЭС со скоростями движения до 200 км/ч включительно.

Железнодорожный подвижной состав включает в себя:

- 1) локомотивы;
- 2) моторвагонный подвижной состав и его вагоны;
- 3) пассажирские вагоны локомотивной тяги (далее – пассажирские вагоны);
- 4) грузовые вагоны;
- 5) специальный железнодорожный подвижной состав.

Требования [1] обязательны при проектировании, производстве, оценке соответствия железнодорожного подвижного состава и его составных частей.

Железнодорожный подвижной состав и его составные части по прочности, устойчивости и техническому состоянию должны обеспечивать безопасное движение поездов с наибольшими скоростями в пределах допустимых значений.

### **2 Требования безопасности к тормозному оборудованию железнодорожного подвижного состава.**

Составные части тормозной системы железнодорожного подвижного состава и её элементов, формы их обязательного подтверждения соответствия, а также обозначение стандартов, определяющих показатели оборудования тормозного железнодорожного подвижного состава, представлены в таблице 1.

Тормозная система железнодорожного подвижного состава, её составные части и элементы составных частей согласно [1] должны обеспечивать:

- выполнение условий эксплуатации с учетом внешних климатических и механических воздействий;
- безопасность и надежность работы электрооборудования при номинальных и граничных режимах электроснабжения (для привода магниторельсового тормоза);
- безопасность в течение назначенного срока службы и (или) ресурса, назначенного срока хранения;
- допускаемый тормозной путь;
- соответствие предельно допускаемым силам торможения;
- сопротивление воздействию и нагрузкам, которым они могут подвергаться в процессе эксплуатации;
- удержание единицы железнодорожного подвижного состава на нормируемом уклоне в пределах допустимых значений (для стояночного тормоза);
- наличие устройства, исключающего самопроизвольный отпуск (для стояночного тормоза);
- наличие хорошо различимых идентификационных и предупреждающих надписей и наличие маркировки, которые должны быть повторены и пояснены в руководстве по эксплуатации;
- наличие маркировки, обеспечивающей идентификацию продукции независимо от года ее выпуска, в соответствии с конструкторской документацией, в том числе: а) единый знак обращения продукции на рынке государств – членов ТС; б) наименование изготовителя или его товарный знак, наименование продукции; в) дата изготовления;
- возможность их безопасной переработки или утилизации по истечении назначенного срока службы.

Таблица 1 – Состав оборудования тормозного железнодорожного подвижного состава

Составная часть (элемента составной части) тормозной системы		Форма обязательного подтверждения соответствия	Обозначение стандарта, определяющего показатели
1.1	Автоматический регулятор тормозной рычажной передачи (авторегулятор)	Декларирование	ГОСТ 33724.3–2016
1.2	Автоматический стояночный тормоз железнодорожного подвижного состава	Декларирование	ГОСТ 32880–2014
1.3	Башмаки магниторельсового тормоза	Декларирование	ГОСТ 977–88
1.4	Башмаки тормозных колодок железнодорожного подвижного состава	Декларирование	ГОСТ 34075–2017
1.5	Башмаки тормозных накладок дисковых тормозов железнодорожного подвижного состава	Декларирование	ГОСТ 977–88
1.6	Блокировка тормозов	Декларирование	ГОСТ 33883-2016
1.7	Воздухораспределители	Сертификация	ГОСТ 33724.1–2016
1.8	Диски тормозные для железнодорожного подвижного состава	Сертификация	ГОСТ 33724.1–2016
1.9	Изделия резиновые уплотнительные для тормозных пневматических систем железнодорожного подвижного состава (диафрагмы, манжеты, воротники, уплотнители клапанов, прокладки)	Декларирование	ГОСТ 33724.1–2016
1.10	Колодки тормозные композиционные для железнодорожного подвижного состава	Сертификация	ГОСТ 33421–2015
1.11	Колодки тормозные составные (чугунно-композиционные) для железнодорожного подвижного состава	Сертификация	ГОСТ 33421–2015
1.12	Колодки тормозные чугунные для железнодорожного подвижного состава	Сертификация	ГОСТ 33695–2015
1.13	Компрессоры для железнодорожного подвижного состава	Сертификация	ГОСТ 10393–2014
1.14	Механизм клещевой дискового тормоза	Сертификация	ГОСТ 33724.1–2016
1.15	Накладки дискового тормоза	Сертификация	ГОСТ 33724.1–2016
1.16	Привод магниторельсового тормоза	Декларирование	ГОСТ 34506-2019
1.17	Противоюзное устройство железнодорожного подвижного состава	Декларирование	ГОСТ 33725–2016
1.18	Резервуары воздушные для автотормозов вагонов железных дорог	Декларирование	ГОСТ 1561–75 ГОСТ Р 52400–2005
1.19	Резервуары воздушные для тягового подвижного состава	Декларирование	ГОСТ 1561–75
1.20	Рукава соединительные для тормозов железнодорожного подвижного состава	Декларирование	ГОСТ 2593–2014
1.21	Тормозные краны машиниста	Сертификация	ГОСТ 33724.1–2016
1.22	Триангели тормозной рычажной передачи тележек грузовых вагонов магистральных железных дорог	Декларирование	ГОСТ 4686–2012
1.23	Устройство автоматического регулирования тормозной силы в зависимости от загрузки (авторежим)	Декларирование	ГОСТ 33223–2015
1.24	Цилиндры тормозные для железнодорожного подвижного состава	Декларирование	ГОСТ 31402–2013
1.25	Чеки тормозных колодок для вагонов магистральных железных дорог	Декларирование	ГОСТ 34075–2017

**3 Требования безопасности к цилиндру тормозному железнодорожного подвижного состава.** Тормозной цилиндр – пневмомеханическое устройство, предназначенное для преобразования давления сжатого воздуха в силу нажатия на тормозные колодки (накладки).

Корпус и крышки тормозного цилиндра отливаются из чугуна или изготавливаются сварными из стали. Внутри корпуса находятся: поршень с резиновой уплотняющей манжетой и войлочным смазывающим кольцом, шток, отпуская пружина. В задней крышке тормозного цилиндра имеется отверстие для подвода сжатого воздуха и отверстие для установки манометра при испытаниях, заглушенное пробкой. В передней крышке имеется отверстие для слива конденсата, в горловине крышки установлена резиновая пылезащитная шайба.

Для соблюдения требований [1] к цилиндру тормозному, применяемому в исполнительных механизмах тормозных систем железнодорожного подвижного состава, на добровольной основе применен ГОСТ 31402–2013 [2]. Проведен анализ [1] и [2], который позволил установить требования безопасности и показатели безопасности для подтверждения соответствия цилиндра тормозного железнодорожного подвижного состава (таблица 2).

Таблица 2 – Требования безопасности и показатели для подтверждения соответствия цилиндров тормозных

Обозначение документа, определяющего показатель	Показатель	Значение показателя
<i>Требование безопасности 1: железнодорожный подвижной состав и его составные части должны обеспечивать выполнение условий эксплуатации с учетом внешних климатических и механических воздействий</i>		
ГОСТ 31402–2013 пункт 3.1.3	Цилиндры при температуре от минус 60 до плюс 60 °С	Должны сохранять работоспособность
ГОСТ 31402–2013 пункт 3.1.6	Движение поршня на полный ход при наполнении цилиндра сжатым воздухом и выпуске воздуха из цилиндра	Должно быть плавным, без толчков и остановок
<i>Требование безопасности 2: выбранные проектировщиком (разработчиком) конструкции железнодорожного подвижного состава и его составных частей должны быть безопасны в течение назначенного срока службы и (или) ресурса, назначенного срока хранения, а также выдерживать воздействия и нагрузки, которым они могут подвергаться в процессе эксплуатации</i>		
ГОСТ 31402–2013 пункт 3.1.4	Цилиндры в сборе в рабочем диапазоне давлений	Должны быть герметичными
ГОСТ 31402–2013 п. 3.1.7	Перемещение поршня в цилиндре от исходного отпускного положения и от тормозного положения в зависимости от диаметра и хода поршня	Должно происходить при давлении воздуха, приведенном в таблице 1 ГОСТ 31402–2013
<i>Требование безопасности 3: Продукция должна иметь идентификационные и предупреждающие надписи и маркировку</i>		
ТР ТС 001/2011 ст. 4 п. 12	Идентификационные и предупреждающие надписи	Должны быть хорошо различимы
ТР ТС 001/2011 ст. 4 п. 12	Идентификационные и предупреждающие надписи	Должны быть повторены в руководстве по эксплуатации
<i>Требование безопасности 4: продукция должна иметь маркировку, обеспечивающую идентификацию независимо от года ее выпуска</i>		
ГОСТ 31402–2013 п. 3.5.1	Каждый цилиндр должен иметь маркировку, содержащую: единый знак обращения на рынке, порядковый номер по системе нумерации предприятия-изготовителя; условный номер или товарный знак предприятия-изготовителя; месяц и год изготовления; диаметр цилиндра	Наличие маркировки
<i>Требование безопасности 5: железнодорожный подвижной состав и его составные части, применяемые при их производстве материалы и вещества должны быть рассчитаны на возможность их безопасной переработки или утилизации по истечении назначенного срока службы</i>		
ГОСТ 31402–2013 п. 4.3	Утилизация цилиндров по истечении срока службы должна осуществляться способом, не вызывающим загрязнения окружающей среды при переработке и использовании в качестве вторичного сырья. Утилизация цилиндров должна проводиться в местах, согласованных с санитарно-эпидемиологической службой	Требования должны быть указаны в документации

Соответствие цилиндра тормозного требованиям [1] обеспечивается путем непосредственного выполнения этих требований или путем выполнения требований стандартов, включенных в перечень стандартов, в результате применения которых на добровольной основе обеспечивается соблюдение требований [1]. Аналогичным образом могут быть установлены требования безопасности для всех составных частей тормозной системы и их элементов.

#### Список литературы

- 1 О безопасности железнодорожного подвижного состава. Технический регламент (ТР ТС 001/2011) : утв. решением Комиссии Таможенного союза от 15 июля 2011 № 710 : с изм. и доп. – М, 2011. – 67 с.
- 2 ГОСТ 31402–2013. Цилиндры тормозные железнодорожного подвижного состава. Общие технические условия. – Минск : Евразийский совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2016. – 8 с.

## АНАЛИЗ МЕХАНИЗАЦИИ РАБОТ ПО ПРАВКЕ КУЗОВОВ В ЖЛОБИНСКОМ ВАГОННОМ ДЕПО

*М. О. ФЕДОСЕНКО, С. М. ВАСИЛЬЕВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В настоящее время для автоматизации ремонтных операций по правке кузовов грузовых вагонов в Жлобинском вагонном депо используется вагоноремонтная машина «Иртыш».

Вагоноремонтная машина «Иртыш» (рисунок 1) предназначена для ремонта грузовых вагонов в условиях вагонных депо и вагоноремонтных предприятий. Она была введена в эксплуатацию в Жлобинском вагонном депо в сентябре 2015 года. Основным преимуществом данной вагоноремонтной машины является применение более надежных электромеханических силовых узлов взамен гидравлическим, которые требуют дополнительного технического обслуживания и не отличаются высокой надежностью в работе.



Рисунок 1 – Вагоноремонтная машина «Иртыш»

Данная машина выполняет следующие операции:

- правка уширения (сужения) верхней обвязки полувагона;
- правка местных деформаций боковых стенок вагона;
- правка местных деформаций торцевых стен вагона;
- смена автосцепки;
- проведение электросварочных работ;
- смена колесных пар.

Вагоноремонтная машина «Иртыш» состоит из следующих сборочных единиц: каркаса, кареток, силовых модулей, нижних площадок, вертикальных лестниц, кронштейнов, перил, пультов управления и электрического шкафа. Все сборочные единицы со-

бираются на болтовые соединения в общую конструкцию, образующую каркас.

Правка боковых стенок вагона начинается с правки уширения верхней обвязки. Для этого скобу опускают над верхней обвязкой на расстоянии 300–400 мм, подводят каретки с модулями на уровень верхней обвязки с обеих сторон вагона. Поочередно выполняется правка уширения выдвиганием или втягиванием силового модуля, визуально ориентируясь по верхней скобе и, при необходимости, подпирая модулем противоположную обвязку.

В список достоинств вагоноремонтной машины входит выполнение обширного списка операций по ремонту грузовых вагонов и исполнение машины с использованием более надежных электромеханических узлов.

Основным и довольно обширным недостатком данной вагоноремонтной машины является недостаточно точное восстановление геометрии кузова (позволяет восстановить кузов грузового вагона лишь для прохождения его через рамку попадания в один из габаритов). Далекое не все повреждения кузова грузового вагона можно полностью восстановить, чтобы геометрия кузова была полностью ровной, как после выхода вагона с завода изготовителя, что и приводит к дальнейшим его неисправностям в скором времени.

На рисунке 2 показана неисправная верхняя обвязка полувагона. С помощью данной вагоноремонтной машины ее можно править внутрь либо наружу кузова. Но при этом правка будет точечная. Следовательно, достичь ровной линии верхней обвязки не представляется возможным. Править вверх также не представляется возможным из-за того факта что вагон не закреплен жестко к пути, на котором стоит. В итоге при правке верхней обвязки вверх мы получим лишь поднятие всего вагона вверх. Аналогичная проблема имеет место и при ремонте торцевых стен. При таких работах, как правка верхнего, центрального, либо нижнего поясов, а также верхних или нижних стоек имеют место такие же процес-

сы, как и при правке верхней обвязки. То есть невозможно выправить эти части в идеально ровную линию, а также мы получим разрыв соседних сварных швов либо поясов, либо стоек.

Что касается правки листов боковых и торцевых стен, то здесь тоже не обошлось без недостатков. Правка их возможна, но лишь до восстановления габаритных размеров. Но на деле имеем следующее. При выдвигении силового модуля в боковую либо торцевую стену осуществляется ее правка до нужных габаритных размеров, но после выполнения данной операции происходит эффект вмятого листа фольги. То есть место, куда был направлен силовой модуль, вдавливается, а прилегающая область остается примерно в том же состоянии, в котором была изначально. Причиной такого эффекта является конструкция силового модуля, который представляет собой выдвигной шток с пятаком на конце, оказывающий силовое воздействие на участок торцевой или боковой стены.



Рисунок 2 – Неисправная верхняя обвязка полувагона

На основе приведенного анализа предлагаются следующие пути устранения имеющихся недостатков:

- для правильной выправки торцевых или боковых стен использовать специальные накладки на силовой модуль, повторяющие форму выправляемой поверхности;
- для более точного выявления неисправностей геометрии кузова грузового вагона использовать агрегаты и методику лазерной диагностики геометрических размеров.

УДК 629.463.65

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ ПОЛУВАГОНА ИЗ СОЧЛЕНЕННЫХ ОБОЛОЧЕК, ЗАПОЛНЕННЫХ ПЕНОАЛЮМИНИЕМ**

*А. В. ФОМИН*

*Государственный университет инфраструктуры и технологий, г. Киев, Украина*

*Н. И. ГОРБУНОВ*

*Восточноукраинский национальный университет им. В. Даля, г. Северодонецк*

*А. А. ЛОВСКАЯ*

*Украинский государственный университет железнодорожного транспорта, г. Харьков*

Повышение эффективности эксплуатации транспортной отрасли вызывает необходимость внедрения инновационных решений при проектировании современных транспортных средств. Известно, что одной из наиболее приоритетных отраслей транспорта является железнодорожный. Поэтому для обеспечения лидерских позиций железнодорожного транспорта важно на современном этапе его развития внедрение новых технических решений при проектировании несущих конструкций вагонов. Данные решения должны обеспечить возможность снижения материалоемкости грузовых вагонов, повышения грузоподъемности, увеличения средних скоростей движения в груженом и порожнем состояниях, улучшения антикоррозионных и антифрикционных свойств, увеличения срока службы и уменьшения общей производственной и эксплуатационной себестоимости. Результаты реализации указанных задач будут способствовать повышению эффективности эксплуатации железнодорожного транспорта на рынке транспортных услуг, в том числе на международном рынке, и обеспечению конкурентоспособности в транспортной отрасли.

Для уменьшения материалоемкости полувагона как одного из наиболее распространенных типов вагонов в эксплуатации предложено изготовление несущей конструкции из круглых труб. В качестве прототипа выбран полувагон модели 12-757, постройки ПАО «КВСЗ» (Украина, г. Кременчуг). Для повышения жесткости несущей конструкции полувагона из круглых труб рассмотрен вариант использования в качестве их наполнителя пеноалюминия (рисунок 1).

При этом стены боковые и двери торцевые выполнены в виде сочлененных оболочек (рисунок 2). Для определения прочности несущей конструкции полувагона с учетом предложенных конструкционных решений проведен расчет на прочность в среде программного обеспечения Cosmos Works [1–3].



Рисунок 1 – Несущая конструкция полувагона из круглых труб, заполненных пеноалюминием

Расчет проведен по методу конечных элементов. Оптимальное количество элементов сетки определено по графоаналитическому методу [4, 5]. В качестве конечных элементов использованы изопараметрические тетраэдры. Материал несущей конструкции вагона – сталь марки 09Г2С. Закрепление модели осуществлялось в зонах опоры на ходовые части. При составлении расчетной схемы учтено, что на несущую конструкцию полувагона действует вертикальная статическая нагрузка, продольная сила на задний упор автосцепки, а также давление насыпного груза на боковые и торцевые стены. Усилия распора насыпного груза рассчитаны по методике, приведенной в [6]. В качестве насыпного груза принят каменный уголь.

Усилия распора насыпного груза рассчитаны по методике, приведенной в [6]. В качестве насыпного груза принят каменный уголь.



Рисунок 2 – Составляющие несущей конструкции полувагона из сочлененных оболочек: а – стена боковая; б – стена торцевая

Установлено, что максимальные эквивалентные напряжения возникают в нижней части хребтовой балки за задним упором и составляют около 315 МПа, т. е. не превышают допустимые [7–9]. Максимальные перемещения зафиксированы в средней части хребтовой балки – 9,6 мм. Максимальные деформации равны  $1,17 \cdot 10^{-2}$ . Проведенные расчеты позволили сделать вывод, что с учетом использования пеноалюминия в качестве наполнителя хребтовой балки максимальные эквивалентные напряжения в несущей конструкции полувагона уменьшаются почти на 8 %, а перемещения – на 9 % по сравнению с несущей конструкцией полувагона из круглых труб без наполнителя. При этом масса несущей конструкции полувагона увеличивается на 24 % по сравнению с конструкцией без наполнителя (при плотности пеноалюминия 300 кг/м<sup>3</sup>).

Проведенные исследования будут способствовать созданию инновационных конструкций подвижного состава и повышению эффективности эксплуатации железнодорожной отрасли.

#### Список литературы

- 1 Determining the dynamic loading on a semi-wagon when fixing it with a viscous coupling to a ferry deck / O. Fomin [et al.] // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2019. – Vol. 2/7 (98). – P. 6–12. DOI: 10.15587/1729-4061.2019.160456.
- 2 Dynamic load computational modelling of containers placed on a flat wagon at railroad ferry transportation / O. Fomin [et al.] // VIBROENGINEERING PROCEDIA. – 2019. – Vol. 29. – P. 118–123.
- 3 Алямовский, А. А. SolidWorks/COSMOSWorks 2006–2007. Инженерный анализ методом конечных элементов / А. А. Алямовский. – М. : ДМК Пресс. – 2007. – 784 с.
- 4 Research of stability of containers in the combined trains during transportation by railroad ferry / O. Fomin [et al.] // MM SCIENCE JOURNAL. – 2020. – March. – P. 3728–3733.
- 5 Structural Improvements in a Tank Wagon with Modern Software Packages / G. Vatulia // Procedia Engineering. – 2017. – Vol. 187. – P. 301–307. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.04.379.
- 6 Конструирование и расчет вагонов / В. В. Лукин. – М. : УМК МПС России. – 2000. – 731 с.
- 7 ДСТУ 7598:2014. Вагони вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових і модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних). – Київ. – 2015. – 162 с.
- 8 ГОСТ 33211–2014. Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам. – М. – 2016. – 54 с.
- 9 EN 12663–2. Railway applications – structural requirements of railway vehicle bodies – Part 2: Freight wagons. – Bulgaria. – 2010. – 54 с.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ВЛИЯНИЯ НОРМООБРАЗУЮЩИХ ФАКТОРОВ ДЛЯ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТЕПЛОВЗОВ

*С. Я. ФРЕНКЕЛЬ, А. П. ДЕДИНКИН, В. А. КУНЕЦ*  
*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

*К. А. ТКАЧУК*  
*Белорусская железная дорога, г. Минск*

Нормы расхода топлива в рассматриваемом периоде времени (месяц, квартал, год) для подразделений локомотивного хозяйства определяют, как правило, путем корректировки величины фактического расхода топлива для выбранного вида движения в соответствующем периоде предыдущего года, принимаемого за базовый. Корректировку расхода топлива выполняют в соответствии с величиной и направлением изменения средних значений нормообразующих факторов. Количественную связь между изменением удельного расхода топлива (расхода на измеритель работы) и изменением эксплуатационных факторов, называемых также нормообразующими факторами, определяют коэффициенты влияния в соответствии с выражением

$$e = e^{\delta} + \sum_1^n k_i (x_i - x_i^{\delta}), \quad (1)$$

где  $e$  – планируемый удельный расход топлива;  $e^{\delta}$  – фактический удельный расход топлива в базовом периоде;  $k_i$  – коэффициент влияния  $i$ -го фактора;  $x_i, x_i^{\delta}$  – значения  $i$ -го нормообразующего фактора соответственно в нормируемом и в базовом периоде [1].

При расчетах нормы расхода топлива в соответствии с выражением (1) на точность прогноза очень сильно влияет объективность выбора коэффициентов влияния. Следует отметить, что методика расчета коэффициентов влияния нормообразующих факторов, изложенная в [1], достаточно сложна. Практика показала значительную трудоемкость расчета и далеко не всегда приемлемую адекватность норм, определяемых в соответствии с указанной методикой.

Авторами предложено для определения численных значений коэффициентов влияния нормообразующих факторов с учетом реальных условий эксплуатации подвижного состава строить регрессионную модель отклонения удельного расхода топлива. Для построения регрессионной модели принимают фактические значения нормообразующих факторов и расхода топлива по всем подразделениям за период от трех и более лет, предшествующих нормируемому. Эти значения выбирают из соответствующих форм статистической отчетности и заносят в таблицы исходных данных. Такой подход реализован в действующей на Белорусской железной дороге методике [2].

При определении отклонения удельного расхода топлива в грузовом движении можно, например, рассматривать влияние следующих нормообразующих факторов: масса состава  $Q_{\text{ср}}, \text{ т}$ ; техническая скорость движения  $v_{\text{т}}, \text{ км/ч}$ ; участковая скорость движения  $v_{\text{у}}, \text{ км/ч}$ ; осевая нагрузка вагона  $q_{\text{о(ср)}}, \text{ т/ось}$ ; доля порожнего пробега вагонов  $K_{\text{пор}}, \%$ ; доля работы в транзитном движении  $K_{\text{тр}}, \%$ .

Для учета влияния низких температур наружного воздуха на расход дизельного топлива (1-й и 4-й кварталы) необходимо норму удельного расхода топлива умножить на температурный коэффициент [2]. При этом норма расхода дизельного топлива определяется по формуле

$$e = K_t (e^{\delta} + \sum_1^n k_i (x_i - x_i^{\delta})), \quad (2)$$

где  $K_t$  – температурный коэффициент.

Температурный коэффициент вычисляют в соответствии с выражением

$$K_t = 1 + (0.00032\Theta - 0.0046)(t_{\text{н}} - t_{\delta}), \quad (3)$$

где  $t_n$  – средняя температура воздуха в нормируемом периоде, °C;  $t_6$  – средняя температура воздуха в базовом периоде, °C;  $\Theta = \frac{t_n - t_6}{2}$ .

Нормирование по другим видам движения выполняют аналогично грузовому, но при этом для каждого вида движения составляют свой список нормообразующих показателей.

Предложенная методика включена в стандарт организации СТБ БЧ 17.217–2012 устанавливает порядок расчета удельного потребления дизельного топлива на тягу поездов, определяет техническую норму и плановую потребность дизельного топлива на заданные объемы перевозок по видам движения подразделений локомотивного хозяйства Белорусской железной дороги, выявляет влияние основных нормообразующих факторов.

Недостаток как одного, так и другого подхода заключается в том, что изменение удельного расхода топлива вследствие изменения  $i$ -го нормообразующего фактора  $\Delta e_i = k_i \Delta x_i$  вычисляют по изменению среднего за рассматриваемый период его значения. Вместе с тем одно и то же среднее значение, например, массы состава за рассматриваемый период может складываться из разных масс поездов [3]. Поэтому даже если среднее значение массы состава не изменилось, значение удельного расхода топлива в прогнозируемом периоде может измениться под влиянием другого вида распределения массы.

Для повышения качества прогнозирования удельного расхода топлива целесообразно рассматривать изменение не среднего для всего диапазона изменения нормообразующего показателя значения, а, разбив весь диапазон на отдельные интервалы, изменение среднего значения нормообразующего показателя для каждого интервала. В этом случае для вычислений требуется значение коэффициента влияния для каждого интервала. То есть целесообразно построить функцию влияния для каждого из рассматриваемых нормообразующих показателей, которая позволит рассчитывать значение коэффициента влияния для любого значения нормообразующего фактора.

Для построения выражений, позволяющих вычислять значения коэффициентов влияния некоторых нормообразующих факторов, можно использовать информацию, содержащуюся в базе данных автоматизированной системы интегрированной обработки маршрутов машиниста (АС ИОММ). Так, при построении полей рассеяния для массы состава, нагрузки на ось влияние этих факторов на удельный расход топлива становится очевидным [4]. Построив линию тренда и продифференцировав уравнение, описывающее эту линию, можно получить выражение для зависимости соответствующего коэффициента влияния от нормообразующего фактора (функцию влияния).

Рассмотрим это на примере данных из маршрутных листов машинистов одного из локомотивных депо Белорусской железной дороги за 2019 год.

Для тепловозов серии 2ТЭ10М на рисунке 1 приведено поле рассеяния удельного расхода топлива за поездку в зависимости от массы состава с построенной линией тренда. Уравнение линии тренда имеет вид

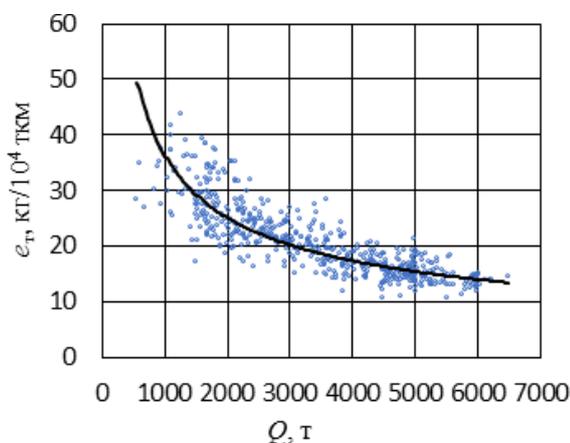


Рисунок 1 – Поля рассеяния удельного расхода топлива за поездку

$$e_n(Q) = 1442,5Q^{-0,533}. \quad (4)$$

Продифференцировав это выражение, получаем зависимость коэффициента влияния для массы состава

$$k_Q = -768,85Q^{-1,533} \quad (5)$$

и соответствующую графическую зависимость, приведенную на рисунке 2.

Аналогично получают расчётные выражения для нагрузки на ось вагона.

Для значений технической и участковой скорости движения (коэффициента участковой скорости) поезда зависимость удельного расхода топлива выражена не так явно, что можно объяснить влиянием

факторов, сильнее влияющих на расход топлива. Чтобы выявить влияние технической скорости, исключив влияние остальных факторами, желательно иметь данные о поездках, в которых менялась только техническая скорость, а все остальные факторы оставались бы неизменными. Это можно достичь, моделируя поездки с помощью тяговых расчетов. По результатам таких вычислений строится поле рассеяния и соответствующая линия тренда для технической скорости. Чтобы получить данные о зависимости удельного расхода топлива на поездку от участковой скорости (коэффициента участковой скорости), следует результаты тяговых расчетов для различных значений технической скорости дополнить данными о количестве и времени стоянок поезда и соответствующем увеличении расходе топлива.

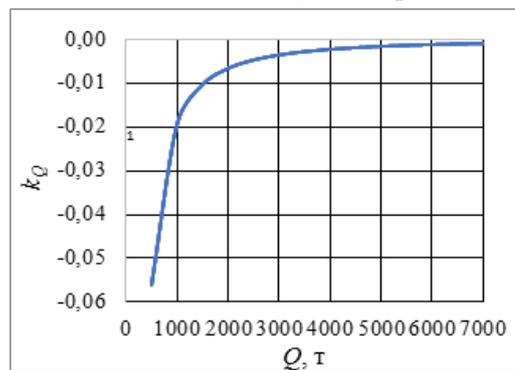


Рисунок 2 – Кривая измерения коэффициента влияния массы состава

#### Список литературы

- 1 Методика анализа расхода энергоресурсов на тягу поездов (приложение к указанию МПС от 20 июня 1997 г. № В-741у).
- 2 СТП БЧ 17.217–2012. Расчет норм расхода дизельного топлива на тягу поездов для подразделений локомотивного хозяйства Белорусской железной дороги. – Минск : М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, 2012. – 23 с.
- 3 Френкель, С. Я. О неучтённых факторах при нормировании расхода топлива по обобщённым показателям // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2002. – № 2(5). – С. 6–8.
- 4 Френкель, С. Я. Об исследовании эксплуатационных факторов, определяющих расход дизельного топлива магистральными тепловозами / С. Я. Френкель // Совершенствование конструкции и системы обслуживания локомотивов : межвузовский сб. науч.-техн. статей. – СПб. : ПГУПС. – 2003 – С. 67–71.

УДК 620.179.16

### АЭ-КОНТРОЛЬ СОСТОЯНИЯ БУКСОВЫХ ПОДШИПНИКОВ ТЕЛЕЖКИ ГРУЗОВОГО ВАГОНА В СИСТЕМЕ «ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО» ГРУЗОВОГО ПОЕЗДА

*О. В. ХОЛОДИЛОВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

*А. А. МАРКАВЦОВ*

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

В 2019 г. в Германии и Швейцарии завершились демонстрационные проекты создания инновационных грузовых вагонов. Тогда же сообщество TIS (Technischer Innovationskreis Schienengüterverkehr), объединяющее ряд европейских грузовых операторов и поставщиков железнодорожной техники, опубликовало Белую книгу (White Paper), в которой сформулированы основные задачи, направленные на повышение конкурентоспособности грузовых перевозок. Одна из ключевых задач – создание интеллектуального грузового поезда.

Цифровизация является одним из ключевых факторов, определяющих конкурентоспособность грузовых перевозок. Собственники грузовых вагонов в Европе активно оборудуют их бортовыми телематическими устройствами и разнообразными датчиками, позволяющими отслеживать местоположение каждого вагона, контролировать появление его в определенной зоне или выход из нее, собирать сведения о пробеге, ударных нагрузках, а также получать информацию о состоянии перевозимого груза по данным о температуре, давлении и влажности. В настоящее время идентифицированы четыре интерфейса, требующие стандартизации (рисунок 1) [1].

Наряду со стандартизацией интерфейсов существует еще ряд технологий в сфере цифровизации, унификация которых способна повысить эффективность работы всей отрасли. В частности, современные технологии позволяют регистрировать ударные нагрузки на грузовые вагоны с фиксацией времени и места события. Однако пока данных, позволяющих определить, при каком пороге-

вом уровне нагрузки с учетом ее длительности, направления, места воздействия и типа вагона можно надежно зарегистрировать повреждение подвижного состава, недостаточно [2, 3].

Основой формирования технологий цифровой ж. д. является интеграция интеллектуальных коммуникационных технологий между пользователем, транспортным средством, системой управления и инфраструктурой [2, 3]. Грузовые поезда, являясь наиболее массовыми на железнодорожном транспорте, полноценно не участвуют в этом процессе, что значительно снижает возможности цифровизации. Для того чтобы решить этот вопрос, нужны «умные» («интеллектуальные») грузовые поезда.

Одним из направлений, отвечающим концепции цифровизации Белорусской железной дороги и создания «умного» грузового поезда, является развитие таких современных методов диагностирования состояния технических систем, каким является метод акустической эмиссии.

Физическая сущность метода АЭ состоит в регистрации установленными на поверхности конструкции преобразователями акустической эмиссии (ПАЭ) дискретных волн разгрузки, вызванных структурной перестройкой материала при его деформировании и локальном разрушении (пластическая деформация, скачкообразное развитие трещины). Источник АЭ вызывает изменение динамического поля сил (или напряжений). На распространение акустической волны в конструкции влияет взаимодействие с микроструктурой материала, неоднородностями и условием нагружения ОК. Такие структурные изменения происходят в результате образовавшихся внутри либо приложенных извне механических или температурных напряжений. Неразвивающиеся дефекты сигналов АЭ не излучают, поэтому материал конструкции должен быть нагружен до напряжений, достаточных для продвижения трещины. Метод АЭ можно использовать как в статике, так и в динамике, что позволяет проводить безразборный контроль ходовых частей вагонов, в том числе буксовых подшипников тележки грузового вагона на ходу поезда.

Полученную информацию АЭ-системы собирают, обрабатывают и передают по соответствующим цифровым каналам. Данные системы проходят необходимые испытания качества при сборке и отличаются высокой степенью надежности, что позволяет использовать их в самых разнообразных условиях. Современные АЭ-системы способны взаимодействовать с любыми устройствами через протокол Ethernet и осуществлять контроль объектов, длина которых не превышает 5 км.

АЭ-системы имеют ряд достоинств, среди которых:

- быстроедействие (допустимая интенсивность  $\geq 15 \cdot 10^3$  событий на канал);
- универсальность применения (система может осуществлять как кратковременный, так и постоянный мониторинг объекта);
- простота работы (ПО, совмещаемое с ОС Windows).

Удобство работы с современными АЭ-системами выражается также и в автоматической оцифровке передаваемой и обрабатываемой информации.

На рисунке 2 приведены схемы зонной (а) и линейной (б) локации систем сбора и обработки данных АЭ-контроля.



Рисунок 1 – Интерфейсы в комплексе телематического оборудования

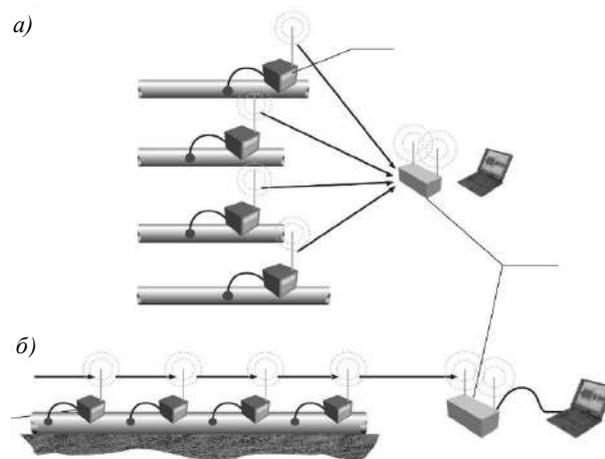


Рисунок 2 – Системы сбора и обработки данных

### **АЭ диагностическая система с использованием беспроводной связи**

Основой данной системы является блок обработки сигнала (БОС), в котором осуществляется усиление АЭ-сигналов, фильтрация, оцифровка при помощи АЦП, цифровая обработка и регистрация параметров сигналов АЭ, их формы и передача этих параметров по радиоканалу в рабочую станцию. БОС с ПАЭ представляет собой полнофункциональный цифровой АЭ-канал с возможностями вычисления всех параметров АЭ-сигнала и регистрации его формы.

Система может работать в двух режимах: в режиме непосредственной передачи сигналов от БОС к МЦПП (модуль центральный приемо-передающий); в «сетевом» режиме, когда БОС передают сигналы к МЦПП по цепи через соседние БОС. Этот режим наиболее подходит для контроля протяженных объектов типа трубопроводов. Обеспечивает прием АЭ-сигналов от ПАЭ, вычисление параметров АЭ-сигналов и передачу данных по радиоканалу. МЦПП предназначен для приема данных с БОС и управления ими.

Преобразователи для АЭ-контроля состояния буксовых подшипников тележки грузового вагона могут являться составляющей одной из систем «интеллектуального» грузового поезда. Предложенная нами схема размещения ПАЭ дает возможность интегрировать систему АЭ-контроля в существующие комплексы телематического оборудования.

#### **Список литературы**

- 1 **Ефремов, А. А.** Цель – интеллектуальный грузовой поезд / А. А. Ефремов // Железные дороги мира. – 2020. – № 5. – С. 50–62.
- 2 **Жирухов, Е. И.** «Умный» грузовой поезд / Е. И. Жирухов // Локомотив. – № 10. – 2018. – С. 32–36.
- 3 **Жирухов, Е. И.** «Умный» грузовой вагон: время пришло! / Е. И. Жирухов // Вагоны и вагонное хозяйство. – № 4(56). – 2018. – С. 30–34.

УДК 620.179.16

## **ОПТИМИЗАЦИЯ РАСПОЛОЖЕНИЯ АЭ-ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ПРИ ДИАГНОСТИКЕ СОСТОЯНИЯ БУКСОВЫХ УЗЛОВ**

*О. В. ХОЛОДИЛОВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

*А. А. МАРКАВЦОВ*

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

**Введение.** В настоящее время места установки преобразователей для регистрации акустической эмиссии определяют по результатам трудоемких предварительных экспериментов по определению напряженно-деформированного состояния (НДС) контролируемого узла [1]. Численный конечно-элементный анализ может быть проведен для объектов с различной геометрией с учетом их особенностей и требует меньше временных затрат, при этом позволяет прогнозировать состояние объекта контроля. В связи с этим разработка численных алгоритмов применения конечно-элементного анализа для оценки НДС подшипниковых узлов подвижного состава является актуальной.

### **Оценка напряженно-деформированного состояния буксового узла**

Анализ статического НДС подразумевает, что механическая конструкция подвержена воздействию заданной стабильной статической нагрузки. В случае приложения к ней переменной во времени нагрузки необходимо исследовать динамическое поведение. Для компьютерного моделирования и расчета НДС, кинематики и динамики механических систем наиболее популярными пакетами являются следующие [2, 3]:

а) программы анализа кинематики и динамики систем твердых тел (например, ADAMS, VisualNastran, ANSYS WorkBench, Catia, Working Model и т. п.);

б) программы конечно-элементного анализа для гибких тел (например, ANSYS, Nastran, Patran, ProMechanica, LS-Dyria и т. д.).

Выполнение анализа НДС подшипника и корпуса буксового узла тележки грузового вагона с помощью ANSYS Workbench состоит из следующих основных этапов [3].

1 *Подготовка расчетно-геометрической модели (РГМ)* – геометрической модели буксового узла, созданной для проведения инженерного анализа. РГМ создаем с помощью САД-систем (Autodesk Inventor Professional 2019), затем на ее базе создаем расчетную модель Simulation.

2 Подготовка расчетной модели (PM) – виртуальной модели, содержащей упрощенную модель объектов моделирования (буксового узла).

2.1 Формирование модели материала. Выполняем с помощью модуля Engineering Data, который используется для систематизации и хранения данных о материалах, описания свойств материалов и входных параметров математических моделей с помощью дополнительного интерфейса оболочки Workbench.

В разделе Materials создается базовый материал Structural Steel, который присваивается всем телам расчетной модели. Затем задаем значения: модуль Юнга (Young's Modulus), коэффициент Пуассона (Poisson's ratio), плотность (Density), предел текучести на растяжение (Tensile Yield Strength), предел текучести на сжатие (Compressive Yield Strength), предел прочности на растяжение (Tensile Ultimate Strength) [4].

2.2 Задание условий внешних воздействий. Нагрузки и закрепления добавляются с помощью контекстного меню раздела (Insert) или кнопок панелей инструментов: Loads (нагрузки), Support (закрепления), Inertial (инерционные нагрузки). В окне свойств добавленного объекта необходимо указать геометрию (строка Geometry), к которой это условие будет применено. Force (усилие, распределенное равномерно по поверхностям и направленное параллельно направлению приложения во всех точках) – создаем деформацию обратного знака.

2.3 Формирование КЭ сетки. Чтобы задать структуру сетки и форму ее ячеек, необходимо воспользоваться одним из интегрированных в Meshing методов. Доступ к методам осуществляется через контекстное меню компонента Mesh в дереве Outline. Для формирования сетки конечных элементов используются управляющие параметры, содержащиеся в разделе Mesh дерева PM.

2.4 Задание набора выходных данных. Выделяем в дереве PM подраздел Solution раздела Environment и из выпадающего меню контекстной панели инструментов добавляем объекты – Normal Stress (нормальные напряжения), Total Deformation (полная деформация).

2.5 Выполнение расчета. Для выполнения КЭ-расчета необходимо нажать кнопку запуска решателя Solve на стандартной панели инструментов. Расчет выполняется автоматически, не требует вмешательства пользователя, может требовать значительного времени для завершения.

Результаты расчета деформаций и напряжений представлены на рисунке 1.

а)

б)

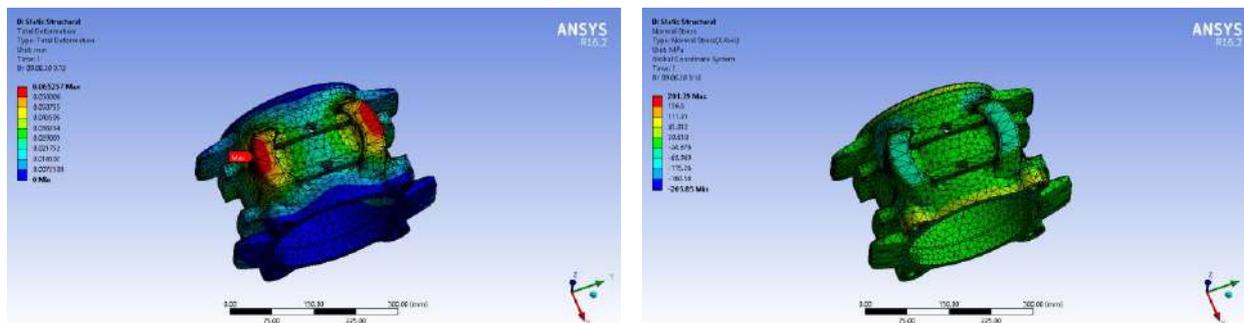


Рисунок – Результаты расчета деформаций (а) и напряжений (б) в корпусе бусы (отверстие под ПАЭ на ребре жесткости)

Расчеты НДС буксового подшипника показали, что максимальные напряжения во внешнем кольце возникают в момент, когда ролик подшипника находится в самом верхнем положении. Следовательно, установка ПАЭ должна осуществляться в этом месте или как можно ближе к нему, поскольку при этом на выходе преобразователя будет формироваться сигнал с максимальной амплитудой.

В результате расчета НДС корпуса бусы установлено, что:

– деформация в направлении челюстей (направляющих поверхностей) корпуса бусы не превышает допустимого значения 0,200 мм (максимальное значение – 0,065 мм).

– для корпуса буксы с отверстиями под ПАЭ в ребрах жесткости и рядом с ними деформация не превышает допустимого значения 0,200 мм (максимальное значение – 0,065 мм).

– нормальные напряжения в корпусе буксы не превышают допустимого значения 450 МПа (максимальное значение  $\approx 72$  МПа).

– нормальные напряжения в корпусе буксы с отверстиями под ПАЭ в ребрах жесткости не превышают допустимого значения 450 МПа (максимальное значение  $\approx 202$  МПа), рядом с ребрами жесткости составляет  $\approx 109$  МПа.

#### **Заключение**

Анализ НДС подшипника и корпуса буксы показал, что нормальные напряжения и деформации не превышают допустимых значений (0,2 мм и 450 МПа), однако вследствие меньших напряжений (109 МПа) в буксовом узле с отверстиями под ПАЭ около ребер жесткости рекомендуется использовать данное место для расположения преобразователей.

#### **Список литературы**

1 Сыч, Т. В. Совершенствование технологии АЭ-контроля на основе конечно-элементного анализа акустического тракта : дис. ... канд. техн. наук: 05.11.13 : защищена 13.10.16 : утв. 02.11.16 / Сыч Татьяна Викторовна. – Томский политехн. ун-т. – Новосибирск, 2016. – 149 с.

2 Беляев, Г. Я. Численное исследование напряженно-деформируемого состояния деталей подшипников качения / Г. Я. Беляев, С. Ю. Котов, А. В. Шмелев // Вестник Гомельского гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого, 2017. – № 1. – С. 27–33.

3 Основы работы в ANSYS 16 / Н. Н. Федорова [и др.] // ДМК Пресс, 2017. – 210 с.

4 Шимановский, А. О. Применение метода конечных элементов в решении задач прикладной механики : учеб.-метод. пособие / А. О. Шимановский, А. В. Пулято. – Гомель : БелГУТ, 2008. – 61 с.

УДК 656.073

## **ОСОБЕННОСТИ КРЕПЛЕНИЯ ГРУЗОВ НА СОЧЛЕНЕННЫХ ВАГОНАХ-ПЛАТФОРМАХ**

*О. С. ЧАГАНОВА, Т. И. БЫСТРЕНКОВА, Е. В. МЕНЬШОВА*  
*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В современном мире обеспечение сохранности и своевременности доставки грузов представляет собой один из важнейших факторов при перевозке железнодорожным транспортом. В Республике Беларусь производится большое число длинномерных строительных конструкций и изделий, которые требуется доставлять от места производства к месту установки. Одним из способов достижения этих целей является использование вагонов сочлененного типа [1]. Так, для перевозки крупнотоннажных контейнеров используется 6-осный вагон-платформа модели 13-470-01 грузоподъемностью 87 тонн и нагрузкой на рельсы от колесной пары 230,5 кН [2]. У модели 13-9994 увеличена грузоподъемность до 116 тонн нагрузкой на рельсы 245,25 кН. Для перевозки сжиженных углеводородных газов используется вагон-цистерна модели 15-9541-01, отличающийся повышенной грузоподъемностью до 90 тонн. Применяются вагоны-хопперы открытые и закрытые для сыпучих грузов, не требующих или требующих защиты от атмосферных явлений. Также используются полувагоны универсальные и специализированные и крытые вагоны для различных грузов.

Всё большую актуальность приобретает использование различных типов контейнеров, обеспечивающих лучшую сохранность грузов, облегчающих погрузочно-разгрузочные операции и перегрузку грузов между различными видами транспорта. В связи с этим возникает потребность уменьшения массы тары вагона и увеличения грузоподъемности.

Различные строительные конструкции, трубы, лесоматериалы, пиломатериалы, крупнотоннажные контейнеры, колесная техника и другие длинномерные грузы перевозятся на открытом подвижном составе, и для их крепления используются как специализированные, так и универсальные средства [3, 4]. В частности для стеновых железобетонных панелей используются специальные пирамиды, перевозка длинномерных крупногабаритных изделий осуществляется на сцепках платформ с применением турникетных опор. Допускается незначительное смещение относительно продольной и поперечной плоскостей симметрии вагона [2].

На сети железных дорог колеи 1520 мм действуют Технические условия размещения и крепления грузов (Приложение 3 к Соглашению о международном железнодорожном грузовом сообщении (СМГС)) [2], для грузов, перевозимых на открытом подвижном составе и в крытых вагонах. В Технических условиях приведены общие требования к перевозке контейнеров и длинномерных грузов на открытом подвижном составе. Перевозку длинномерных грузов предлагается осуществлять с применением турникетных опор. Однако в указанных Технических условиях отсутствуют сведения об особенностях применении сочлененных вагонов и в каком месте устанавливать турникетные опоры на вагонах такого типа. Также в соответствии с [2] разница в загрузке тележек не должна превышать для обычных 4-осных вагонов 10 т; 6-осных – 15 т; 8-осных – 20 т. При этом нагрузка, приходящаяся на каждую из тележек, должна быть не более половины грузоподъемности вагона. В соответствии с рекомендациями [2] центр тяжести груза, как правило, должен располагаться на линии пересечения продольной и поперечной плоскостей симметрии вагона.

Всё более широко применяемые в настоящее время вагоны сочлененного типа, т. е. вагоны, соседние секции которых опираются на одну общую тележку. Шарнирное соединительное устройство грузовых вагонов сочлененного типа представляет собой составную несъемную часть несущей конструкции вагона, предназначенную для соединения и передачи нагрузок между двумя секциями вагона и для опоры двух секций вагона на общую тележку.

Например, для перевозки строительных железобетонных конструкций большой длины можно применить шестиосный вагон сочлененного типа модели 13-470-01, переоборудованный из двух вагонов-платформ модели 13-470 (рисунок 1). При этом для закрепления железобетонной конструкции будут использоваться турникетно-крепёжные устройства [1]. Однако в нормативной литературе отсутствуют рекомендации о выборе места установки турникетных опор для таких вагонов, при котором обеспечивается одинаковая нагрузка на тележки вагона.

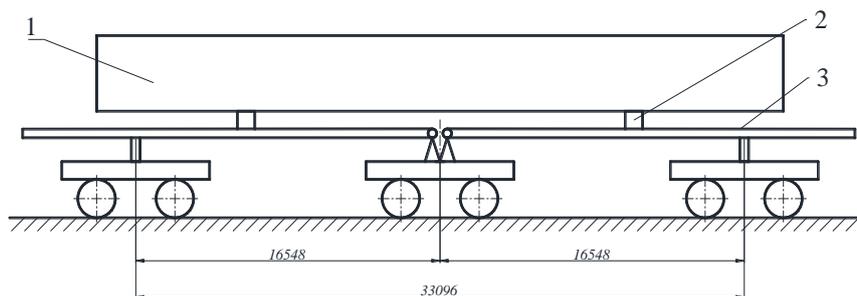


Рисунок 1 – Расчетная схема вагона-платформы сочлененного типа модели 13-470-01 с грузом:  
1 – железобетонное изделие; 2 – турникетные опоры; 3 – сочлененная платформа

В качестве примера рассмотрим транспортировку железобетонной строительной конструкции на вагоне-платформе сочлененного типа (см. рисунок 1). Исходя из условия максимального использования грузоподъемности данного вагона определялось место установки турникетных опор для перевозки длинномерного груза. В соответствии с размерами вагона-платформы модели 13-470-01 [2] получена расчетная схема. Было принято, что расчетные нагрузки на рельсы от каждой тележки, включающей две колесные пары, должны быть одинаковыми. Определена зависимость величины воздействия груза на турникетные опоры при учете этого условия. Получено, что при использовании для транспортировки длинномерных грузов вагонов-платформ сочлененного типа нагрузка на рельсы от каждой тележки вагона будет одинаковой, если турникетно-крепёжные устройства будут расположены на расстоянии 5,5 м от оси крайней тележки. Это составляет 1/3 расстояния между осями крайней и средней тележек. Применение этого условия обеспечит сохранность вагона и безопасность движения поездов.

Изначально вагон-платформа сочлененного типа предназначался для перевозки крупнотоннажных 40-футовых контейнеров. В этом случае при равномерной загрузке контейнеров нагрузки на тележки сочлененного вагона будут разными. Самая большая нагрузка будет приходиться на среднюю тележку, меньшие нагрузки – на крайние тележки. Это приведет к серьезному износу элементов ходовой части вагона и создаст угрозу безопасности движения поездов.

В соответствии с [2, таблица 2] величина максимально допускаемого смещения центра тяжести груза в крупнотоннажном контейнере в продольном направлении не должна превышать 1200 мм. Использование этого условия при погрузке контейнеров с грузом на вагоны-платформы сочлененного типа позволит более равномерно распределить нагрузку на тележки такого вагона и улучшить ходовые характеристики и сохранности элементов вагона.

Установка крепёжных устройств с применением условий, описанных выше, не всегда возможна, поэтому работа по определению оптимальных параметров размещения креплений будет продолжена.

#### Список литературы

1 **Васильев, С. М.** Совершенствование подвижных турникетно-крепёжных устройств с целью установки на современные типы грузовых вагонов / С. М. Васильев, А. А. Железняков, Л. П. Целковикова // *Механика. Исследования и инновации* : междунар. сб. науч. тр. Вып. 12. – Гомель : БелГУТ, 2019. – С. 29–34.

2 Технические условия размещения и крепления грузов. Приложение 3 к Соглашению о международном железнодорожном грузовом сообщении (СМГС) : по состоянию на 1 июля 2020 г. [Электронный ресурс]. – 2020. – Режим доступа : [https://www.rw.by/upload/iblock/fec/Pril-3-SMGS\\_Tom-2\\_2020.pdf](https://www.rw.by/upload/iblock/fec/Pril-3-SMGS_Tom-2_2020.pdf). – Дата доступа : 15.09.2020.

3 **Чаганова, О. С.** Анализ методов крепления штучных грузов в кузове вагона / О. С. Чаганова // *Транспорт. Наука, техника, управление*. – 2011. – № 5. – С. 51–56.

4 **Коломникова, О. С.** Механические особенности крепления штучных и тарно-упаковочных грузов в кузове транспортного средства / О. С. Коломникова // *Механика. Научные исследования и учебно-методические разработки* : междунар. сб. науч. тр. – Гомель, 2007. – Вып. 1. – С. 26–34.

УДК 629.4.003

## СИСТЕМА ОБСЛУЖИВАНИЯ ЛОКОМОТИВОВ ПО ФАКТИЧЕСКОМУ ТЕХНИЧЕСКОМУ СОСТОЯНИЮ

*В. М. ЧУМАКОВ*

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

*В. В. НЕВЗОРОВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В последние годы жесткая экономическая необходимость вынуждает Белорусскую железную дорогу активно искать пути повышения эффективности системы технического обслуживания и снижения затрат на содержание тягового подвижного состава (ТПС) в технически исправном состоянии. Для реализации возможности снижения расходов на планово-предупредительный ремонт (ППР) и техническое обслуживание локомотивов за счет учета их фактического технического состояния (ФТС) многие локомотивные депо оснащаются техническими средствами контроля и прогнозирования изменения технического состояния различных узлов локомотивов [1]. Это дает возможность повысить объективность и глубину дефектации тяговых единиц при их поступлении на ТО и ТР, полноту и достоверность оценки технического состояния каждого локомотива для приведенного объема работ по ТО и ТР в соответствии с действительным состоянием локомотива.

**Цель работы** – обосновать предпосылки для поэтапного перехода к системе обслуживания локомотивов по фактическому техническому состоянию.

На первом этапе срок постановки тяговой единицы на очередной ТР или ТО первоначально планируется в соответствии с установленными нормами межремонтных периодов; далее он может корректироваться в соответствии с прогнозируемой загрузкой ремонтных цехов, а также с учетом результатов оценки ФТС данного тепловоза. Информационная основа для такой оценки: сведения о наработке; остаточный ресурс и вероятность отказа основных лимитирующих узлов; надежность работы данного тепловоза в предшествующий период; данные об уровне удельных энергозатрат локомотива на тягу поездов, хранящиеся в единой базе данных локомотивного депо БЖД.

С учетом указанных сведений предварительно формируется перечень работ, которые необходимо выполнить при производстве данного ТО или ТР. Приемка тепловоза из ТО и ремонта

осуществляется в установленном порядке с использованием технических средств диагностики. Сведения о выполненных на тепловозе работах при ТО и ТР (вид ремонта, дата, наработка, результаты входного-выходного диагностирования, перечень выполненных дополнительных операций и невыполненных регламентных работ) вводятся в единую базу данных. В ней же накапливаются данные о выполнении или невыполнении рекомендаций диагноста, о соответствии или несоответствии диагноза действительному состоянию узла, определенному в результате его разборки, о неисправностях, выявленных при ТО и ТР [2].

В межремонтный период в базу данных вводятся сведения о текущих значениях наработки тепловоза; отказах, выявленных в пунктах технического обслуживания; средней величине удельных энергозатрат на тягу поездов по данным группы учета. Исходя из этого планируются срок и объем очередного технического обслуживания локомотива.

Указанные данные образуют информационный массив, обработка которого позволяет применительно к каждому отчетному периоду решать задачи по учету, планированию, контролю и анализу результатов технического содержания приписного парка, а также оценивать достоверность диагнозов и прогнозов, корректировать используемые браковочные (пороговые) значения контролируемых параметров локомотивного оборудования, разрабатывать технологические и организационные меры по повышению надежности наиболее повреждаемых узлов.

Основным методом определения ФТС локомотивов в межремонтный период является статистическое диагностирование. Оно заключается в оценке остаточного ресурса конкретного узла (детали, агрегата), функционирующего на конкретном локомотиве, по величине, достигнутой этим узлом наработки после ремонта, с использованием статистической зависимости остаточного ресурса от наработки. Эта зависимость устанавливается по накопленной в базе данных информации об отказах узлов данного типа на всех локомотивах данной серии и о соответствующих им наработках после ремонта или ТО.

Следует отметить, что эксплуатируемые локомотивы прежних лет выпуска характеризуются чрезвычайно низким уровнем контролепригодности. Это обуславливает значительную продолжительность и трудоемкость подготовительных операций, усложняющих процесс диагностирования и приближающих его по длительности, трудозатратам и иным расходам к процессу ремонта соответствующего узла. Именно повышение контролепригодности локомотивов является основной задачей первого этапа работы по совершенствованию системы технического обслуживания.

Существенным шагом в этом направлении является оборудование всех вновь выпускаемых локомотивов *бортовой подсистемой диагностики*.

На втором этапе стоит задача непрерывного динамического контроля технического состояния локомотива, который решается посредством использования бортовых средств функциональной диагностики и систем передачи информации через систему УКНБ. Благодаря им процессы диагностирования и эксплуатации совмещаются и позволяют получать большое количество информации о техническом состоянии узлов локомотива. При этом стационарные комплексы будут использоваться лишь для получения информации, необходимой для принятия окончательного решения об изменении сроков и объемов технического обслуживания, дополняя ограниченные возможности бортовых систем диагностики.

Наличие встроенных диагностических устройств повышает оперативность получения данных о возникающих неисправностях, позволяя устранять их на ранней стадии развития, т. е. с меньшими затратами [3].

На третьем этапе значительный интерес представляет исследование возможности получения информации, необходимой для прогнозирования предотказных состояний локомотива по его эксплуатационным показателям и определение его остаточного ресурса. Такой подход может иметь большое значение при внедрении системы обслуживания локомотива по его ФТС. В отсутствие бортовых систем диагностирования он позволил бы уже на этой стадии существенно повысить эффективность стационарных диагностических комплексов, использовать их аппаратное и алгоритмическое обеспечение для решения задач прогнозирования изменения технического состояния ответственных узлов локомотива, а также сформулировать и уточнить требования к бортовым средствам диагностирования с целью обеспечения их наибольшего соответствия решаемым задачам.

**Заключение.** Совершенствование системы ППР обеспечивает повышение: безотказности оборудования ТПС, состояние которого сказывается на безопасности движения; энергоэкономичности ТПС за счет своевременного обнаружения и устранения неисправности оборудования, непосредственно влияющего на величину удельного расхода энергии и топлива на тягу поездов; эксплуатационной надежности ТПС, что ведет к сокращению числа и суммарной длительности опозданий поездов по проследованию и отправлению вследствие неисправностей ТПС, приводящих к браку в поездной работе, порчам, ухудшению тяговых свойств.

#### Список литературы

- 1 Повышение эффективности технического обслуживания локомотивов / А. В. Грищенко [и др.] // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2012. – № 4 (33).
- 2 Кольцов, С. В. Совершенствование методов технического обслуживания и ремонта локомотивов / С. В. Кольцов, Л. В. Коваленко // Сборник научных трудов ДонИЖТ. – 2018. – № 49.
- 3 Давыдов, Ю. А. Контроль фактического технического состояния локомотивов на основе диагностики / Ю. А. Давыдов, А. К. Пляскин, А. С. Кушнирук // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2018. – № 3 (59).

УДК 614.841:629.45

## АНАЛИЗ И ОЦЕНКА ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ СОВРЕМЕННОГО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПАССАЖИРСКОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

*С. Н. ШАТИЛО*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Обеспечение пожарной безопасности железнодорожного подвижного состава в настоящее время остается актуальной задачей, т. к. несмотря на принимаемые меры значительное количество пожаров возникает в пассажирском подвижном составе. При этом причины возникновения пожаров разнообразны. Это свидетельствует о том, что в современном пассажирском подвижном составе имеет место повышенная пожарная опасность, связанная с наличием источников зажигания, значительной пожарной нагрузкой, а также большим количеством пассажиров в ограниченной зоне и трудностями с их эвакуацией. Поэтому уже на стадии проектирования такого подвижного состава в соответствии с действующими нормами принимаются соответствующие меры и решения, направленные на снижение пожарной нагрузки в подвижном составе, повышение надежности электрооборудования, систем отопления и кондиционирования воздуха, объемно-планировочные и конструктивные решения по ограничению распространения пожара. Общие требования безопасности железнодорожного подвижного состава определены техническим регламентом ТР ТС 001/2011 «Безопасность железнодорожного подвижного состава». Особое внимание уделяется пожарной безопасности. При этом нормативные требования и соответствующие решения можно условно разделить на две группы: первые включены в нормы проектирования современного подвижного состава, а вторые – в правила его эксплуатации. В свою очередь принимаемые проектные решения охватывают не только объемно-планировочные и конструктивные меры, но и соответствующее инженерное оснащение подвижного состава. Реализуется комплексный подход, охватывающий четыре направления в обеспечении его пожарной безопасности, включающие обеспечение его противопожарной устойчивости, ограничение распространения пожара, обеспечение своевременной и безопасной эвакуации пассажиров и работников, эксплуатирующих подвижной состав, своевременное обнаружение, локализацию и тушение пожара. Для железнодорожного подвижного состава введена классификация по функциональной пожарной опасности, что позволяет систематизировать и конкретизировать соответствующие требования к принимаемым решениям уже на стадии проектирования. Обеспечение противопожарной устойчивости железнодорожного подвижного состава во многом зависит от надежности и безопасности энергетического и другого инженерного оборудования, а также от пожарной нагрузки и показателей пожарной опасности применяемых конструкционных и отделочных материалов. Как показывает анализ надежности применяемого оборудования современного подвижного состава, при нормативных значениях вероятности пожара и риска для жизни человека по ГОСТ 12.004-91 для подвижного состава  $1 \cdot 10^{-6}$  показатель риска возникновения возгорания в результате неисправности ниже этого значения. В противопожарных нормах проектирова-

ния пассажирского подвижного состава предусмотрены высокие требования к конструктивным и отделочным материалам по основным показателям, характеризующим их пожарную опасность: горючести, воспламеняемости, распространению пламени по поверхности, дымообразующей способности и токсичности продуктов горения. Для обеспечения пожарной безопасности установлены жесткие критерии отбора материалов, применяемых при строительстве пассажирских вагонов и моторвагонного подвижного состава по приведенным выше показателям. И здесь часто возникают проблемы, связанные с тем, что не все материалы, которые могут быть приняты по эстетическим соображениям, соответствуют требованиям пожарной безопасности. Особая роль в обеспечении пожарной безопасности пассажирского подвижного состава отводится ограничению распространения пожара внутри его. Характерной особенностью пожаров в замкнутых объемах, в том числе и железнодорожном подвижном составе, является условие их распространения. При этом возможны два вида распространения: линейное и объемное. При линейном распространении пожара пламя перемещается по поверхности горючих материалов в определенном направлении в данной плоскости, например, по поверхности внутренней облицовки подвижного состава по потолку, стенам и полу. При таком распространении постоянно изменяется площадь поверхности горения, т. е. площадь пожара. В этом случае горение сопровождается выделением значительного количества тепловой энергии которая может передаваться как контактирующим с очагом горения поверхностям, так и поверхностям, расположенным на определенном расстоянии. Это происходит из-за того, что эти поверхности нагреваются до температуры самовоспламенения или воспламенения при контакте с пламенем. Применительно к пассажирскому железнодорожному подвижному составу пожар может распространяться по сгораемой внутренней облицовке пассажирских салонов, т. е. по сгораемым отделочным и облицовочным материалам, а также конструктивным элементам вагонов. При объемном распространении пожара имеет место возникновение новых очагов пожара на определенном расстоянии от первоначального и в других плоскостях. Это возможно как в пределах одного вагона, так и из одного вагона в другой. В этом случае основной причиной распространения является передача тепловой энергии излучением, конвекцией и теплопроводностью. По мере увеличения площади и объема зоны горения объект заполняется нагретыми продуктами горения, которые в процессе перемещения излучают теплоту, отдают ее окружающим предметам, конструкциям и оборудованию. Источником излучения тепловой энергии является также само пламя. При этом продукты горения и лучистая энергия вызывают новые очаги пожара в пределах замкнутого объема. На развитие и распространение пожара в этом случае существенное влияние оказывает взаимный обогрев различных элементов конструкций подвижного состава. Проведенные исследования показали, что скорость распространения горения в пассажирских вагонах достигает 5 м/мин. и за 15–20 минут пожар охватывает практически весь вагон. Такое развитие пожаров характерно для пассажирского железнодорожного подвижного состава, что учтено при определении объемно-планировочных и конструктивных решений по обеспечению пожарной безопасности, предусмотренных ГОСТ 34394–2018. Это касается устройства противопожарных перегородок, которые являются противопожарными преградами и предназначены для разделения всего объема помещений на пожарные секции, что является ключевым при выборе объемно-планировочных решений. Перегородки между пассажирским салоном и межвагонным переходом электропоездов должны иметь предел огнестойкости E30/I15, что соответствует требованиям ГОСТ 34394–2018. Пределы огнестойкости заполнения дверных проемов в перегородках также должны соответствовать этим требованиям. ГОСТ 34394–2018 регламентирует также требования к переходным мостикам между вагонами моторвагонного подвижного состава, которые должны иметь предел огнестойкости не менее R15 по ГОСТ 30247.1. ГОСТ 34394–2018 устанавливает требования и показатели пожарной опасности к отделочным, облицовочным материалам и покрытию пола, которые должны быть не опаснее: для стен и потолка Г1, В2, Д2, Т2 и РП1; для покрытия пола – Г2, В2, Д3, Т2, РП2. Это позволяет ограничить линейное распространение пожара. В нормах проектирования требования пожарной безопасности установлены для традиционных видов компоновки пассажирского подвижного состава, в то время как новые типы электро- и дизель-поездов, пассажирских вагонов имеют другую компоновку и соответствующие конструктивные решения. Такой подвижной состав начинает завоевывать отечественный и зарубежный рынок. Особенностью конструкций данного подвижного состава является то, что в нем отсутствует четкое разделение на отдельные вагоны, а также традиционные межвагонные переходы и тамбуры. Поэтому в целях обеспечения пожарной безопасности должны приниматься соответствующие объемно-планировочные и конструктивные решения, направленные на ограничение рас-

пространения пожара. При этом не могут быть установлены противопожарные преграды в виде традиционных противопожарных перегородок. Должны быть изолированы потенциальные источники возгорания (электрические шкафы и др.) посредством ограждающих конструкций, которые являются противопожарными с повышенным пределом огнестойкости EI30.

При оценке соответствия элементов межвагонного перехода современных типов пассажирского подвижного состава требованиям пожарной безопасности необходимо учитывать, что эти элементы (переходные мостики, гибкое сочленение) в данном случае практически находятся в пассажирском салоне и могут принимать участие в объемном и линейном распространении пожара. Поэтому к данным элементам должны предъявляться такие же требования по конструктивному исполнению и по показателям пожарной опасности, как и для стен и потолка вагона, что позволит ограничить распространение пожара внутри подвижного состава по этим элементам и обеспечить безопасность пассажиров, которые будут находиться вблизи межвагонного перехода. Гибкое сочленение должно быть выполнено из материала, который имеет такие же показатели пожарной опасности, как и для стен и потолка.

Однако рассмотренные выше принимаемые решения могут обеспечить безопасность пассажиров только при условии обеспечения быстрой и безопасной эвакуации при пожаре, своевременного обнаружения, локализации и тушения пожара.

УДК 629.4.017:625.1.032.84

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ ПОД ДЕЙСТВИЕМ СЖИМАЮЩИХ ПРОДОЛЬНЫХ СИЛ**

*А. А. ШВЕЦ*

*Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта  
им. акад. В. Лазаряна, Украина*

Безопасность движения – основное условие нормальной работы железных дорог. Проблемы обеспечения безопасности движения поездов и маневровой работы являются главными для железнодорожного транспорта, так как крушения и аварии, происходящие по причине сходов вагонов с рельсов, полностью предотвратить не удастся. Повышение уровня безопасности движения грузовых вагонов является одним из приоритетных направлений в деятельности железных дорог и представляет собой комплекс мероприятий, направленных на сохранность перевозимых грузов, объектов инфраструктуры и подвижного состава железнодорожного транспорта, экологической безопасности окружающей среды [1].

Большинство существующих методик, применяемых для оценки безопасности движения вагонов, устанавливают допустимые пределы значений для параметров (коэффициенты запаса устойчивости от вкатывания на головку рельса, от выжимания, от опрокидывания, уровень рамных сил, коэффициенты динамики и т. д.), при выходе за которые существует лишь вероятность возникновения аварийно-опасной ситуации. В связи с этим требуется разработка уточненных методик для оценки безопасности движения подвижного состава, позволяющих определить момент «явного схода», т. е. оценить выполнение не только необходимого, но и достаточного условия схода.

Проблемы разработки критериев оценки безопасности движения, взаимодействия и износа колеса и рельса в кривых участках пути, а также влияния технического состояния экипажной части подвижного состава на безопасность движения всегда актуальны. Статистические данные о сходах за последние два десятилетия свидетельствуют о постепенном их снижении. Однако в определенные периоды наблюдаются резкие всплески числа сходов, особенно порожних вагонов в грузовых поездах. Среди объективных причин таких явлений (колебания объемов перевозок, повышение массы и скоростей движения, изменения условий взаимодействия подвижного состава и пути, норм их устройства и содержания и т. д.) следует прежде всего обратить внимание на то обстоятельство, что грузовые вагоны, находящиеся в эксплуатации, спроектированы и построены по разным редакциям норм их расчета и проектирования [2–4].

При проектировании новых и модернизации существующих грузовых вагонов одним из обязательных условий, определяющих их пригодность к эксплуатации, является выполнение условия

обеспечения запаса устойчивости от выжимания вагона продольными силами в поезде. Согласно методике оценки устойчивости вагонов от выжимания продольными силами в поезде, действующими на 4-осный вагон и его тележки в перекошенном состоянии, выражение для коэффициента запаса устойчивости имеет следующий вид:

$$K_{yc} = \frac{\operatorname{tg}\beta - \mu}{1 + \mu \cdot \operatorname{tg}\beta} \times \frac{P_T + 2\gamma \cdot N \cdot \left\{ \left[ \frac{\delta_0 L}{\ell^2} \left( 1 + \frac{L}{a} \right) \cdot h_n \pm \alpha \frac{L_c}{R} h_a \right] \right\} \frac{1}{2S} \mp 2P_{\text{тст}} \frac{h_p}{2S} \cdot \frac{h_n}{2S}}{\mu \cdot P_T + 2\gamma \cdot N \cdot \left\{ \left[ \frac{\delta_0 L}{\ell^2} \left( 1 + \frac{L}{a} \right) \pm \alpha \frac{L_c}{R} \right] \cdot \left( 1 - \mu \frac{h_a}{2S} \right) \mp \mu \alpha \frac{L_c}{R} \cdot \frac{h_a - h_n}{2S} \right\} \mp 2P_{\text{тст}} \frac{h_p}{2S} \cdot \left( 1 - \mu \frac{h_n}{2S} \right)} \geq [K_{yc}]. \quad (1)$$

В работе [1] приведен анализ существующих методик определения коэффициента запаса устойчивости вагонов в грузовых поездах от их выжимания продольными силами, разработаны предложения по уточнению этих методик для использования на стадии проектирования, постройки и в процессе эксплуатации, а также оценивается влияние на величину этого коэффициента скорости движения подвижного состава. В результате теоретических исследований получена зависимость коэффициента запаса устойчивости от выжимания 4-осного грузового вагона от продольной сжимающей силы с учетом скорости движения и сил инерции:

$$K_{ув}^{I,II} = \frac{\operatorname{tg}\beta - \mu}{1 + \mu \cdot \operatorname{tg}\beta} \times \frac{P_T + \gamma N \cdot \left[ \frac{\delta_0 \cdot L}{\ell^2} \cdot \left( 1 + \frac{L}{a} \right) \cdot \frac{h_n}{h_a} \pm \alpha \cdot \frac{L_c}{R} \right] \cdot \frac{h_a}{S} \pm \frac{1}{2} P_{\text{ин}} \cdot \frac{h_n}{S}}{\mu \cdot P_T + 2\gamma N \cdot \left\{ \frac{\delta_0 \cdot L}{\ell^2} \cdot \left( 1 + \frac{L}{a} \right) \cdot \left( 1 - \mu \cdot \frac{h_n}{2S} \right) \pm \alpha \cdot \frac{L_c}{R} \cdot \left( 1 - \mu \cdot \frac{h_a}{2S} \right) \pm P_{\text{ин}} \cdot \left( 1 - \mu \cdot \frac{h_n}{2S} \right) \right\}}. \quad (2)$$

$$P_{\text{ин}} = G_k + 2G_{\text{тел}} \cdot \frac{a_{\text{неп}}}{g}. \quad (3)$$

Для сравнения были произведены расчеты по четырем формулам. Первые две из них – это Нормы [2] и [3], вторые две – уточненные формулы из [3, 4] без учета сил инерции и с их учетом. Силы инерции определялись при движении вагона в кривой радиусом 250 м и возвышением наружного рельса 150 мм с допускаемой скоростью 65 км/ч. Расчеты выполнены для некоторых моделей полувагонов. Эти модели отличаются между собой в основном длинами по осям сцепления автосцепок (от 11,2 до 19 м), величинами базы вагона (от 7,1 до 13,8 м) и тарой (от 22,2 до 28 т). Полученные результаты сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Коэффициенты запаса устойчивости от выжимания для полувагонов

Период	Модели полувагонов							
	12-1505	12-532	12-2122-01	12-127	12-2123	12-4004	22-478	22-4008
1983 г.	1,367	1,399	1,360	1,400	1,509	1,762	1,628	1,671
1996 г.	1,441	1,482	1,445	1,486	1,577	1,923	1,747	1,770
2016 г. <sup>1)</sup>	1,320	1,351	1,322	1,354	1,460	1,675	1,551	1,623
2016 г. <sup>2)</sup>	1,266	1,294	1,271	1,300	1,410	1,582	1,472	1,567

<sup>1)</sup> Без учета сил инерции, зависимость (2)  
<sup>2)</sup> С учетом сил инерции при движении в кривой с допускаемой скоростью, зависимость (2)

Самые низкие величины коэффициентов запаса устойчивости от выжимания приходятся на вагоны с небольшими величинами длин по осям сцепления автосцепок, базами вагона и массы тары. Анализ результатов показывает, что для всех выбранных для расчетов грузовых вагонов величины коэффициента запаса устойчивости от выжимания, полученные по зависимости (2), меньше, чем по формулам Норм [2–4]. Это говорит о том, что необходимо учитывать силы инерции при движении вагона в кривой с предельно допускаемой скоростью.

Таким образом, исправления, внесенные в формулу для определения коэффициента запаса устойчивости от выжимания продольными силами, позволят: добиться повышения запаса устойчивости легковесных вагонов, исключив их выжимание продольными силами во всём диапазоне допустимых скоростей движения грузовых поездов; разработать и реализовать меры по предотвращению выжимания вагонов во всём диапазоне скоростей движения; определить степень устойчивости порожнего вагона в голове, в середине и в хвосте груженого поезда, предложить оптимальные схемы формирования смешанных поездов; объективно оценить влияние (исходя из полученных результатов) продольной силы и скорости движения грузового вагона на показатель устойчивости.

#### Список литературы

- 1 Некоторые аспекты определения устойчивости порожних вагонов от выжимания их продольными силами в грузовых поездах / А. А. Швец // Наука та прогрес транспорту. – 2015. – № 4 (58). – С. 175–189. DOI: 10.15802/stp2015/49281.
- 2 Нормы для расчета и проектирования новых и модернизируемых вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). – М. : ВНИИВ-ВНИИЖТ, 1983. – 260 с.
- 3 Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных) : с изм. и доп. № 1 (с 01.02.2000 г.) и № 2 (с 01.03.2002 г.). – М. : ГосНИИВ – ВНИИЖТ, 1996. – 352 с.
- 4 ГОСТ 33211–2014 Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам (с Поправкой). – М. : ВНИИЖТ, 2016. – 54 с.

УДК 629.1

## ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТРЕБОВАНИЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА SKYWAY

*А. Э. ЮНИЦКИЙ, В. А. ГАРАХ*

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

Формирование, реализация и функционирование системы обеспечения безопасности как одной из важнейших подсистем транспортного комплекса, известного под торговым брендом SkyWay, в котором реализованы струнные технологии Юницкого (UST), направлены:

- на обеспечение безопасности всех бизнес-процессов транспортного комплекса;
- обеспечение безопасности всех компонентов транспортной системы SkyWay;
- гарантирование высокого уровня безопасности транспортного комплекса SkyWay на всех этапах жизненного цикла.

Таким образом, требования к безопасности транспортного комплекса SkyWay соблюдаются одновременно по всем перечисленным направлениям на соответствующих уровнях (рисунок 1).



Рисунок 1 – Общий подход к оценке безопасности транспортного комплекса SkyWay

Особое место занимает проблематика определения требований безопасности, предъявляемых к подвижному составу SkyWay, который является отдельным перспективным видом транспорта, стандарты на его тип в настоящее время пока законодательно не зафиксированы. К рельсовому автомобилю SkyWay, аналогично транспортному комплексу в целом, применяется ряд требований в части следующих направлений.

**Информационная безопасность** – состояние информационной среды, при котором обеспечены конфиденциальность, доступность и целостность информации (данных), циркулирующих в этой среде. Разработка концептуальных и архитектурных решений центральной системы управления (далее – ЦСУ), закладываемых принципов, форматов и протоколов информационного обмена, реализуемых решений ведётся в соответствии с действующей нормативной базой. В частности, при разработке программных и программно-аппаратных модулей ЦСУ используются следующие стандарты: ГОСТ Р ИСО/МЭК 12119-2000 Информационная технология. Пакеты программ. Требования к качеству и тестирование; ГОСТ Р МЭК 62279–2016. Железные дороги. Системы связи, сигнализации и обработки данных. Программное обеспечение систем управления и защиты на железных дорогах; ГОСТ Р МЭК 62280–2017 ЖД. Требования к обеспечению безопасной передачи информации; ГОСТ Р МЭК 61508–2012 Функциональная безопасность электрических/электронных/программируемых электронных систем; ГОСТ Р ИСО 26262–2014. Дорожные транспортные средства. Функциональная безопасность.

Автоматизированная система управления транспортного средства (далее – АСУ ТС) обеспечивает непосредственное управление оборудованием транспортного средства и исполнение команд, поступающих от ЦСУ. Поэтому вопрос информационной безопасности при обмене данными для этой системы стоит наиболее остро. Даже при полном отказе центральной диспетчерской или оборудования прочих систем управления АСУ ТС должна обеспечить безопасное завершение маршрута и высадку пассажиров. Поэтому при разработке программно-аппаратного комплекса АСУ ТС и выборе решений для системы применяются самые современные методы и подходы, направленные на достижение максимального уровня безопасности. Все системы управления транспортными средствами, в том числе бортовые, разрабатываются в соответствии с методологией IEC 61508, EN 50126 и сертифицируются на соответствие требованиям европейских стандартов в области железных дорог, в том числе EN 50129 «Железные дороги. Системы связи сигнализации и обработки данных. Электронные сигнализационные системы безопасности». Для обмена данными между контроллерами, исполнительными механизмами и центральным диспетчерским пунктом применяются безопасные протоколы реального времени, зарекомендовавшие себя успешным многолетним опытом применения. Для повышения надежности и безопасности во всех аппаратных и программных решениях АСУ ТС применяется дублирование, резервирование и перераспределение функций компонентов.

Под **функциональной безопасностью** понимается свойство объекта выполнять требуемые функции безопасности при всех предусмотренных условиях эксплуатации в течение заданного периода.

Функция безопасности – функция подсистемы, направленная на достижение и поддержание безопасного состояния системы по отношению к конкретному опасному событию. Функциями безопасности являются, например, включение тормоза транспортным средством, контроль закрытия дверей транспортного средства, контроль местоположения транспортных средств и так далее.

Автоматизированная система управления транспортным средством позволяет:

- обнаруживать и оценивать угрозы и препятствия на пути движения транспортного средства с помощью машинного зрения и системы датчиков;
- автоматически информировать центральную систему управления о текущей логистической обстановке, о любом отказе и нештатной ситуации в транспортном средстве;
- автоматически оценивать деструктивные действия пассажиров в салоне посредством машинного зрения и системы датчиков.

**Конструктивная безопасность** – свойство транспортной системы предотвращать аварии, снижать тяжесть их последствий; аспект обеспечения безопасности, определяющий степень защищённости субъектов, объектов и окружающей среды от угроз, связанных с реализацией имеющихся или новых технологий в производственной деятельности.

Безопасность обеспечивается следующими элементами: противосходной системой; тормозной системой; противоюзной системой; системой автоматического пожаротушения; системой аварийного электропитания; дверной системой; безопасной компоновкой транспортного средства (потенциально опасное оборудование вынесено за пределы пассажирского модуля); аварийно-буксировочным устройством; прочностью несущих элементов конструкции; автономной системой эвакуации.

Под **транспортной безопасностью** понимается такое состояние защищённости интересов субъектов и объектов транспортного средства от различных внутренних и внешних угроз, при котором оно способно устойчиво и безопасно функционировать с минимальными затратами и максимальной эффективностью. Главной целью подготовки транспорта является обеспечение требуемой живучести транспортного комплекса SkyWay и надёжности эксплуатируемых объектов, сооружений и устройств. Организация подготовки транспорта имеет свои особенности, которые связаны с прогрессивными решениями, применяемыми в транспорте SkyWay, с техническими особенностями транспортных средств, а также направлена на сокращение сроков восстановления работоспособности, что достигается внедрением многофункциональных технических средств для выполнения транспортных и технологических операций.

**Экологическая безопасность** подвижного состава SkyWay обеспечивается не только конструктивными мероприятиями, составляющими ноу-хау компании, но и рядом организационных, направленных, прежде всего, на обеспечение экологической безопасности. Компания получила сертификаты соответствия системы экологического менеджмента на соответствие требованиям международного стандарта ISO 14001:2015 «Система экологического менеджмента. Требования и руководства по использованию национального стандарта» (сертификат № EMS41139, срок действия до 16.10.2020) и Национального стандарта СТБ ISO 14001-2017 «Система менеджмента окружающей среды. Требования и руководство по применению» (сертификат № ВУ/112 06.01. 003 00378 срок действия до 10.11.2020).

Таким образом, реализация вышеперечисленных направлений в сфере безопасности подвижного состава SkyWay на стадиях проектирования, изготовления и последующей эксплуатации позволяет обеспечить безопасность перевозок не ниже, чем традиционными видами рельсового транспорта (железнодорожный транспорт, метрополитен и трамвай) и значительно выше, чем автомобильным.

УДК 629.451

## ПРОВЕДЕНИЕ ИСПЫТАНИЙ ПО ОЦЕНКЕ УРОВНЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ШТАБНОГО ВАГОНА

*М. А. ЮХНЕВСКИЙ, А. О. МЕЙСТЕР, А. В. ЮХНЕВСКИЙ  
АО НО «Тверской институт вагоностроения», Российская Федерация*

Тверской вагоностроительный завод разработал и изготовил новую конструкцию двухэтажного вагона модели 61-4524. Отличительной его особенностью от прежних моделей является наличие купе для инвалида и сопровождающего лица. Номинальная вместимость вагона – 52 человека, из них 50 – пассажиры, 2 – обслуживающий персонал. Вариант планировки первого этажа показан на рисунке 1.

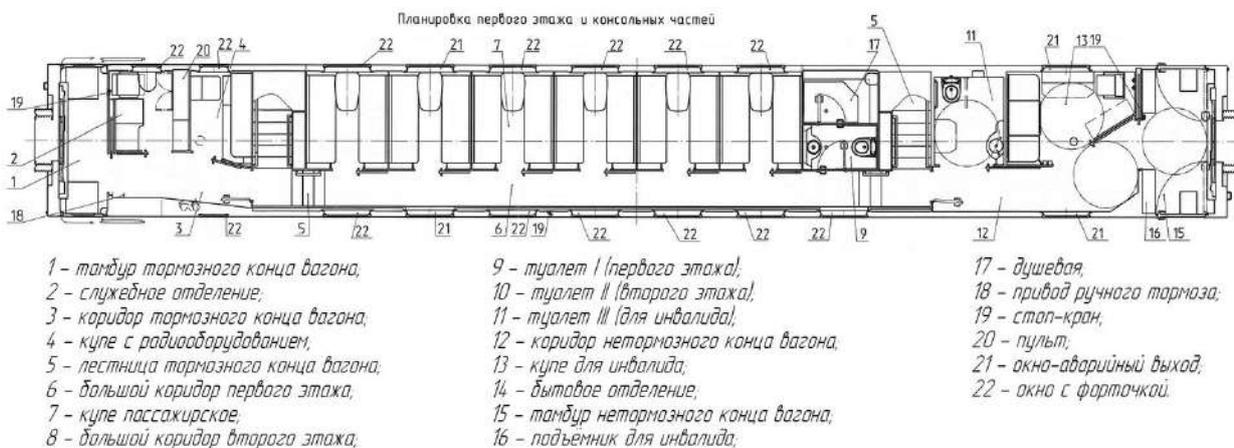


Рисунок 1 – Планировка первого этажа вагона модели 61-4524

С целью обеспечения требуемого уровня пожарной безопасности в соответствии с [1] для отделки и внутреннего оборудования использованы современные материалы пониженной горючести, установлены противопожарные преграды. Вагон оборудован системой пожарной сигнализации и системой водяного пожаротушения. На каждом этаже через окна оборудованы дополнительные аварийные выходы (всего шесть).

Для проверки эффективности предложенных противопожарных мероприятий были проведены натурные огневые испытания полномасштабного макета, имитирующего два купе первого этажа. Для оборудования макета использовались материалы и конструкции, соответствующие технической документации на вагон.

Так, перегородки, обшивка боковых стен, мебель, обрешетка были изготовлены из трудногорючей фанеры. Бумажно-слоистый пластик «Слопласт ТТ» использовался для облицовки перегородок, дверей, трудногорючий стеклопластик – для облицовки панелей боковых стен, карнизов. Для изготовления мебели применены трудновоспламеняемая искусственная кожа «Treartex», пенополиуретан эластичный, материал огнестойкий нетканый «Огнетекс-А», стеклоткань водоогнестойкая ТАФ. Схема макета (одного купе) показана на рисунке 2. В макете установлены серийные окна, пожарная сигнализация, включающая пожарные извещатели и прибор приёмно-контрольный пожарный.

При испытаниях контролировались следующие параметры:

- температуры в объеме купе и на путях эвакуации;
- время срабатывания пожарной сигнализации (по температуре и по дыму);
- потеря видимости (задымленность);
- визуальная оценка характера распространения горения в купе.

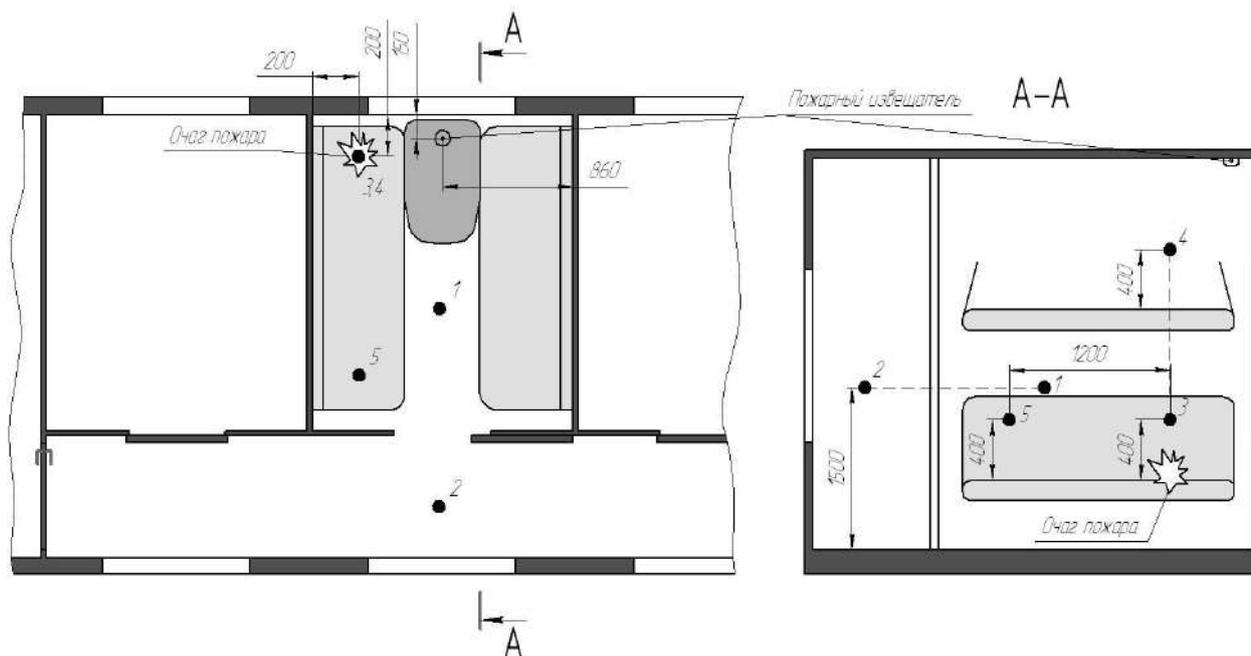


Рисунок 2 – Размещение термпар пожарных извещателей и очага пожара в макете

Внутри макета создавался очаг пожара с использованием «подушки» из газетной бумаги весом 100 г (памятка UIC 564-20R), что соответствует (исходя из удельной теплоты сгорания) 47 граммам спирта или 34 граммам бензина. Очаг пожара располагался на нижней полке (см. рисунок 2) на расстоянии  $200 \pm 30$  мм от окна и от перегородки. Всего было проведено три опыта: первый – с одной подушкой, второй – с двумя, третий – с пятью.

В результате проведенных испытаний было установлено, что максимальные температуры во всех опытах на путях эвакуации (термпары 2, 5) не превышали  $70$  °C (таблица 1).

Таблица 1 – Максимальная температура во время опытов

В градусах Цельсия

Номер опыта	Номер термопары				
	1	2	3	4	5
1	47	26	27	101	26
2	66	29	31	245	32
3	133	30	50	290	69

Время срабатывания пожарной сигнализации во время опытов указано в таблице 2.

Таблица 2 – Время срабатывания пожарной сигнализации

В секундах

Опыт 1		Опыт 2		Опыт 3	
По дыму	По росту температуры	По дыму	По росту температуры	По дыму	По росту температуры
245	65	97	44	60	19

В третьем опыте установлено прогорание огнезащитного материала «Огнетекс-А» и частичное проплавление пенополиуретана вкладыша-матраса. Активного горения в купе, разрушения полки, столика, перегородки и сильного задымления не наблюдалось.

Таким образом, применение для отделки и оборудования вагонов материалов пониженной горючести позволяет даже при достаточно большом тепловом импульсе существенно снизить вероятность возникновения и уровень развития пожара в вагоне.

#### Список литературы

1 ГОСТ Р 55183–2012 Вагоны пассажирские локомотивной тяги. Требования пожарной безопасности» М. : Стандартинформ, 2013. – 18 с.

# ТРАНСПОРТНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПРИ УГРОЗЕ И ВОЗНИКНОВЕНИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

УДК 621.7:658.51

## СНИЖЕНИЕ РИСКОВ ПРОСТОЯ ПРЕДПРИЯТИЯ ИЗ-ЗА НЕСВОЕВРЕМЕННОЙ ПОСТАВКИ ПРОДУКЦИИ (СЫРЬЯ)

*Н. С. БАБИЧ*

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

Несвоевременные поставки сырья, особенно на жизнеобеспечивающие предприятия, по вине транспортных систем может привести к тяжёлым техническим, экономическим и людским потерям. Поэтому во избежание критических ситуаций по причине воздействия форс-мажорных факторов на предприятиях и создаются соответствующие запасы. Слишком низкий уровень запаса, в условиях форс-мажора не позволит избежать тяжёлых последствий, типа указанных выше. Повышенный уровень запаса приводит к омертвлению материальных средств и ложится тяжёлым экономическим бременем, приводит к тяжёлым последствиям.

Таким образом к уровню запаса предъявляются противоречивые требования, а задача логистики состоит в разумном их сочетании. Это приводит к появлению большого количества методик и систем управления запасами (СУЗ) в экономически развитых странах, в частности, таких как в США – Economic Ordering Quantity model (EOQ), Material Requirements Planning (MRP), в странах ЕС – Lean production, Enterprise Resource Planning (ERP), в Японии – Канбан.

В опубликованной литературе обращают на себя внимание такие системы управления запасами, как DDT – «Demand-driven Techniques/Logistics» (Логистика, ориентированной на спрос), RP–Requirements/resource planning (Планирование потребностей/ресурсов), rules based reorder (RBR) (Правило пополнения запасов, основанное на точке заказа/перезаказа), quick response (QR) (Метод быстрого реагирования), continuous replenishment (CR) (Непрерывное пополнение), automatic replenishment (AR) (Автоматическое пополнение), Effective Customer Response (ECR) (Эффективная реакция на запросы потребителей), Vendor Managed Inventory (VMI) (Управление запасами поставщиком), JIT II, системы CSRP-класса, APS/SCM System (Система расширенного планирования и диспетчерирования), JIS (Just-in-sequence) (Система «Точно в заданной последовательности»), SCP (Supply Chain Planning) (Система планирования цепей поставок), SRM (Supplier Relationship Management) (Управление взаимодействиями с поставщиками), CRM (Customer Relationship Management) (Управление взаимодействиями с потребителями), Lean Production + Six σ (Бережливое производство + Шесть сигм), CPFR (Collaborative Planning, Forecasting and Replenishment) (Совместное планирование, прогнозирование пополнение запасами), S&OP (Sales and Operation Planning (Планирование продаж и операций), VMI (Vendor Managed Inventory) (Управление поставщиком запасами потребителя).

Необходимо отметить, что XXI век принес мощные алгоритмы и технологии планирования. Начался новый век планирования, основанный на объективных согласованных моделях цепей поставок, продвинутых алгоритмах оптимизации мощных системах сбора и обработки информации. В настоящее время на предприятиях в логистических системах управления запасами используют сложнейшие модели планирования ключевых бизнес-процессов. Развитием техник совместного принятия решений, моделированием общего бизнеса, балансирующие и многоструктурные модели планирования усложняются смешанностью методик и задач планирования.

Потребность в глубоком взаимодействии контрагентов цепей поставок, интеграция процессов различных элементов цепи, развитие технологий совместных принятий решений между контрагентами цепи поставок в планировании увеличивают глубину взаимодействия между участниками цепи поставок.

Обилие методик, с одной стороны, повышает качество взаимодействия в системе «поставщик – потребитель», с другой – указывает на сложность проблемы оптимизации системы управления запасами. Несмотря на обилие методик СУЗ по данным работ, даже в хорошо отлаженных системах, напри-

мер в фирме «Toyota», стоимость запасов деталей на один автомобиль расход составляет 77 \$, а в Америке 500 \$.

В Российской Федерации с её дорожно-транспортной сетью далеко не самого высшего качества, в сравнении с дорогами развитых промышленных стран, этот показатель ещё выше.

Таким образом, задача оптимизации системы управления запасами далека от своего завершения, что и объясняет интерес автора к данной задаче.

УДК 625.8

## **ТРАНСПОРТНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПРИ УГРОЗЕ И ВОЗНИКНОВЕНИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ**

*И. А. БАГАРЕВИЧ, И. С. ГАРЕЛИК*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Землетрясение – подземные толчки и колебания земной поверхности, возникающие в результате внезапных смещений и разрывов в земной коре и верхней мантии и передающиеся на большие расстояния.

Интенсивность землетрясения – качественная характеристика землетрясения, указывающая на характер и масштаб воздействия землетрясения на естественные и искусственные сооружения, в том числе железнодорожную инфраструктуру, людей и животных, земную поверхность. Измеряется в баллах по шкале MSK-64.

*Таблица 1 – Характеристика землетрясений по шкале MSK-64*

Балл	Сила землетрясения	Краткая характеристика разрушений
1	Не ощущается	Не ощущается. Отмечается только сейсмическими приборами
2	Очень слабые толчки	Отмечается сейсмическими приборами. Ощущается только отдельными людьми, находящимися в состоянии полного покоя в верхних этажах зданий
3	Слабое	Ощущается только внутри некоторых зданий, как сотрясение от грузовика
4	Интенсивное	Распознаётся по лёгкому дребезжанию и колебанию предметов, посуды и оконных стёкол. Внутри здания сотрясение ощущает большинство людей
5	Довольно сильное	Под открытым небом ощущается многими, внутри домов – всеми. Общее сотрясение здания, колебание мебели. Трещины в оконных стёклах и штукатурке. Ощущается людьми и вне зданий
6	Сильное	Ощущается всеми. Отдельные куски штукатурки откалываются
7	Очень сильное	Повреждения (трещины) в стенах каменных домов. Антисейсмические, а также деревянные и плетневые постройки остаются невредимыми
8	Разрушительное	Трещины на крутых склонах и на сырой почве. Памятники сдвигаются с места или опрокидываются. Дома сильно повреждаются. Падают фабричные трубы
9	Опустошительное	Сильное повреждение и разрушение каменных домов. Старые деревянные дома кривятся
10	Уничтожающее	Трещины в почве иногда до метра шириной. Оползни и обвалы со склонов. Разрушение каменных построек. Искривление рельсов
11	Катастрофа	Широкие трещины в поверхностных слоях земли. Многочисленные оползни и обвалы. Каменные дома почти полностью разрушаются. Сильное искривление рельсов, разрушаются мосты
12	Сильная катастрофа	Изменения в почве достигают огромных размеров. Многочисленные трещины, обвалы, оползни. Возникновение водопадов, отклонение течения рек. Ни одно сооружение не выдерживает

При получении информации о землетрясении интенсивностью до 4 баллов включительно дежурный специалист отдела гидрометеорологии Управления пути и сооружений докладывает начальнику Управления пути и сооружений Центральной дирекции инфраструктуры – филиала «БЖД», диспетчерскому аппарату Ситуационного центра мониторинга и управления чрезвычайными ситуациями, диспетчеру службы пути дирекции инфраструктуры, в районе которой зафиксировано землетрясение.

При получении информации о землетрясении интенсивностью в эпицентре от 4 баллов и более, оперативный специалист отдела гидрометеорологии Управления пути и сооружений обязан незамедлительно поставить в известность начальника Центральной дирекции инфраструктуры, его заместителей, начальника Управления пути и сооружений, его заместителей; начальника отдела

гидрометеорологии; начальников Управления вагонного хозяйства, Управления автоматики и телемеханики, Управления электрификации и электроснабжения, Службы механизации, Службы диагностики и мониторинга инфраструктуры, главного диспетчера «БЖД», диспетчерский аппарат Ситуационного центра мониторинга и управления чрезвычайными ситуациями, Центральную станцию связи. При получении информации о землетрясении из средств массовой информации, дежурный специалист отдела гидрометеорологии Управления пути и сооружений обязан принять все меры к подтверждению информации о землетрясении.

#### **Порядок работы при получении оповещения о землетрясении**

В целях обеспечения безопасности движения поездов на сейсмоопасных участках железных дорог и своевременного оповещения причастных служб при получении информации о землетрясении установить следующий порядок: при землетрясениях интенсивностью до 4 баллов включительно эксплуатация железных дорог осуществляется обычным порядком в соответствии с Правилами технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации.

При землетрясении 4 балла и более силами командного состава дистанций пути, энергоснабжения, СЦБ и связи, гражданских сооружений немедленно производится осмотр пути, искусственных сооружений, зданий, устройств связи и СЦБ, контактной сети и других обустройств, а также осматриваются скально-обвальные и лавиноопасные участки, высокие насыпи на оползневых косогорах, принимаются меры по устранению выявленных повреждений.

В случае землетрясений интенсивностью 5 баллов и более движение поездов должно осуществляться с ограничением скорости до 50 км/ч.

При землетрясениях 6 баллов и более движение поездов прекращается. Поездам, находящимся в тоннелях разрешается следовать со скоростью не более 15 км/ч – для выхода из тоннелей. Участки пути, где обнаружены повреждения, угрожающие безопасности движения поездов, ограждаются.

Нормальный режим эксплуатации восстанавливается после освидетельствования пути, сооружений и других устройств, при отсутствии или устранении повреждений, вызванных землетрясением.

УДК 625.8

## **ОЦЕНКА БЕЗОТКАЗНОЙ РАБОТЫ НЕСУЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ ТАБЕЛЬНЫХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ МОСТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ И ПРОГРАММНЫХ ПРОДУКТОВ**

*С. М. БОБРИЦКИЙ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

На современном этапе развития транспортных войск Республики Беларусь и железнодорожных войск Российской Федерации активно производится переоснащение мостовых железнодорожных частей новыми табельными железнодорожными мостами МЛЖ-ВТ-ВФ и ИМЖ-500. В то же время имеющиеся табельные железнодорожные мосты РЭМ-500 и НЖМ-56 (далее – табельные мосты) не исключены из табеля мостовых железнодорожных частей и должны соответствовать предъявляемым к ним требованиям по обеспечению безопасного пропуска подвижной автомобильной и железнодорожной нагрузок. Основная проблема в использовании РЭМ-500 и НЖМ-56 по назначению состоит в том, что данное табельное имущество спроектировано и изготовлено в конце 50-х гг. прошлого века и имеющийся значительный эксплуатационный износ в условиях хранения и периодической эксплуатации требует оценки грузоподъемности несущих элементов. Под несущими элементами понимаются: пролетные строения; рамные опоры (надстройки); понтоны; соединительные элементы.

Своевременная диагностика несущих элементов табельных мостов является весьма актуальной задачей и от правильного подбора диагностических приборов и программного обеспечения расчетов зависит достоверность полученных результатов.

В настоящих тезисах автором предлагается рассмотреть один из подходов к проведению оценки безотказной работы несущих элементов табельных железнодорожных мостов. В качестве объекта диагностики выступает пролетное строение РЭМ-500, средствами диагностики использовались

приборы: толщиномер покрытий ТМ-50МГ4, ультразвуковой толщиномер УТМ-МГ4 и твердомер портативный динамический Константа ТУ. Расчетным инструментарием выступает среда разработчи графических трехмерных инженерных систем Autodesk Inventor (рекомендуется ANSYS).

Типовую последовательность действий по статистическому расчету несущих элементов табельных мостов в среде Autodesk Inventor можно представить в виде схемы (рисунок 1).

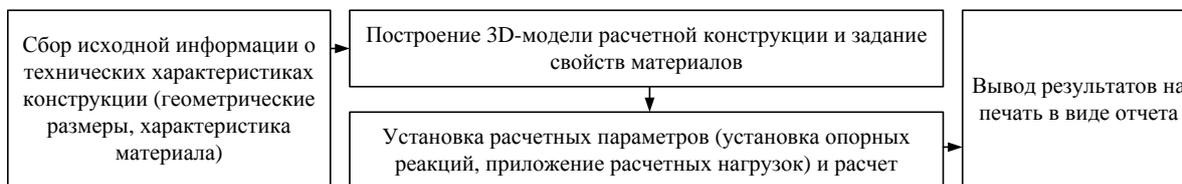


Рисунок 1 – Последовательность действий по статистическому расчету элементов конструкций и мостовых сооружений в среде Autodesk Inventor

В качестве исходных данных для построения расчетной трехмерной модели использовались конструктивные размеры главной балки пролетного строения РЭМ-500 принятые из [1] и уточненные с использованием приборов УТМ-МГ4 и ТМ-50МГ4. Прочностные характеристики элементов главной балки могут быть приняты также из [1], однако автором предлагается определять их с реальной конструкции посредством снятия и обработки статистических данных с использованием твердомера «Константа ТУ» (рисунок 2) или других аналогов.

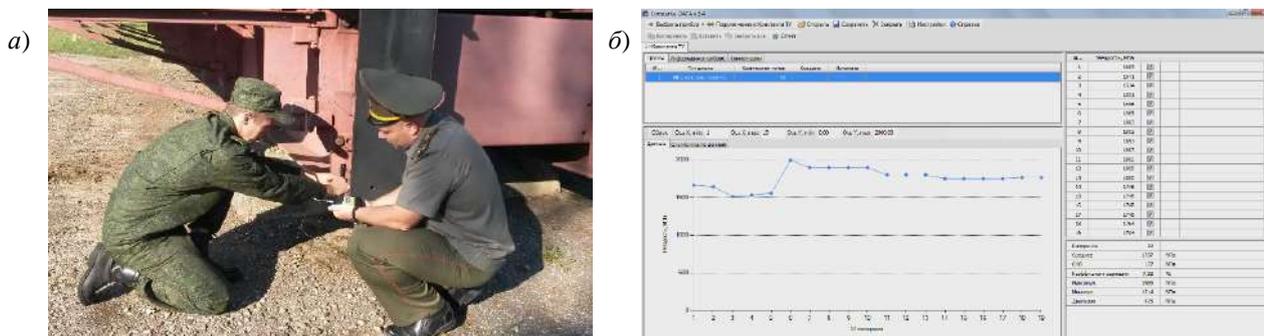


Рисунок 2 – Проведение диагностики главной балки пролетного строения РЭМ-500 в полевых условиях:  
 а – снятие геометрических и прочностных характеристик с помощью измерительного инструмента и твердомера «Константа ТУ»;  
 б – обработка статистических данных прочностных характеристик с помощью программы Constanta-DATA v.3.4

Полученные показатели твердости стали пролетного строения по Бринеллю или прочностные характеристики с использованием твердомера «Константа ТУ» корректируются с помощью эмпирических коэффициентов, представленных в таблице 1 [2]. В последующем значения расчетных сопротивлений формируют характеристику исследуемой стали в программном продукте Autodesk Inventor.

Таблица 1 – Расчетные сопротивления стали для конструкций временных и краткосрочных мостов (выдержки из [2])

Сталь	Расчетное сопротивление, МПа		
	на общую устойчивость $R_y$	на прочность и устойчивость	
		при действии осевых сил $R_o$	при изгибе $R_{II}$
Немаркированная, испытанная в полевых условиях с определением твердости по Бринеллю $HV$	$0,125HV$	$0,14HV$	$0,145HV$
Сталь марок немаркированная, испытанная с определением предела текучести, $\sigma_T$	$0,75 \sigma_T$	$0,85 \sigma_T$	$0,9 \sigma_T$

Собранная и обработанная информация геометрических и прочностных характеристик является исходным материалом для проектирования трехмерной модели главной балки пролетного строения РЭМ-500. Далее задаются сосредоточенные расчетные нагрузки с приложением в середину главной балки и опорные реакции на концах нижних частей и обоих торцов балки.

В качестве математического аппарата для статического расчета используется заложенный в Autodesk Inventor метод конечных элементов, частичные результаты которого (изгиб) приведены на рисунке 3.

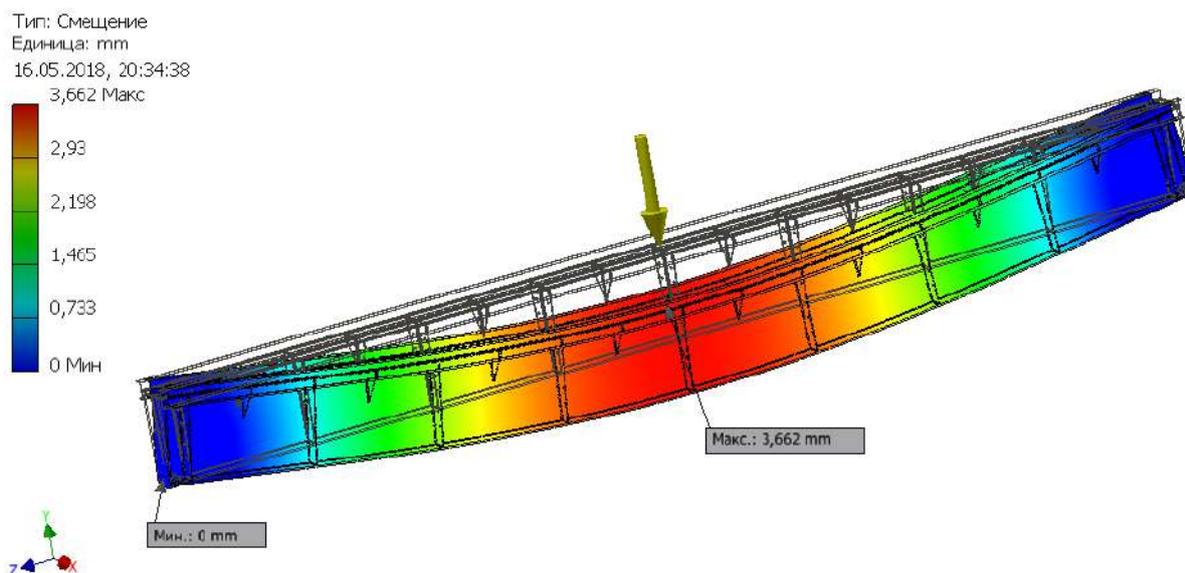


Рисунок 3 – Статистический расчет главной балки пролетного строения РЭМ-500 методом конечных элементов при заданных параметрах

Результаты расчета, представленные в визуальном сопровождении позволяют увидеть не только минимальные и максимальные перемещения, но и зоны напряжения самой конструкции балки РЭМ-500, что дает представление о работе конструкции под нагрузкой.

Таким образом, на основе изложенного выше примера можно достаточно эффективно и с требуемой достоверностью прогнозировать безотказность работы несущих элементов табельных мостов.

В качестве дальнейшего совершенствования в направлении данной работы предлагается произвести подбор оптимального математического аппарата для проведения динамических расчетов на несущие элементы табельных мостов от подвижных нагрузок. Инструментарием по расчету предполагается использование программного продукта ANSYS.

Изложенные в тезисах проблемные вопросы и пути их решения позволят осуществлять безопасное использование имеющихся на вооружении транспортных войск Республики Беларусь табельных железнодорожных мостов по назначению. Кроме того, большой интерес к использованию пролетных строений РЭМ-500 и НЖМ-56 в капитальном и временном строительстве мостов на автомобильных дорогах имеет Министерство транспорта и коммуникаций Республики Беларусь.

#### Список литературы

- 1 Металлическая эстакада РЭМ-500: Техническое описание и инструкция по монтажу, перевозке, хранению и эксплуатации / Главное управление ЖДВ. – М. : ГУ ЖДВ, 1976. – 328 с.
- 2 Инструкция по проектированию железнодорожных временных и краткосрочных мостов и труб (ПВКМ). – М. : МТС, 1982. – 216 с.

УДК 625.8

## ЧРЕЗВЫЧАЙНЫЕ СИТУАЦИИ ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРА, СВЯЗАННЫЕ С ТРАНСПОРТОМ

*А. А. БОНДАРЕНКО, А. А. НЕСТЕР*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Жизнь современного общества невозможна без транспорта. Современные транспортные средства обеспечивают скорость, комфортабельность, безопасность передвижения. Наряду с этим они являются причиной возникновения ЧС, в результате которых травмируются и гибнут люди, повреждаются или уничтожаются транспортные средства и перевозимые грузы, наносится ущерб окружающей природной среде. Особенностью современного транспорта является его большая насыщенность электроэнергией. Наиболее электроемкими видами транспортных средств являются трамвай, троллейбус, метрополитен и железнодорожный транспорт.

Для того чтобы сократить число ЧС на транспорте и их последствия, необходимо знать и строго соблюдать требования по эксплуатации транспортных средств, правила дорожного движения, правила поведения пешеходов и пассажиров, уметь правильно действовать в случае возникновения ЧС на транспорте.

Основным средством для перевозки пассажиров и грузов на небольшие расстояния (100–200 км) является автомобильный транспорт. В нашей стране на его долю приходится более 50 % объема всех пассажирских и 75 % грузовых перевозок.

Автомобильный транспорт занимает лидирующее положение по числу ЧС и количеству человеческих жертв. Автотранспортный травматизм занимает третье место в мире среди причин смертности населения.

**Основные причины ДТП:** незнание или нарушение правил дорожного движения (75 %); неисправность транспортного средства, плохое состояние дороги, неумение ориентироваться в сложной обстановке, неблагоприятные погодные условия: туман, гололед, дождь, снегопад.

В транспортной системе России лидирующую позицию по количеству перевозимых грузов и пассажиров занимает железнодорожный транспорт. Железнодорожный транспорт является потенциальным источником возникновения ЧС с большим числом пострадавших, значительным материальным ущербом, наступлением неблагоприятных экологических и санитарно-гигиенических последствий.

Железнодорожная авария – авария на железной дороге, повлекшая за собой повреждение одной или нескольких единиц подвижного состава железных дорог; гибель людей; причинение пострадавшим телесных повреждений различной степени тяжести либо полное прекращение движения.

Авария может сопровождаться возникновением химической, радиационной, пожаровзрывоопасной и другой ЧС. Железнодорожный транспорт представляет собой угрозу для пассажиров, работников железной дороги и для населения, проживающего в непосредственной близости от железнодорожных путей, вокзалов, депо. Зонай повышенной опасности является железнодорожный путь, особенно в местах пересечения железной дороги с автодорогой или улицей. Такое пересечение устраивается в местах хорошей видимости. Приближающийся поезд должен быть виден на менее чем за 400 метров. Переезд должен быть оборудован звуковой и световой сигнализацией, шлагбаумом, в последнее время дополнительно устанавливаются поднимающиеся мостки.

Катастрофы на железнодорожном транспорте могут возникать при действии внешних поражающих факторов (в зонах стихийных бедствий, техногенных катастроф), а также в результате нарушения требований технической эксплуатации, ошибки диспетчеров, невнимательность и халатность машинистов, несвоевременного и некачественного технического обслуживания путевого хозяйства, неисправность пути, нарушений отправителями требований безопасности к транспортировке грузов, особенно взрывчатых, легковоспламеняющихся. Известны катастрофы, причинами которых являются террористические акции.

#### Список литературы

- 1 Безопасность жизнедеятельности : учеб. для вузов / под ред. Л. А. Михайлова. – 2-е изд. – СПб. : Питер, 2008. – 461 с.
- 2 **Емельянов, В. М.** Защита населения и территорий в чрезвычайных ситуациях : учеб. пособие для высшей школы / В. М. Емельянов, Н. В. Коханов, П. А. Некрасов ; под ред. В. В. Тарасова. – 4-е изд., доп. и испр. – М. : Академический Проект, 2007. – 496 с.
- 3 **Петров, С. В.** Опасные ситуации техногенного характера и защита от них / С. В. Петров, В. А. Макашев. – М., 2008. – 191 с.
- 4 **Алексеев, В. С.** Безопасность жизнедеятельности: конспект лекций / В. С. Алексеев, О. И. Жидков, Н. В. Ткаченко. – М. : Эксмо, 2008. – 160 с.

УДК 656.072.003

### АНАЛИЗ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ВОЗМОЖНЫХ ВЕРОЯТНЫХ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ, ВЫЗВАННЫХ МЕТЕОУСЛОВИЯМИ, НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ УЧАСТКАХ БЕЛОРУССКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

*Е. В. ВИНИЧЕНКО*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Чрезвычайные ситуации на участках Белорусской железной дороги могут возникнуть в результате неблагоприятных метеорологических условий, таких как выпадение осадков больше нормы, разливы рек и т. п., что в дальнейшем требует проведения рекультивации и восстановления осно-

вания железнодорожного пути. Среди таких ситуаций следует выделить образование балластных корыт, ложе, мешков и гнезд, появление весенних просадок земляного полотна и пучин и т. п., причины, возникновения которых и способы их устранения приведены в таблице 1.

Большинство проводившихся исследований, учитывающих факторы эксплуатационной нагрузки, касались в основном характера усадки и не давали объективной качественной оценки. Однако в работах некоторых специалистов США рассматриваются различные виды загрязнения балласта. В частности, исследована роль мелких частиц размером менее 9,2 мм, которые составляют 76 % общего объема загрязнений. В других исследованиях рассматривали поведение балласта на участках тяжеловесного движения с осевой нагрузкой до 39 т. Следует подчеркнуть, что на участках происходит непосредственное вторжение в геологическую среду на значительном протяжении, что оказывает воздействие на естественные экзогенные геологические процессы. В связи с этим для учета изменения регенеративных свойств биоты, могут быть применены следующие показатели:

- *степень концентрации стока* поверхностных вод (уровнем, режимом движения поверхностных и грунтовых вод) при устройстве водопропускных и водоотводных сооружений;
- *изменение микроклимата в зоне участка* (скоростью и направлением движения воздуха, влажностью).

Таблица 1 – Чрезвычайные ситуации, вызванные неблагоприятными метеоусловиями

Чрезвычайные ситуации	Причина возникновения	Способы устранения
Образование балластных корыт, ложе, мешков и гнезд	Понижение несущей способности грунтов, вследствие их переувлажнения, неудовлетворительного состояния балластной призмы земляного полотна и водоотводных устройств	Осушение разжиженной зоны балластной призмы и восстановления водоотведения по кюветам, лоткам, канавам, дренажам с последующей рекультивацией на полосе отвода
Появление весенних просадок земляного полотна и пучин	Снижение несущей способности оттаивающих грунтов на участках с интенсивным неравномерным и равномерным пучением или неудовлетворительный отвод грунтовых и поверхностных вод, а также неравномерное оттаивание грунта вдоль пути	Отвод воды от балластного слоя и с обочин, регулярная очистка кюветов и канав от загрязнителей, льда, снега с недопущением застоев воды, а также устранение отступлений пути по уровню и в профиле
Проявление сплывов откосов выемок и насыпей	Появление потеков разжиженной массы, а затем смещение верхних слоев грунта толщиной 0,3–0,6 м до 1–2 м в результате промерзания и оттаивания грунта	Проведение расчистки поврежденных или загроможденных канав, кюветов, лотков; пропуск застойных вод от земляного полотна и уборка сплывших масс грунта с устранением трещин, бессточных впадин, планировкой откосов

Таким образом, анализ и применение данных показателей на практике позволит получить достоверную информацию о возможных изменениях в экосистемах и разработать проект по рекультивации по укреплению балластной призмы с учетом региональных природно-климатических условий и месторасположения участка и не допустить чрезвычайные ситуации, которые могут возникнуть в результате неблагоприятных метеорологических условий.

#### Список литературы

- 1 Железнодорожный путь / Т. Г. Яковлева [и др.]; под ред. Т. Г. Яковлевой. – М. : Транспорт, 1999. – 405 с.
- 2 Трофименко, Ю. В. Экология: транспортное сооружение и окружающая среда / Ю. В. Трофименко, Г. И. Евгеньев. – М. : Изд. центр «Академия», 2006. – 400 с.
- 3 Трофименко, Ю. В. Биологические методы снижения загрязнения придорожной полосы / Ю. В. Трофименко, А. В. Лобиков. – М. : Информавтодор, 2001. – 96 с.
- 4 Луканин, В. Н. Промышленно-транспортная экология : учеб. для вузов / В. Н. Луканин, Ю. В. Трофименко. – М. : Высш. шк., 2001. – 273 с.

**ЗАЩИТА СТАЛЬНЫХ МОСТОВ ОТ КОРРОЗИИ***В. Н. ВОРЕПО**Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель**Г. И. НАРСКИН, С. В. МЕЛЬНИКОВ**Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины, г. Гомель*

Меры борьбы с ржавлением металлов разнообразны: на поверхности металла создают слой окислов (оксидирование и воронение), главным образом из магнитной окиси железа; вводят в металл легирующие добавки – никель, медь и хром; покрывают пленками другого расплавленного металла (оцинкование, лужение и т. д.). Наиболее распространенными способами борьбы с ржавлением конструкций стальных мостов является защита стали лакокрасочными материалами, устройство хорошо обтекаемых конструкций, по возможности без пазух, конструктивных «мешков», корытообразных профилей и т. д.

Подготавливая стальные элементы к окраске, очищают их поверхность от грязи, пыли, минеральных масел, поврежденной старой краски и ржавчины. Пыль и грязь с поверхности элементов счищают водой и сжатым воздухом. Металл, загрязненный маслом, очищают бензином. Старую краску удаляют, если она имеет ржавые пятна, вспучивание, рыхлые слои, а также сквозные трещины в слое краски и плохое сцепление с металлом. Участки с хорошим слоем краски оставляют, но для удаления выветрившегося слоя и лучшего сцепления с новой краской их обрабатывают металлическими щетками, смачиваемыми скипидаром или уайт-спиритом. От качества выполнения этих работ зависит не только долговечность окраски, но и срок службы сооружений. Если окрашиваемая поверхность плохо очищена от ржавчины и старой краски, то любая краска не сможет предупредить ржавление стали. Если нанести на рыхлую, потрескавшуюся или вспученную старую краску новую, то она окажется непрочной и не будет предохранять металл от ржавления.

Рабочие, занимающиеся очисткой поверхностей от свинцовых красок, должны быть обеспечены респираторами.

Очистку выполняют, как правило, механизированно и только в отдельных случаях при малых объемах работ вручную проволочными щетками и скребками. Для механизированной очистки используют пескоструйные аппараты, механические щетки и специальные электроинструменты. Электроинструмент И-109 для очистки ржавчины имеет следующие показатели:

С разрешения вышестоящей организации и особой необходимости могут применяться огневые и химические способы очистки металла от старой краски. При химическом способе очистки рекомендуется применять смывки марки СМ-6 по МРТУ 8-10-641-67.

Смывку наносят на поверхность изделия кистью или щеткой плотным слоем и в зависимости от толщины старой краски – в несколько приемов, а после разрыхления или вспучивания старого лакокрасочного покрытия его удаляют щетками или шпателем. Затем для удаления с поверхности металла едкого натра, образующегося под воздействием смывки, эту поверхность (особенно в щелях и пазухах) тщательно промывают водой и 10%-ным раствором серноокислого аммония.

Принимать работы по очистке надо до нанесения грунтовки. Особое внимание нужно обращать на качество очистки в труднодоступных местах. Для сварных мостов тщательный осмотр после очистки поверхности от старой краски имеет особое значение, так как в этом случае можно обнаружить появившиеся в процессе эксплуатации скрытые дефекты в швах. Эти дефекты надо устранять до окраски. Если очищенная поверхность не может быть загрунтована в день очистки, ее покрывают тонким слоем олифы, а в случае перерыва более трех суток очистку повторяют.

Для производства окраски сразу же после проверки качества очистки и не позднее 2 ч с момента ее окончания грунтуют насухо вытертую поверхность. При малых объемах работ грунтовку наносят кистью тонким слоем с тщательной растушевкой. Поверхности с хорошо сохранившейся краской не грунтуют, а окрашивают одновременно с загрунтованной поверхностью. При больших объемах работ грунтовку производят распылителями. Шпаклевку приготавливают из натуральной олифы, молотого мела и свинцового сурика, принимая их в количестве по массе соответственно 15 : 60 : 25. При отсутствии свинцового сурика шпаклевку можно приготовить из натуральной олифы и мела (состав 17:83). Кусковой мел перемалывают и после просушки просеивают через сито с 400 отверстиями на 1 см<sup>2</sup>. Все зашпаклеванные просохшие щели и углубления покрывают олифой.

Окраску и грунтовку поверхностей стальных пролетных строений надо выполнять только летом, в сухую погоду.

Слои краски, нанесенные на предварительно загрунтованную поверхность, принимают в количестве не меньше двух для всех легко проветриваемых элементов и соединений, в которых не может скопиться влага, а в остальных местах – три слоя. Чтобы краска не стекала с окрашиваемых вертикальных поверхностей при температуре наружного воздуха около +25°, количество олифы, добавляемой в краску при ее разведении, уменьшают на 4–5 % для грунтовки и первого слоя и на 8–10 % для второго слоя. Во избежание сморщивания слоя краски температура окрашиваемой поверхности и краски должна быть примерно одинаковой. Для этого готовую краску перед употреблением выдерживают некоторое время на воздухе. Поверхности, нагреваемые солнцем, рекомендуется окрашивать в вечернее время.

При окраске вручную краску в ведре необходимо перемешивать примерно 1 раз в 5–10 мин (перемешивать кистью не допускается). Нанесенную на поверхность краску необходимо растушевать кистью сначала в горизонтальном, а потом в вертикальном направлениях (или наоборот) с таким расчетом, чтобы слой ее был по возможности тонким и ровным. В толстом слое краски при просыхании на вертикальных поверхностях часто образуются подтеки, складки, а иногда и трещины.

В последнее время для окраски конструкций со сплошными балками начали применять установки безвоздушного распыления типа УБРХ-1М. Краска в них при выходе из сопла пистолета не распыляется, а подается на окрашиваемую поверхность под большим давлением и равномерно распределяется без потерь, которые свойственны воздушному распылению. Производительность установок безвоздушного распыления 400–500 м<sup>2</sup>/ч, для ее питания необходимо давление 2–5,5 кгс/см<sup>2</sup> и расход воздуха до 3,8 м<sup>3</sup>/мин. Пневмогидравлический насос высокого давления развивает давление на краску до 190 кгс/см<sup>2</sup> до выхода ее из сопла.

По окончании окрасочных работ в книге искусственных сооружений указывают дату окраски, способы очистки и окраски, тип примененных лакокрасочных материалов для грунтовочных и покровных слоев, погодные условия, результаты контроля качества красок и работ и другие данные.

При окраске нужно руководствоваться соответствующими правилами техники безопасности.

Контроль качества работ по окраске элементов стальных мостов начинается с подготовки поверхностей и до окончания окраски; проверяют и качество красок. Перед нанесением первого из верхних слоев должно быть проверено качество шпаклевки щелей и местных углублений. В процессе окраски необходимо следить, чтобы:

1) образовавшаяся пленка перед употреблением краски была снята, а краска размешана до полной однородности и процежена; 2) краска была нанесена тонкими ровными слоями без пропусков и потеков и точно соответствовала заданному образцу краски; 3) через нанесенный слой краски не просвечивались металл, грунтовка или нижележащий слой краски; 4) последующие слои наносились примерно через сутки и только после просыхания слоя, проверки качества окраски и приемки его по акту.

Общую приемку окраски моста проводят спустя двое суток после нанесения последнего слоя.

Качество окраски проверяют следующими способами:

1) высыхание – при нажиме пальцем не должно оставаться отпечатка, пленка не должна давать отлипа; 2) эластичность пленки – при срезании пленки острым ножом должна получиться эластичная стружка, которая не слипается и не крошится; 3) наружные дефекты – внешним осмотром; 4) укывистость пигмента – внешним осмотром, при этом через краску не должен просвечивать металл, грунт или нижележащий слой краски.

УДК 625.8

## **ПРОБЛЕМЫ ПРАВОВОЙ РЕГЛАМЕНТАЦИИ БЕЗОПАСНОСТИ ТРАНСПОРТНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ**

*И. С. ГАРЕЛИК*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В современном мире уровень развития любого государства во многом определяется состоянием его безопасности во всех сферах экономики, в том числе, и транспортной. Безопасность транспортной деятельности, связанная с перевозкой грузов, пассажиров и багажа, функционированием и развитием транспортной инфраструктуры является важной многоаспектной составляющей в повыше-

нии надежности перевозок и выполнении иных транспортных работ и услуг, а также служит определяющим фактором устойчивого развития всего транспортного комплекса.

Правовому исследованию отдельных вопросов безопасности в области транспортной деятельности посвящены работы таких ученых, как Б. Н. Дудышкин, В. Н. Салеев, С. С. Сулакшин, М. В. Вилисов, А. В. Жукова, А. Н. Тимченко, Е. А. Хрусталева и др. В статьях указанных авторов раскрывается сущность, формулируются различные определения понятия транспортной безопасности, дается классификация безопасности по различным основаниям, рассматриваются виды, цели обеспечения транспортной безопасности, исследуются иные проблемные вопросы. Выводы и предложения, изложенные в данных работах, не носят комплексного характера и не в полной мере отвечают современным требованиям гражданско-правового регулирования безопасности транспортной деятельности.

Проблемам правовой регламентации безопасности транспортной деятельности уделяется пристальное внимание всеми государствами. Так, в соответствии с частью второй пункта 7 Концепции согласованной транспортной политики государств – участников СНГ на период до 2010 года, утвержденной Решением Совета глав правительств СНГ от 15 сентября 2004 года регламентировано, что безопасное и устойчивое функционирование транспортной системы государств – участников СНГ прямо влияет на экономическую, военную, технологическую, экологическую и социальную безопасность как на национальном уровне, так и в рамках СНГ в целом.

Согласно Закону от 9 февраля 2007 г. № 16-ФЗ «О транспортной безопасности», транспортной безопасностью является состояние защищенности объектов транспортной инфраструктуры и транспортных средств от актов незаконного вмешательства. При этом, обеспечение транспортной безопасности представляет собой реализацию определяемой государством системы правовых, экономических, организационных и иных мер в сфере транспортного комплекса, соответствующих угрозам совершения актов незаконного вмешательства.

Законодательство Республики Беларусь в области безопасности транспортной деятельности находится в стадии формирования и актуальной представляется проблема о направлениях и формах его совершенствования и развития. В связи с принятием Закона Республики Беларусь от 9 ноября 2009 года «О внесении изменений и дополнений в Закон Республики Беларусь «Об основах транспортной деятельности» введено новое определение термина. «Безопасность транспортной деятельности – это состояние транспортной деятельности, при котором обеспечена минимальная вероятность возникновения опасности для жизни, здоровья и имущества граждан Республики Беларусь, иностранных граждан и лиц без гражданства, имущества юридических лиц Республики Беларусь, иностранных и международных юридических лиц (организаций, не являющихся юридическими лицами), Республики Беларусь, ее административно-территориальных единиц, иностранных государств, а также для окружающей среды».

При этом, следует отметить, что понятие правовой категории «безопасность транспортной деятельности», является юридической новеллой в национальном законодательстве. Проблематика правовой регламентации безопасности транспортной деятельности в отечественной науке исследована в недостаточной степени.

Анализируя транспортное законодательство, следует отметить, что отдельные вопросы безопасности при осуществлении транспортной деятельности воздушным, железнодорожным, автомобильным, морским, речным видами транспорта регламентированы указами Президента Республики Беларусь, кодексами, законами Республики Беларусь и постановлениями государственных органов, правовые нормы которых имеют неодинаковую юридическую силу.

С учетом изложенного, возникает потребность разработки и принятия единого нормативного правового акта, регулирующего отношения в области безопасности транспортной деятельности в виде 199 проекта Закона Республики Беларусь «О безопасности транспортной деятельности» (далее – Закон). Форма принятия данного нормативного правового акта объясняется тем, что согласно части пятой статьи 2 Закона Республики Беларусь от 10 января 2000 года «О нормативных правовых актах Республики Беларусь», «закон – нормативный правовой акт, закрепляющий принципы и нормы регулирования наиболее важных общественных отношений», которыми и являются отношения в области безопасности транспортной деятельности.

По нашему мнению, Закон должен определить основные понятия и их определения, урегулировать вопросы основных направлений, требований и мер по обеспечению безопасности транспортной деятельности, государственного управления в области безопасности транспортной деятельно-

сти, определить полномочия органов государственного управления и местных исполнительных и распорядительных органов. Кроме того, Закон должен содержать такие общие положения, как выявление и оценка отрицательных факторов, влияющих на уровень безопасности, и меры, направленные на уменьшение факторов риска в области безопасности транспортной деятельности, информационное обеспечение, анализ состояния и мониторинг безопасности, права, обязанность и ответственность субъектов транспортной деятельности, надзор и контроль в области безопасности транспортной деятельности и иные вопросы.

С учетом изложенного, в заключение необходимо отметить, что обеспечение правовой регламентации безопасности транспортной деятельности – одно из приоритетных направлений развития и совершенствования законодательства в области транспортной деятельности. Правовые нормы, касающиеся вопросов безопасности транспортной деятельности, которые будут изложены в вышеуказанном нормативном правовом акте, должны быть впоследствии включены в общую часть Транспортного кодекса Республики Беларусь. Создание эффективной правовой базы транспортного законодательства, с учетом норм безопасности транспортной деятельности, позволит обеспечить государственно-правовую систему защиты прав и законных интересов граждан, общества и государства в целом.

#### Список литературы

1 О внесении изменений и дополнений в Закон Республики Беларусь «Об основах транспортной деятельности»: Закон Республики Беларусь, 9 ноября 2009 г. // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2009. – № 2/1604.

2 О нормативных правовых актах Республики Беларусь: Закон Республики Беларусь, 10 января 2000 г. (с изменениями и дополнениями) // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2000 – № 7, 2/136; 2002 – № 7, 2/830.

УДК 504

## ЭКОЛОГИЯ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

*В. А. ГОЛЕШОВ, М. А. КРЫЛОВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Интуитивное представление о железных дорогах как наиболее щадящем природу виде транспорта рождается от простых мысленных сравнений: электровоз, тянущий 50 вагонов – или, допустим, 500 автомобилей; дошедшая до вашего района ветка метро – или 300 автобусов. Но, продолжив этот мысленный эксперимент и вообразив только горы из миллионов шпал, которые нужно заменить и куда-то деть, вы представите, как непросто железной дороге оставаться в образе чистого, зеленого вида транспорта.

Средние коэффициенты эмиссии парниковых газов в грузовых перевозках для железнодорожного транспорта являются наиболее низкими по сравнению с другими видами транспорта. Это все – начальные условия, так сказать, «онтологические козыри» ж. д., почти интуитивно постигаемые, не освобождающие, однако, от постоянной экологической работы в отрасли.

А результаты этой работы таковы (данные за 2019 год):

– выброс загрязняющих веществ в атмосферу от стационарных источников сократился на 6,4 тыс. т, или на 8,7 %;

– водопотребление снижено на 8,9 млн куб. м (на 9,4 %) – до 86,12 млн куб. м. Сброс загрязненных сточных вод сократился на 2 млн куб. м, (22 %), составив 6,9 млн кубов.

– 40 % образующихся отходов утилизируется и обезвреживается, остальные 60 % передается сторонним организациям;

– реализуется проект по отдельному сбору отходов, передано на утилизацию 1,9 тыс. т отходов бумаги, стекла и пластика.

Последние пункты особенно интересны, они подтверждают мировой тренд: сортированные, обработанные отходы могут стать доходами.

Но что же делать с теми представимыми «эверестами» отработанных шпал? Железобетонные шпалы перерабатывают на металлолом и бетонный щебень трех фракций – 330 тыс. шпал в год.

Сложно с деревянными: крезот (памятный терпкий запах) и другие пропитки – это 3-й класс опасности. Их утилизация пока – сжигание, пиролиз (обработка при высоких температурах без

доступа кислорода, получается древесный уголь: поглотитель воды, топливо, компонент органического удобрения). Прекрасно, но ужасно дорого, распространится, наверно, тогда, когда в стоимость шпал будут закладывать «утилизационный сбор», подобно авто, компьютерам, покрышкам.

Еще одна деталь, по свидетельству руководства БЖД, для подготовки массива документов, требующихся для получения лицензии на деятельность по сбору, использованию, обезвреживанию, транспортировке и размещению опасных отходов, потребовалось три года.

Много лет анализировались цифры наших гипотетических доходов от продажи киотских квот на выбросы парниковых газов. Но мало кто интересовался: как, собственно, считать эти выбросы?

Космическими за мерами определяют общепланетную цифру выбросов (вполне достоверно). Затем технически оснащенные страны замеряют свои выбросы, а разность меж ними и общепланетными перекаладывается на прочие страны, которые, подписав Киотский протокол (ныне перешедший в Парижский), не могут замерить, обосновать собственные объемы. Другой процедуры нет.

Может, трудно поверить в столь примитивный алгоритм, но это так: не смог замерить сам – принимай что дают. А замеряют обсерватории: миллион долларов каждая, уникальное оборудование, дорогие хроматографы. И достоверны за меры в радиусе 100 км. На Бельгию, скажем, хватит трех-четырёх обсерваторий. Понятно: наши леса – главный очищающий фильтр глобальной атмосферы. По логике Киото, мы должны получать за это огромные деньги: 10–13 дол. за тонну. То есть наш «киотский» доход мерещился (пожалуй, самый верный глагол) в объеме 5–100 млрд дол. в случае доказанных подсчетов. Но песню «...много в ней лесов, полей и рек» к протоколу не подошьешь.

А тут еще группа ученых оценила выброс метана (парниковый газ по Киотскому списку) в местах добычи и из «дырявых» наших газопроводов: 40 Мт/год. И вот уже тот ожидаемый нами «киотский доход» аккуратно умножался на «-1».

Один из ведущих геофизиков, эксперт ООН, академик Георгий Голицын и нобелевский лауреат Пол Крутцен (Институт Планка, Германия) дали другую оценку: 6 Мт/год. И главное: источник иной! Но чтобы доказать это, потребовались бы годы работы и сотни миллионов долларов на сеть обсерваторий. Ответ был в лучших российских традициях: асимметричный.

Совместно с ВНИИ железнодорожного транспорта Голицын и Крутцен придумали обсерваторию на колесах. Оборудование – обязательно в первом вагоне поезда (подымаемая составом пыль дает погрешность), ведет состав только электровоз (выхлоп тепловоза также искажает картинку). Мало того, она вошла в международные сети наблюдений Global Atmospheric Watch (GAW) и Network for Detection of Stratospheric Change (NDSC), используется для придания законной силы международных научных спутниковых систем контроля атмосферы США и Европы. ТРОИКА подтвердила оценку Голицына – Крутцена о 6 Мт выбросов. Но вот источником оказалась... эмиссия болот (опровергнута оценка об утечках газопроводов).

Но был в той истории и еще один красивый поворот. Мобильные железнодорожные обсерватории ТРОИКА хотели купить страны с обширными территориями: США, Австралия, Канада. И... конфуз. Тепловозы «не катят», как мы уже говорили, а ж. д. США до сих пор... не электрифицированы. Для справки: в России на электрической тяге перевозится более 85 % грузов и 80 % пассажиров.

Проводится экологический мониторинг факторов и источников воздействия на окружающую среду. Изучаются экономические механизмы в сфере охраны окружающей среды, внедрение современных технологий по очистке промышленных выбросов и сбросов, утилизации и вовлечения отходов в хозяйственный оборот в качестве вторичных материальных ресурсов, информационные технологии в экологии, экологический аудит.

УДК 625.11

## **АНАЛИЗ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ ПРИ УСТРОЙСТВЕ ГЛУБОКИХ КОТЛОВАНОВ В УСЛОВИЯХ ПЛОТНОЙ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ**

*В. И. ГУРИНОВИЧ, А. А. РУДЧЕНКО, С. В. МАКСИМЕНКО  
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

До 90-х гг. XX в. глубина котлованов в условиях городской застройки, например в России, как правило, не превышала 4–5 м. В настоящее время, с развитием крупных городов, появился большой спрос на комплексное освоение подземного пространства.

Строительство котлованов глубиной свыше 5 м к примеру в Москве, Санкт-Петербурге и других крупных мегаполисах стало популярным решением многих вопросов транспортной и жилищной инфраструктуры. Подземные тоннели, парковки, помещения различного назначения под жилыми и 118 административными зданиями становятся рядовым явлением во многих населенных городах.

Однако чем больше глубина котлована под подземное сооружение, тем выше степень риска возникновения аварийных ситуаций. Информация об авариях котлованов, как правило, редко выносятся на общественное обсуждение, как в средствах массовой информации, так и в технической литературе, однако их анализ крайне необходим для того, чтобы на их опыте проектировщики и строители будущих объектов могли избежать подобных ситуаций [1].

Основные причины возникновения аварийных ситуаций можно подразделить на четыре основные группы [2]:

- природно-климатические факторы;
- использование в расчетах неполных или недостоверных результатов инженерно-геологических изысканий;
- принципиальные ошибки при проектировании (при составлении расчетных схем, выборе моделей грунта и граничных условий);
- низкое качество строительно-монтажных работ, плохая организация строительства или серьезные отступления от проекта.

Под природно-климатическими факторами, как правило, подразумеваются непредвиденные и нехарактерные нагрузки и воздействия для конкретных районов или отдельных площадок строительства. Примером неучтенных природных факторов могут служить: резкое изменение гидрологического режима, землетрясения для сейсмически безопасных районов, аномальные перепады температур наружного воздуха и т. д. Источником возможных негативных техногенных факторов могут являться инженерные сооружения, коммуникации, сети, расположенные рядом с котлованом.

Наибольшую угрозу для подземного строительства представляют инженерные сети с внутренним напорным давлением (водоснабжение, газопроводы, нефтепроводы и т. д.). Для принятия правильного проектного решения по устройству ограждений котлована необходимо иметь максимально полную и достоверную информацию об участке строительства и его непосредственном окружении. Наиболее важной информацией являются сведения об исследовании инженерно-геологического строения площадки, гидрогеологических условиях и физико-механических свойствах грунтов.

При устройстве котлованов в городской застройке необходима полная информация о конструкции и техническом состоянии фундаментов, надземных конструкций зданий и сооружений и инженерных сетей. Не обнаруженные в процессе изысканий строительный мусор, незаполненные полости или различные включения могут привести к дефектам и повреждениям при производстве работ. Согласно статистике при устройстве котлованов 50 % аварийных ситуаций возникают из-за плохой организации строительства и отступлений от проекта, 20 % – из-за природно-климатических условий, 20 % – из-за качества строительных работ, 10 % – из-за ошибок при проектировании [4].

Для предотвращения обрушения котлованов, при строительстве очень важно правильно выбрать ограждение. Ограждение котлована в идеальном случае должно сочетать в себе следующие основные функции: воспринимать боковое давление грунта, являться противофильтрационной завесой и воспринимать гидростатическое давление подземных вод, при необходимости воспринимать вертикальные нагрузки, минимизировать влияние котлована на окружающую застройку.

Возможности современных технологий и оборудования предоставляют инженерам и строителям огромный выбор доступных способов устройства подземных и заглубленных сооружений. Широкий спектр технических решений по устройству ограждений котлованов и вариантов их крепления охватывает практически весь диапазон требуемых глубин и плановых размеров сооружений. Уже отмечалось, что косвенной причиной аварийных ситуаций при строительстве в котлованах порой служит плохой менеджмент проекта. Это может проявляться в неверном изначальном определении бюджета проекта, подборе недостаточно квалифицированного персонала, неэффективной организации взаимодействия участников проекта, несвоевременном принятии неотложных решений и мер.

Для предотвращения аварийных ситуаций при подземном строительстве с точки зрения квалифицированного менеджмента и организации процесса управления проектом следует [3]:

- изучить опыт аварий на аналогичных объектах;
- на ранних стадиях проекта понять и выделить возможные риски, связанные со строительством, а также их последствия;

- определить возможные сценарии аварийных ситуаций;
- определить дополнительную стоимость комплекса работ, направленных на снижение строительных рисков;
- формировать состав исполнителей проектных и подрядных работ из организаций, имеющих опыт, соответствующий степени сложности объекта;
- привлекать к разработке заданий на выполнение инженерно-геологических и иных видов изысканий профессиональных геотехников;
- выполнять независимую экспертизу проектных решений, привлекая специализированные консалтинговые организации и высококвалифицированных экспертов-геотехников;
- организовывать эффективное взаимодействие между всеми участниками проекта;
- открыто обсуждать отклонения от проекта при их возникновении и оперативно выработать корректирующие решения;

Своевременно останавливать строительство в случае возникновения угрозы аварийной ситуации. Аварии, случающиеся при устройстве котлованов в городских условиях, несут тяжелые социальные и экономические последствия. Причины, которые вызывают аварии, разнообразны и могут быть скрыты в любой из стадий разработки и реализации проекта. Крупным авариям, как правило, способствует целый комплекс причин, причем многие из них могут быть взаимосвязаны. Задачи подземного строительства предъявляют повышенные требования к выполнению инженерно-геологических изысканий и гидрогеологических исследований. Отсутствие достаточного опыта и квалификации проектировщиков также является заметной угрозой для безаварийного строительства. При проектировании обязательным должно стать изучение опыта строительства схожих объектов. Избежать аварийных ситуаций можно, привлекая к работам только квалифицированных подрядчиков, а также выполнение на строительной площадке регулярного технического надзора заказчиком и авторского надзора проектировщиком.

#### Список литературы

- 1 **Колыбин, И. В.** Подземные сооружения и котлованы в городских условиях – опыт последнего десятилетия / И. В. Колыбин // Российская геотехника – шаг в XXI век : труды юбилейной конф., посвящ. 50-летию РОМГТиФ. – 2007. – 34 с.
- 2 **Петрухин, В. П.** Опыт проектирования и мониторинга подземной части Турецкого торгового центра / В. П. Петрухин, О. А. Шулятьев, О. А. Мозгачева // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2004. – № 5. – С. 2–8.
- 3 **Мангушев, Р. А.** Проектирование и устройство подземных сооружений в открытых котлованах / Р. А. Мангушев, Н. С. Никифорова. – М. : АСВ, 2013.
- 4 **Жадан, О. В.** Аварийность и травматизм на строительных объектах / О. В. Жадан, Ю. Д. Ильина // Вестник студенческого научного общества. Ч 1. – СПб. : ГАУ. – 2013. – С. 314–316.

УДК 621.355.9

## ПРОБЛЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ СОВРЕМЕННОГО ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА

*И. С. ДЕМИДОВИЧ, В. А. САВИН*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В современном мире электротранспорт уже используется достаточно широко, однако в будущем его количество увеличится на порядок, к чему есть масса предпосылок. Сердцем любого электрического транспортного средства является аккумуляторная батарея (АКБ). Этот элемент, как правило, самый массивный и самый дорогой. Но именно АКБ является одним из самых ненадежных агрегатов во всей конструкции ТС. В первую очередь это связано с ограниченным сроком службы самих аккумуляторных ячеек, из которых и собирается батарея. Однако важнейшим фактором является и пожароопасность, а иногда и взрывоопасность АКБ. В мире происходит множество трагических случаев, виной которым становятся аккумуляторы, начиная от возгорания мобильных телефонов, заканчивая взрывом АКБ электромобилей при ДТП или во время зарядки.

Безопасность АКБ электрических транспортных средств зависит от нескольких факторов, важнейшими из которых являются качество аккумуляторных элементов и их тип. Проблема качества применяемых элементов питания зависит от политики производителя электрических ТС, но боль-

шинство крупных компаний применяют ячейки проверенных производителей, оснащенных необходимым минимумом внутренних защит, а главное, испытанных в лабораторных условиях при различных режимах эксплуатации. Использование в конструкции только надежных элементов приводит к удорожанию конечного продукта, но эта плата в первую очередь за безопасность пользователя, а во вторую – за длительную безотказную эксплуатацию АКБ.

Следующим важнейшим фактором является тип АКБ. В современном электротранспорте используются самые различные типы аккумуляторов: свинцово-кислотные (Pb), никель-кадмиевые (Ni-Cd), никель-металлгидридные (Ni-MH), литиевые (Li-ion, Li-Po, LiFePO<sub>4</sub>, LTO).

Однако большинство электрических ТС оснащаются именно литиевыми АКБ, так как они выгодно отличаются от всех остальных типов лучшими характеристиками. Но и литиевые аккумуляторы бывают разные. Наиболее часто встречаемые – литий-ионные (Li-ion) АКБ. Они в свою очередь являются одними из самых пожароопасных.

**Li-ion.** Аккумуляторы данного типа обладают высокой энергоемкостью (до 280 Вт·ч/кг), наиболее часто встречаются в формате цилиндрических ячеек различных типоразмеров, самые популярные – 18650, 21700, 32650. Из таких элементов чаще всего собирают аккумуляторные батареи для электровелосипедов, электрокаров, аккумуляторного инструмента и т. д. Минимальное напряжение для Li-ion аккумулятора варьируется от 2,5 до 2,75 V, максимальное – от 4,2 до 4,35 V.

В свою очередь Li-ion аккумуляторы имеют разные типы химии:

ICR – в аккумуляторах с такой маркировкой в качестве материала катода используется кобальт лития. Главным преимуществом таких аккумуляторов является их стоимость. У них сравнительно небольшая емкость (2000–2500 mA·h в типоразмере 18650) и низкие показатели токоотдачи (1–2C, где C – емкость аккумулятора в амперах). Используются они, например, в АКБ для ноутбуков. Это самый небезопасный тип Li-ion аккумуляторов, они наиболее чувствительны к перезаряду, перегреву, и механическим повреждениям. Категорически не рекомендуется использовать без платы BMS (battery management system) – система управления и защиты батареи, а также в устройствах, потребляющих большие токи (>2C).

IMR – в аккумуляторах с такой маркировкой в качестве материала катода используется литий-марганец. Этот тип Li-ion аккумуляторов способен выдерживать токи до 4–10C, что значительно расширяет область их применения. Емкость приблизительно такая же, как и у ICR – до 2500 mA·h. Этот тип аккумуляторов более безопасен, в сравнении с ICR, поскольку гораздо меньше подвержен нагреву в диапазоне рабочих токов.

INR – в аккумуляторах с такой маркировкой в качестве материала катода используется никелат лития. Этот тип Li-ion аккумуляторов способен выдерживать токи до 4–10C, но в отличие от IMR может иметь гораздо более высокую емкость – до 3500 mA·h. Так же незначительно подвергнут нагреву, при соблюдении рабочих токов.

NCR – в аккумуляторах с такой маркировкой в качестве материала катода используется никелат лития и кобальт. Этот тип Li-ion аккумуляторов способен выдерживать токи до 2C. Имеет высокую емкость – до 3500 mA·h. Главным преимуществом является высокий срок службы – более 500 циклов заряда-разряда. Особенностью сборки АКБ из NCR элементов, если работа батареи планируется на токах, близким к максимально допустимым, является обязательный контроль температуры, такой возможностью обладают некоторые платы BMS.

К возгоранию Li-ion аккумуляторов может привести множество причин, среди которых заводской брак, перезаряд, переразряд, короткое замыкание, перегрев вследствие длительной перегрузки или внешнего теплового воздействия, механическое повреждение. Причем, если большинство качественных элементов прекрасно противостоят нарушениям параметров зарядки/разрядки, коротким замыканиям, перегрузкам и т. п., абсолютное большинство из них при перегреве и механическом повреждении воспламеняются.

**Li-Po.** Эти аккумуляторы очень близки по своим характеристикам к Li-ion. Они широко используются в мобильных устройствах, носимой электронике, электротранспорте и т.п., обладают еще большей энергоемкостью, чем Li-ion. Рабочий диапазон напряжения – минимальное от 2,5 до 2,75 V, максимальное – от 4,2 до 4,35 V. Ключевое отличие от Li-ion – это огромная разнообразность типоразмеров. Все причины возгорания Li-ion элементов справедливы и для Li-po, но в сравнении с Li-ion такие аккумуляторы гораздо более чувствительны к механическим повреждениям ввиду непрочного корпуса, они не любят тряску и не имеют защитных клапанов.

**LiFePO<sub>4</sub>.** Данный тип аккумуляторов чаще всего используется в качестве замены свинцовых АКБ, в резервных источниках питания, а также в различном электротранспорте. В сравнении с Li-ion

имеет более низкую энергоёмкость – до 190–250 Вт·ч/кг. Минимальное напряжение – 2,5 V, максимальное – 3,65V. Выгодно отличаются от Li-ion аккумуляторов большим ресурсом (3000 циклов до потери 20 % ёмкости). Также это более безопасный тип литиевых аккумуляторов, они имеют очень высокую термическую и химическую стабильность, то есть при перегреве и механическом повреждении LiFePO<sub>4</sub> не самовозгорается. Но также стоит понимать, что хоть LiFePO<sub>4</sub> и не склонен к химическому горению, неисправная АКБ, например, при коротком замыкании способна разогреться до высоких температур, что в свою очередь может спровоцировать возгорание окружающих батарею предметов.

**ЛТО.** Литий-титанатные аккумуляторы используются там, где требуется большая токоотдача, например, в АКБ городского электротранспорта. Характеризуются высочайшей долговечностью – до 25000 циклов заряда-разряда. Имеют еще более низкую энергоёмкость – до 110 Вт·ч/кг. Минимальное напряжение на элементе – 1,6 V, максимальное – 2.7 V. Так же как и LiFePO<sub>4</sub>, литий-титанат считается довольно безопасным типом аккумуляторов, т. к. не подвержен самовозгоранию в случае возникновения нештатной ситуации, а также способен выдерживать огромные токи заряда и разряда.

Последние два типа аккумуляторов являются наиболее подходящими для применения в электротранспорте, так как значительно безопасней Li-ion аккумуляторов, не воспламеняются при повреждении батареи в случае ДТП. Еще одним их плюсом является значительно большая долговечность, что крайне важно для экономической эффективности электрических транспортных средств.

#### Список литературы

- 1 Хрусталёв, Д. А. Аккумуляторы / Д. А. Хрусталёв. – М. : Изумруд, 2003.
- 2 Скудин, А. М. Наноматериалы в современных химических источниках тока / А. М. Скудин, О. А. Брылев. – М. : МГУ, 2011.
- 3 VOLTBIKES. Мастерская и магазин электротранспорта [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.voltbikes.ru/blog/about-li-ion/pozharoопасnost-litievых-akkumulyatorov/#hcq=gBJ16cs>. – Дата доступа : 11.09.2020.
- 4 Электротранспорт [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://electrotransport.ru/ussr/index.php?topic=56731.72>. – Дата доступа : 10.05.2020.

УДК 625.8

## ОСОБЕННОСТИ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ НА ТРАНСПОРТЕ

*Д. С. ДЕНИСЕНКО*

*Гомельский филиал Университета гражданской защиты МЧС Республики Беларусь*

Ежедневно транспортные средства осуществляет свои функции в различных, в том числе и особых, условиях: на земле, под землей, в воздухе, на воде. Транспортные средства могут быть разделены на классы: наземный (подземный), воздушный (космический), водный (подводный), специальный и подклассы:

- наземный безрельсовый – автомобили, автобусы, троллейбусы, тракторы, мотоциклы, мотоллеры, мопеды, велосипеды, снегоходы, вездеходы, телеги, сани;
- наземный (подземный) рельсовый – железнодорожные поезда, поезда метрополитена, трамваи, дрезины, монорельсовый;
- воздушный – самолеты, вертолеты, планеры, дельтапланы, дирижабли, аэростаты, амфибии (гидропланы и экранопланы);
- космические – спутники, станции, корабли;
- водный морской и водный речной – теплоходы, катера, танкеры, сухогрузы, паромы, баржи, буксиры, контейнеровозы, сейнеры, ледоколы, парусники, плоты, гребные суда, катамараны, суда на воздушной подушке;
- подводные – подводные лодки, батискафы, батисферы;
- специальные – эскалаторы, лифты, фуникулеры, канатные дороги, трубопроводы.

Появление автомобиля дало человеку множество удобств, без которых сложно представить современную жизнь: большую скорость передвижения, перевозка различных грузов на любые расстояния и др. Благодаря этому он стал самым распространенным транспортным средством.

Транспортные средства автономны в пути следования и зачастую удалены от мест, где возможно оказание необходимой помощи при чрезвычайной ситуации или пожаре. При эксплуатации транспортных средств происходят различные виды чрезвычайных ситуаций:

- наезды на людей и другие подвижные объекты, находившиеся в полосе движения автомобиля;
- наезды на неподвижные объекты (в том числе и на стоящие на дороге транспортные средства);
- столкновения автомобилей друг с другом и другими средствами – встречные, боковые при попутном движении и перекрестные, происходящие под различными углами;
- опрокидывание транспортных средств в результате заноса, потери управления, неблагоприятных дорожных условий, применения водителем резких или неправильных приёмов управления;
- пожар.

Статистические данные свидетельствуют о том, что число человеческих жертв и материальный ущерб от пожаров на транспорте не только не уменьшаются, но имеют тенденцию роста. В связи с этим, все более актуальной становится проблема пожаров на автотранспорте. Согласно статистике пожаров на автомобилях, наибольшее количество пожаров возникает в моторном отсеке. Это обусловлено тем, что в достаточно небольшом объеме отсека сконцентрированы узлы и агрегаты, преобразующие все виды энергии (от химической до механической). Все эти источники и преобразователи соединены в единую действующую систему, агрегаты и механизмы которой скомпонованы в непосредственной близости друг от друга и нагреваются до относительно высоких температур. Дальнейшее развитие пожара, при его возникновении в данном отсеке, во многом зависит от его компоновки в общей конструкции автомобилей. Любой легковой автомобиль или грузовик имеет большое количество горючих и легковоспламеняющихся жидкостей под капотом – бензин или дизельное топливо, моторное масло, трансмиссионные жидкости, жидкость гидравлического усилителя руля, тормозную жидкость, охлаждающую и омывающую жидкости. Все они в своей основе имеют либо нефтепродукты, либо различные технические спирты, могущие довольно легко загореться, если шланги или емкости, содержащие их, потеряют герметичность. Зачастую обнаружить это не составляет труда. Под стоящим автомобилем появляются маслянистые пятна или потеки, в салоне появляется запах горючего или спирта. Также эти жидкости могут вытечь, если машина получит сильный удар при аварии. В результате может возникнуть пожар. Хотя такой пожар, скорее всего, начнется в моторном отсеке, где сосредоточены все эти опасные жидкости, имейте в виду, что некоторые из них, например, топливо и тормозная жидкость, перемещаются по всей длине автомобиля, а пары тосола при определённой концентрации и условиях взрывоопасны. Нарушение герметичности занимает основное место среди технических причин автомобильных возгораний.

Основные причины пожаров на автотранспорте:

- нарушение правил эксплуатации автомобиля, в частности, установка акустических систем или осветительных приборов с нарушением соединения и прокладки электропроводов, неисправность систем и узлов;
- нарушение правил пожарной безопасности при проведении ремонтных работ;
- неисправность систем, узлов и механизмов транспортного средства;
- неосторожное обращение с огнем;
- дорожно-транспортное происшествие.

Пожар в транспорте опасен тем, что начинается он практически незаметно. А известно о нем становится, когда уже слышен запах гари и дыма или видно уже само горение. Распространение же огня происходит в разы быстрее, чем на других объектах. Своевременный вызов подразделений МЧС не всегда приводит к спасению человека или снижению материального ущерба в виду того, что весь процесс распространения пламени занимает от считанных секунд до нескольких минут. Да и не всегда подразделения МЧС находятся рядом, чтоб оказать своевременную помощь. Первоначальные действия при тушении возгорания огнетушителем зачастую безуспешны, так как транспортные средства в основном укомплектованы ручными огнетушителями с малыми объемами и находятся они в багажном отсеке, что требует дополнительного времени для его применения, за которое пожар развивается с большей силой.

В настоящее время разработано много различных автоматических установок пожаротушения с различными принципами действия, которые можно установить на транспортные средства. Они могут справиться с ликвидацией возгорания на начальном этапе, предотвратив гибель или большой материальный ущерб.

## Список литературы

1 FIREMAN.CLUB. Клуб пожарных спасателей [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://fireman.club/conspects/tema-13-tushenie-pozharov-i-likvidaciya-posledstvij-chrezvychajnyx-situacij-na-transporte/>. – Дата доступа : 19.09.2020.

2 Об утверждении Боевого устава органов и подразделений по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь по организации тушения пожаров : Приказ М-ва по чрезвычайным ситуациям Респ. Беларусь от 30 июня 2017 г. № 185 – Минск, 2017. – 109 с.

УДК 624.21

## РАЗРАБОТКА СОЕДИНИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА ДЛЯ КОМБИНИРОВАНИЯ ТАБЕЛЬНЫХ ИМУЩЕСТВ КРАТКОСРОЧНЫХ МОСТОВ

*Р. Ю. ДОЛОМАНЮК*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В современных условиях ведения вооруженных конфликтов, нависших угроз террористических атак, чрезвычайных ситуаций из-за климатических катаклизмов особое внимание необходимо обратить на транспортную инфраструктуру, в состав которой неотъемлемо входят искусственные сооружения (мосты, трубы и др.).

Характеры поражения мостовых сооружений разнообразны: от поражения железнодорожных и автодорожных мостов высокоточным оружием или обычными средствами поражения, доставляемых силами ДРГ и НВФ, до сейсмических реакций земли, влияющих на разрушения мостов в районах катаклизма.

В этой связи для обеспечения возобновления движения по данному участку требуется произвести целый комплекс организационно-технических мероприятий по устранению разрушений и повреждений элементов мостовых переходов. При этом директивные сроки будут зависеть от создавшейся обстановки, объема и характера разрушений, заражения и затопления, а также наличия и состояния сил, средств необходимых для восстановления, с учетом технологических сроков [1].

На данный момент в достаточной степени накоплена научная база в области мостостроения, становятся на вооружение транспортных войск Республики Беларусь и железнодорожных войск Российской Федерации новые образцы строительно-восстановительной техники и инвентарных мостовых конструкций, разработанные с учетом современных требований. Совершенствуются способы восстановления мостовых переходов за счет внедрения новых технологических процессов по устройству инвентарных мостов и расчистке мостовых переходов от обрушенных конструкций [2].

Применение современных табельных инвентарных конструкций временных и краткосрочных мостов и переправ, в значительной степени облегчают выполнение задач восстановления мостовых сооружений. Однако использование инвентарных мостовых конструкций в конкретных условиях зависит от целого ряда технических условий и требований. При этом сами технические условия и требования постоянно изменяются и дополняются в соответствии с последними достижениями в области развития железнодорожного транспорта, строительства и восстановления мостов.

В настоящее время на вооружении структурных подразделений транспортных войск имеются следующие инвентарные мостовые имущества: металлическая сборно-разборная эстакада (далее – РЭМ-500); наплавной железнодорожный мост НЖМ-56; инвентарное мостовое имущество ИМИ-60; рамно-винтовые опоры (РВО); сборно-разборные пролетные строения (СПП).

Эти конструкции, несмотря на большой срок эксплуатации и хранения, представляют собой самое эффективное средство для скоростного восстановления мостовых переходов. Инвентарные мостовые конструкции имеют следующие области применения:

- сборно-разборными эстакадами перекрываются, как правило, суходолы и неглубокие водотоки;
- наплавные железнодорожные мосты наводятся через широкие и глубокие водотоки [1].

Существуют на вооружении отдельных батальонов Вооруженных Сил Республики Беларусь принципиально новое имущество мост-лента МЛЖ-ВТ-ВФ (рисунок 1) [3], которое разработано и серийно выпускается в Российской Федерации для железнодорожных войск. Но по ряду причин данное имущество, в транспортных войсках Республики Беларусь, имеется не в полном комплекте, что существенно затрудняет задачу по подготовке комплекса мероприятий обеспечения технического прикрытия и восстановления железнодорожных и автомобильных дорог в нашей стране.



Рисунок 1 – Общий вид моста-ленты МЛЖ-ВФ-ВТ

В настоящее время транспортные войска прилагают большие усилия по совершенствованию конструкций и технологий монтажа инвентарных мостовых имуществ. На протяжении уже нескольких лет в рамках заказа транспортных войск Республики Беларусь профессорско-преподавательский состав и курсанты военно-транспортного факультета БелГУТа выполняют научно-исследовательские работы и осуществляют разработку проектов по тематике технического прикрытия и восстановления искусственных сооружений реальных объектов Республики Беларусь. Кроме этого ведется научно-исследовательская деятельность по всем направлениям военного мостостроения.

В 2016 году была поставлена задача по комбинированию пролетных строений инвентарных мостов НЖМ-56, РЭМ-500 [4; 5] с рамно-винтовыми опорами из имущества МЛЖ-ВТ-ВФ.

Коллективом профессорско-преподавательского состава факультета был разработан и запатентован соединительный элемент (марка ПТ 9/71), по своим конструктивным особенностям он выполняет функцию опорной части комбинированного моста (рисунок 2).

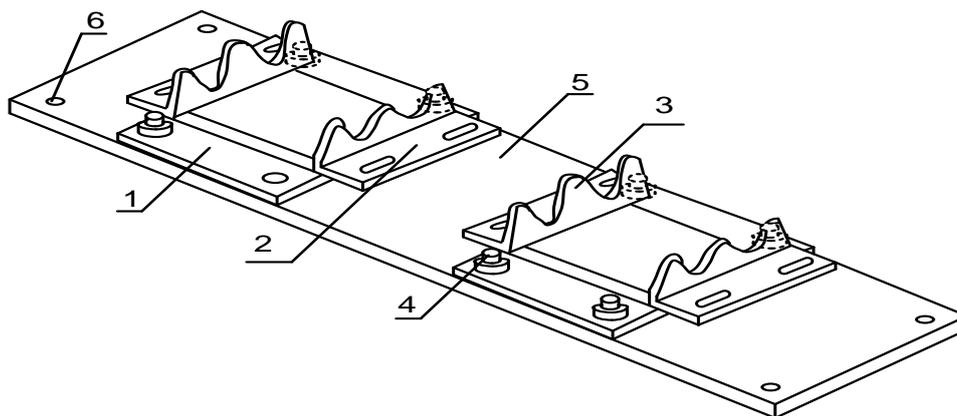


Рисунок 2 – Соединительный элемент ПТ 9/71

Соединительный элемент ПТ 9/71 (рисунок 2) состоит из двух плит 1 имеющих отверстия для крепления к переходной плите, двух опорных подушек 2, щек 3, в горизонтальной полке которых имеются овальные отверстия для закладывания головки стяжного болта, переходной плиты 5 имеющей четыре отверстия 6 по углам, для крепления к ригелю опоры из имущества МЛЖ-ВТ-ВФ. На переходной плите располагаются восемь вертикальных крепежных элементов в виде шпилек с резьбой 4, находящихся симметрично относительно вертикальной и горизонтальной оси переходной плиты, для крепления плиты с опорной подушкой и щекой. Данный элемент моста предназначен для установки пролетных строений из имущества РЭМ-500 на инвентарные опоры имущества МЛЖ-ВТ-ВФ. Соединительный элемент крепится к ригелю опоры из имущества МЛЖ-ВТ-ВФ при помощи четырех болтов, которые вставляются в отверстия 6 по краям переходной плиты. На установленную переходную плиту симметрично относительно вертикальной оси устанавливаются две плиты, с опорными подушками и щеками, на шпильки с резьбой 4 и завинчиваются гайками с шайбой. После установки соединительного элемента производится установка пролетного строения из имущества РЭМ-500 [6].

Использование соединительного элемента дает возможность компоновать между собой пролетные строения инвентарных мостов РЭМ-500, НЖМ-56 с рамно-винтовыми опорами из имущества МЛЖ-ВТ-ВФ, что позволит комбинировать данные имущества металлических инвентарных конструкций между собой при сооружении временного мостового перехода через водную преграду (рисунок 3).

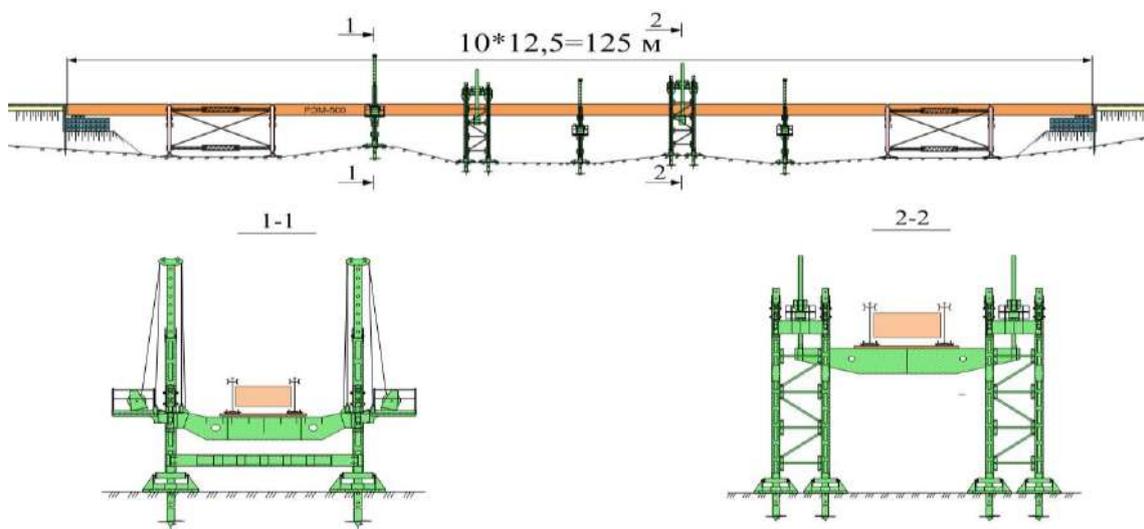


Рисунок 3 – Схема комбинированного моста с использованием имущества РЭМ-500 и МЛЖ-ВТ-ВФ

Такая схема позволит расширить область применения инвентарного имущества РЭМ-500 там, где установка опор РЭМ-500 невозможна из-за слабых грунтов или угрозы размыва грунтов под подошвой плоской опоры.

#### Список литературы

- 1 Строительство и восстановление искусственных сооружений : материалы IV Междунар. науч.-практ. конф. В 2 ч. Ч. 1 / под общ. ред. А. А. Поддубного ; М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель, 2015. – 441 с.
- 2 Строительство и восстановление искусственных сооружений : материалы III Междунар. науч.-практ. конф. В 2 ч. Ч. 1 / под общ. ред. А. А. Поддубного ; М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель, 2014. – 396 с.
- 3 **Ефимкин, С. В.** Наплавной унифицированный железнодорожный мост-лента МЛЖ-ВФ-ВТ. Техническое описание и инструкция по монтажу, перевозке, хранению и эксплуатации / С. В. Ефимкин ; Федеральная Служба ЖДВ РФ. – М. : Ефимкин и К° ФС ЖДВ РФ, 2007. – 466 с.
- 4 **Телов, В. И.** Наплавной железнодорожный мост НЖМ-56. Техническое описание и инструкция по монтажу, перевозке, хранению и эксплуатации / В. И. Телов ; Главное управление ЖДВ. – М. : Кеблов и К° ГУ ЖДВ, 1977. – 344 с.
- 5 **Тараканов, И. Н.** Металлическая эстакада РЭМ-500. Техническое описание и инструкция по монтажу, перевозке, хранению и эксплуатации / И. Н. Тараканов ; Главное управление ЖДВ. – М. : Гринштейн и К° ГУ ЖДВ, 1976. – 328 с.
- 6 Опорная часть моста: полезная модель ВУ 11366 / С. И. Новиков [и др.] ; опубл. 01.02.2017.

УДК 656.2.08

## ТРАНСПОРТНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК

*К. В. ЕФИМЧИК*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Из доклада Всемирной организации здравоохранения стало известно, что каждые 24 секунды на планете в результате ДТП погибает человек. За последний год количество погибших на дорогах людей составило 1 млн 350 тыс. человек, чаще всего жертвами аварий становится молодежь до 29 лет.

Примечательно, что в ряде регионов смертность в результате ДТП становится меньше. Так, положительная динамика замечена в Европе, США, Канаде и странах Латинской Америки. Безопаснее

всего обстановка на европейских дорогах, где на 100 тыс. человек приходится всего 9,3 смерти. К примеру, в Африке этот показатель равен 26,6.

ВОЗ также отмечает, что на бедные государства приходится всего 1 % автомобилей, однако количество смертей в результате ДТП составляет 13 %, тогда как в развитых странах сосредоточено 40 % машин и 7 % смертей на дороге.

Сведения о количестве ДТП, погибших и раненных в них людей в Республике Беларусь за последние 20 лет (1999–2018 гг.) приведены на рисунке 1.

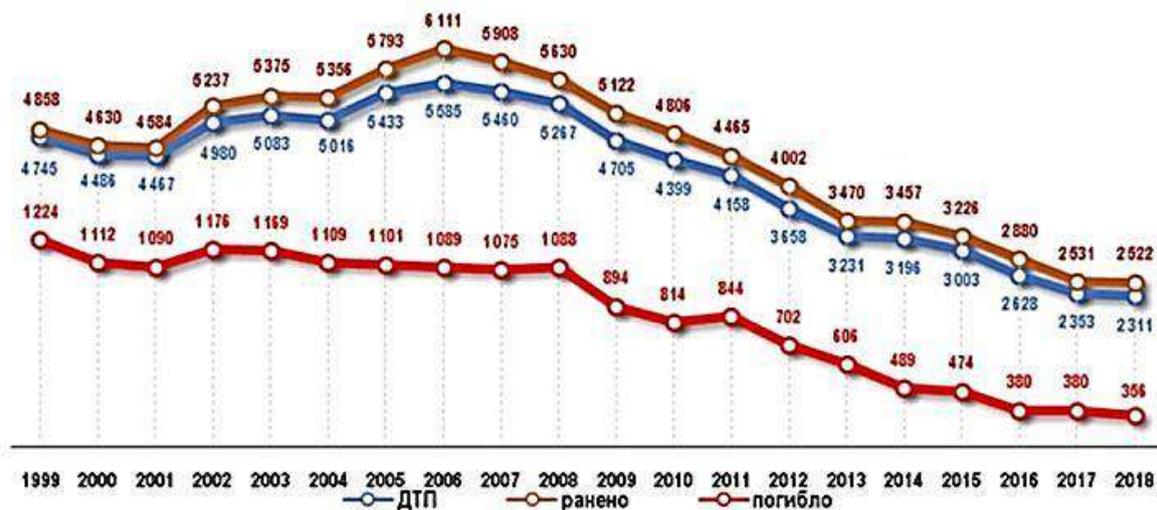


Рисунок 1 – Сведения о количестве ДТП, погибших и раненных в них людей в Республике Беларусь

В целях обеспечения безопасности дорожного движения в Республике Беларусь принята Концепция обеспечения безопасности дорожного движения, утвержденная постановлением Совета Министров Республики Беларусь № 757 от 14.06.2006 г. (далее – Концепция).

Концепцией определяются основные направления повышения безопасности дорожного движения в Республике Беларусь, меры по сокращению уровня аварийности на дорогах, снижению тяжести последствий дорожно-транспортных происшествий, минимизации загрязнения окружающей среды и влияния других негативных факторов, связанных с дорожным движением.

Дорожное движение отличается повышенной опасностью и содержит следующие основные угрозы:

физическую и имущественную, проявляющиеся в совершении дорожно-транспортных происшествий, приводящих к гибели и травматизму людей, повреждению транспортных средств, грузов, дорожных сооружений, иного имущества;

экологическую, проявляющуюся в загрязнении механическими транспортными средствами окружающей среды, повышенном шуме и других факторах, приносящих вред здоровью людей, государству и обществу;

социальную, проявляющуюся в преднамеренном нарушении законодательства участниками дорожного движения, их агрессивном и неадекватном поведении на дорогах, недовольстве граждан состоянием дорог и организацией дорожного движения, действиями (бездействием) должностных лиц государственных органов, осуществляющих управление и государственный контроль в области дорожного движения и обеспечения его безопасности;

экономическую, проявляющуюся в неоправданных остановках и перепробеге транспортных средств, перерасходе топлива механическими транспортными средствами, задержках на дороге участников дорожного движения.

Государственная политика в области дорожного движения и обеспечения его безопасности основывается на осуществлении мер, принимаемых в отношении:

- 1) транспортных средств;
- 2) водителей транспортных средств;
- 3) дорожной инфраструктуры;
- 4) организации дорожного движения;

5) повышения эффективности управления и государственного контроля в области дорожного движения и обеспечения его безопасности;

6) формирования государственной идеологии управления дорожным движением.

На территории Республики Беларусь действует ряд нормативных правовых актов, направленных на обеспечение безопасности автомобильных перевозок. Основными требованиями, предъявляемыми к водителям, являются: наличие соответствующей квалификации и стажа; организация стажировки и занятий по повышению их профессионального мастерства; проведение в установленные сроки предрейсовых и послерейсовых медицинских осмотров водителей; соблюдение ими режима труда и отдыха; обеспечение водителей необходимой оперативной информацией об условиях движения и работы на маршруте; организация контроля за соблюдением ими требований безопасности автобусных перевозок. При специальных перевозках детей принимаются дополнительные меры по безопасности движения: автобусы оборудуются боковыми и лобовыми трафаретами с надписью «Школьный» и опознавательными знаками «Дети», движение осуществляется со скоростью не более 60 км/ч.

Важным фактором, определяющим безопасность автобусных перевозок, является техническое состояние автомобильных дорог, улиц, железнодорожных переездов. Местоположение автобусных остановок должно сочетать хорошую видимость с безопасностью движения транспортных средств и пешеходов в их зоне.

Переезды на всех железных дорогах должны быть оборудованы и содержаться в соответствии с инструкцией по их эксплуатации. Перевозка пассажиров автобусами через ледовые переправы запрещается.

Для обеспечения безопасности автобусных перевозок следует четко соблюдать технологические условия перевозочного процесса, на каждый маршрут должны быть составлены паспорт и схема с указанием опасных участков, график движения на основе определения нормативных значений скоростей и с учетом соблюдения режимов труда и отдыха водителей. Помимо этого, при выборе типа и марки автобуса надо учитывать дорожные и погодно-климатические условия на маршруте. Запрещается отклонение от заранее согласованного (утвержденного) маршрута движения автобуса, производство остановок в местах, не предусмотренных графиком движения, превышение установленных скоростных режимов.

В случаях, когда на отдельных участках дорожные или метеорологические условия представляют угрозу безопасности пассажирских перевозок (разрушение дорог, дорожных сооружений, вызванные стихийными явлениями, авариями на тепловых, газовых и электрических коммуникациях), автобусное движение на них должно быть прекращено.

УДК 625.8

## **ОСОБЕННОСТИ ИНЖЕНЕРНОЙ РАЗВЕДКИ И ПОЛЕВОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРИ ВРЕМЕННОМ ВОССТАНОВЛЕНИИ**

*Ю. А. ЗУБАРЬ, М. Д. ЛЮТЫЙ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Выбор между временным восстановлением на старой оси или на обходе является первоочередной задачей инженерной разведки, если это не определено в предварительном решении штаба части на восстановление. В сравнении вариантов особо оценивается возможность возведения подходов к мосту на обходе в необходимые сроки. Сопоставление производится не только по срокам открытия движения через преграду, но и по затратам на конструкции больших пролетов и эксплуатационным качествам восстановленного моста.

Для постройки высоководного моста на обходе инженерная разведка должна определить:

- место расположения моста и подходов к нему;
- режим реки, т. е. характерные уровни воды (меженный высоких вод, низкого и высокого ледохода, расчетный судоходный), начало и конец ледостава, сроки осеннего и весеннего ледоходов, их характер (толщина и площадь ледяных полей, места образования заторов и т. п.);
- характер грунтов берегов и дна реки на глубину заложения новых фундаментов опор;
- наличие других переправ в районе восстановительных работ;

- необходимое отверстие моста;
- места расположения строительных площадок, укрытий для личного состава и техники;
- местные строительные материалы, промышленные предприятия и другие местные ресурсы, пригодные для восстановления;
- пути выдвижения подразделений к местам работ и дороги для перевозки конструкций и материалов;
- ориентировочные затраты материалов, рабочей силы и потребность в технических средствах для постройки моста.

В задании на инженерную разведку должно быть указано, какие виды конструкции первоочередных восстановительных работ следует запроектировать на объекте. Остальные материалы разведки оформляются в виде карточки инженерной разведки и используются технической частью штаба при дальнейшей разработке проекта моста.

Место перехода рекомендуется выбирать так, чтобы ось моста была перпендикулярна направлению течения в главном русле. Мост располагается на прямом участке реки с возможно меньшими шириной и глубиной, а также с устойчивым, сформировавшимся руслом.

Следует избегать постройки мостов на участках реки с широкими заболоченными поймами или с протоками и островами.

Ось перехода закрепляется на обоих берегах столбами, вынесенными за пределы стройплощадки и защищенными от повреждений в ходе строительных работ. Для контроля высотных отметок на берегах ставятся временные реперы.

План мостового перехода с подходами к мосту отрабатывается на карте крупного масштаба (1:10 000–1:25000). При отсутствии карт производится съемка местности с оформлением плана всего перехода в масштабе 1:5000–1:10 000, охватывающего все участки работ.

Ширина реки определяется непосредственным промером, а на больших водных преградах – точными геодезическими способами с помощью угломерных инструментов,

Глубина реки промеряется с помощью шеста, лота или более точными способами по оси моста не реже чем через 10 м, в том числе обязательно в центре и по углам будущих опор.

Скорость течения измеряется гидростидометром или поплавками на длине реки не менее 100 м. Средняя скорость принимается равной 0,85 от скорости поплавок. Гидростидометр для определения средней скорости течения опускается на глубину  $0,6H$ , где  $H$  – глубина воды в месте измерения.

Трассу подходов рекомендуется выбирать с наименьшими объемами работ по их сооружению, а также с учетом требований маскировки транспортного движения на подходах к мосту. Закрепление трассы выполняется по существующим для изысканий военных автомобильных дорог правилам.

Для назначения отверстия моста инженерная разведка должна собрать данные о существующих или разрушенных мостах на этой же водной преграде. Если расчет отверстия моста выполняется по методике.

Разведка местных материалов и других ресурсов должна установить в заданном районе:

- наличие местных плавучих средств, прежде всего речных барж, буксиров, а также причалов, пристаней и судоремонтных баз;
- места возможной организации лесосек, качество и запасы леса в них, условия заготовки и вывозки, возможность развертывания в лесосеках площадок заготовки конструкций;
- склады материалов, пригодных для строительства моста;
- карьеры каменных материалов, условия их заготовки и подвоза;
- местные промышленные предприятия (лесопильные и деревообрабатывающие, кузнечные, ремонтные и металлообрабатывающие) и возможности их использования в интересах восстановления моста;
- возможность привлечения местного населения или местных строительных или эксплуатационных организаций на строительные.

Ориентировочные затраты материалов, рабочей силы и потребность в технических средствах определяются по схеме моста и продольному профилю перехода с использованием укрупненных нормативов.

Для временного восстановления моста на старой оси инженерная разведка должна дополнительно собрать следующие сведения:

- о конструкции моста до разрушения (оформляется схемой);
- характере и объемах (схема разрушенного моста в эскизы повреждений);

– состоянии пролетных строений и опор, возможности их использования при восстановлении мостового перехода;

Характер и объем разрушений фиксируются в виде эскизов с необходимыми пояснениями, составленными на основе осмотров и обмеров повреждений. Допускается применение масштабного фотографирования конструкций и их дефектов вместо составления эскизов.

Эскизы или фотографии повреждений и характерных узлов сохранившейся части моста нумеруются в соответствии с номером этого узла на схеме разрушения моста. К эскизам повреждений прилагаются графические или письменные предложения по способам их ремонта и усиление.

Положение в плане и профиле обрушенных или смещенных частей моста определяется геодезическими точными способами. Расположение не используемых при восстановлении и подлежащих удалению обломков может определяться упрощенными методами, если эти обломки не могут помешать сооружению новых опор или выполнению других восстановительных работ.

Полевой проект временного моста на обходе должен включать следующие документы:

– план перехода на карте крупного масштаба с указанием рассмотренных вариантов расположения моста на местности, строительных площадок, пунктов заготовки материалов и конструкций, путей подвоза и выдвигания строительной техники;

– продольный профиль мостового перехода, включающий подходы, по принятому варианту;

– схемы вариантов конструкции моста с характерными поперечными сечениями; для принятого варианта разрабатывается план свай опор и ледорезов с указанием измеренных глубин воды по углам опор;

– график производства работ, в котором особо показываются виды работ, выполняемые после ввода моста в эксплуатацию (строительство ледорезов, расчистка русла и укрепительные работы, возведение регуляционных сооружений);

– схемы организации наиболее сложных и ответственных работ (сборка, установка надстроек опор, пролетных строений, возведение подходов, заготовка конструкций и т. п.);

– пояснительная записка с расчетами отверстия моста, схемой расположения реперов и закрепления оси моста, и обоснованиями принятого варианта схемы моста и организация работ.

При восстановлении моста на старой оси состав полевого проекта дополняется схемами моста до и после разрушения, чертежами, схемами, а при необходимости отдельными графиками работ на подъемку пролетных строений, изготовление нетиповых конструкций, ремонт и усиление поврежденных элементов.

В разработке схемы моста следует руководствоваться существующими типовыми проектами низководных мостов. Величины пролетов назначаются согласно конкретным требованиям обеспечения судоходства, лесосплава, пропуска льда, а также минимальных затрат на сооружение моста.

#### Список литературы

- 1 Военные автодорожные мосты. Инструкция по определению условий пропуска техники. – М. : Воениздат, 1977.
- 2 Военные мосты на жестких опорах. – М. : Воениздат, 1982.
- 3 Восстановление автодорожных мостов : учеб. – Л. : ВАТТ, 1966.
- 4 Инструкция по военным высоководным мостам. – М. : Воениздат, 1976.
- 5 Подготовка водолазов инженерных войск : учеб. пособие. – М. : Воениздат, 1980.
- 6 Руководство по хранению дорожной техники и военно-дорожного имущества в воинских частях, на базах и складах. – М. : Воениздат, 1974.

УДК 625.8

## СРЕДСТВА ПЕРЕДВИЖЕНИЯ ПАРОМОВ

*П. А. КАЛЕЕВ, А. В. СТАРОВОЙТОВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Паромные переправы рекомендуются для использования:

- на широких водных преградах и в случае затопления пойм;
- при недостатке средств для наводки моста;
- для переправы отдельных тяжелых машин в сочетании с мостом малой грузоподъемности;
- при сильном воздействии противника, не позволяющем эксплуатацию моста;
- в условиях ледохода или плывущих по реке обломков, леса;

– на второстепенных дорогах, где пропускная способность паромной переправы достаточна.

Паромная переправа должна включать следующие основные части:

- перевозные паромы;
- пристани с дорожными подходами;
- средства передвижения паромов;
- специальную обстановку пути движения паромов;
- средства связи и управления переправой.

При отсутствии готовых причалов пристани паромной переправы следует располагать на участках реки с имеющимися подходами и достаточной глубиной у берега, чтобы избежать затрат на сооружение длинных береговых эстакад над мелководьем и прокладку дорог. Глубина воды у пристани и очертания берега должны обеспечивать свободный разворот паромов и по возможности естественную защиту пристани от плывущих предметов и льда. В ходе технической разведки должны быть выявлены все отмели и прочие препятствия в русле реки, способные помешать работе переправы. В ходе организации переправы эти опасные места обставляются сигнальными вехами, обеспечивающими круглосуточную работу паромов.

Передвижение паромов от берега к берегу может быть обеспечено:

- буксировкой на тросе или толканием буксирными катерами;
- использованием в качестве паромов самоходных барж;
- буксировкой на тросе от тягача или лебедки на берегу или пароме;
- использованием силы течения воды;
- с помощью навесных моторов, вручную по поперечному тросу, на веслах и другими способами
- при отсутствии буксирной техники.

Необходимая индикаторная мощность буксира в лошадиных силах определяется по формуле

$$N = \frac{Rv_n}{75\mu},$$

где  $R$  – сопротивление ветра и течения воды движению парома, зависящее от расчетной скорости течения, равной  $v_n$ ;  $v$  – скорость движения парома против течения в м/с, равная сумме скорости течения и скорости движения парома относительно берега;  $\mu$  – пропульсивный коэффициент полезного действия, принимаемый для речных буксирных судов равным 0,3, а для буксирных катеров мостовых частей – 0,2.

Если известно тяговое усилие буксиров, то число их подбирается так, чтобы суммарное тяговое усилие буксирующих паром судов превосходило сопротивление движению парома  $R$  не менее чем на 25 %. Для одного буксира этот запас тяги не предусматривается. Длина буксирного троса должна быть не менее длины парома. Для передвижения паромов способом толкания мощность буксиров может быть уменьшена на 10–15 %.

Тяговое усилие лебедок или тягачей,двигающих паром на поперечном тросе, должно быть не менее сопротивления  $R$ , вычисленного без учета скорости течения, т. е. для движения парома только поперек реки. Команда для перемещения парома вручную назначается из расчета 25 кг тягового усилия на одного человека.

Использование силы течения для перемещения парома возможно на прямых участках реки с устойчивым и быстрым течением. Паром-самолет на продольном тросе целесообразен на судоходных и сплавных реках. Якорь или куст свай для крепления продольного троса удаляется от створа пристаней вверх по течению на расстояние не менее 1,5 ширины реки.

Для паромов-самолетов выбираются длинные и узкие плавучие опоры с высоким бортом. Площадь руля судна должна быть не менее половины подводного поперечного сечения опоры. Движение парома обеспечивается установкой опор под углом 45–55° к направлению течения. Продольный трос необходимо поддерживать на воде поплавками, поставленными через 30–10 м. Поперечный трос натягивается над водой с возможно меньшей слабиной, увеличивающей сопротивление бегучему блоку которому крепятся тросы парома. Переправа на поперечном тросе возможна на нешироких реках. Кроме использования силы течения воды может быть применена тяга с берега или с помощью лебедки с реверсивным ходом на пароме. В последнем случае концы тягового троса крепятся на берегах, а на барабанах лебедки должно быть достаточное для обеспечения тяги трением число витков троса.

## Список литературы

- 1 Кучинский, Э. П. Мосты и переправы на автомобильных дорогах. В 3 ч. Ч. 1 : Табельные разборные и наплавные мосты, паромные переправы : учеб. пособие / Э. П. Кучинский, С. М. Бобрицкий, А. А. Цивелев. – Гомель : БелГУТ, 2016. – 235 с., 1977.
- 2 Военные мосты на жестких опорах. – М. : Воениздат, 1982.
- 3 Инструкция по военным высоководным мостам. – М. : Воениздат, 1976.
- 4 Подготовка водолазов инженерных войск : учеб. пособие. – М. : Воениздат, 1980.
- 5 Руководство по хранению дорожной техники и военно-дорожного имущества в воинских частях, на базах и складах. – М. : Воениздат, 1974.
- 6 Технические условия проектирования военных автодорожных мостов и переправ (ТУВАМ). – М. : Воениздат МО СССР, 1974. – 423 с.

УДК 625.8

## ТРАНСПОРТ И ЕГО ОПАСНОСТИ. ПРАВИЛА ПОВЕДЕНИЯ

*И. Д. КАРПЕНЯ, Н. А. БАСОВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Жизнь современного общества невозможна без транспорта, современные транспортные средства обеспечивают скорость, комфортабельность, безопасность передвижения. Наряду с этим они являются причиной возникновения чрезвычайных ситуаций, в результате которых травмируются и гибнут люди, повреждаются или уничтожаются транспортные средства и перевозимые грузы, наносится ущерб окружающей природной среде.

К основным видам транспорта относятся: автомобильный, железнодорожный, авиационный, водный. Для того чтобы сократить число чрезвычайных ситуаций на транспорте и минимизировать последствия, необходимо знать и строго соблюдать требования по эксплуатации транспортных средств, правила дорожного движения, правила поведения пешеходов и пассажиров, уметь действовать в случае возникновения ЧС на транспорте. Основным средством для перевозки пассажиров и грузов на небольшие расстояния (100–200 км) является автомобильный транспорт. В нашей стране на его долю приходится более 50 % объема всех пассажирских и 75 % грузовых перевозок. В 2003 г. автомобильным транспортом было перевезено около 25 млрд пассажиров, что составляет 52 % от общего объема перевозок всеми видами транспорта.

Автомобильный транспорт занимает лидирующее положение по числу ЧС и количеству человеческих жертв. По данным ООН, в результате дорожно-транспортных происшествий (ДТП) ежегодно в мире погибает около 1,3 млн чел., становятся инвалидами 8 млн чел., экономические потери составляют в среднем 500 млрд дол. Автодорожный травматизм занимает третье место в мире среди причин смертности населения. Каждые сутки в России происходит более 400 ДТП, в них погибает более 80 чел., травмируется около 500 чел. Ежегодно на дорогах России регистрируется более 160 тыс. ДТП, в которых участвуют транспортные средства: автомобили, мотоциклы, мотороллеры, трамваи, троллейбусы, тракторы и другие самоходные механизмы. В ДТП ежегодно погибает в среднем 30 тыс. россиян, инвалидами становятся около 200 тыс. чел.

ДТП – это событие, возникшее с участием хотя бы одного находящегося в движении механического транспортного средства, повлекшее за собой гибель или ранение людей, повреждение транспортных средств, сооружений, грузов или иной материальный ущерб. Источником повышенной опасности на дорогах является совокупность факторов, среди которых на одном из первых мест стоят автомобили. Это связано с огромным их количеством, большой скоростью движения, массой, ограниченной маневренностью, наличием «человеческого фактора», невозможностью мгновенной остановки в случае возникновения опасной ситуации. Если автомобиль движется со скоростью 60 км/ч, то после начала торможения он проходит путь в 15 м, при скорости 100 км/ч тормозной путь увеличивается в четыре раза и составляет 60 м. Чаще всего в результате ДТП транспортные средства резко останавливаются после удара или опрокидывания, деформируются, происходит заклинивание дверей, нередки пожары, взрывы, выбросы опасных веществ. Транспортное средство с людьми может оказаться в воде, в лавине, селевом потоке и т. д.

Причины ДТП: незнание или нарушение правил дорожного движения; превышение скорости; вождение транспортного средства в нетрезвом состоянии; неисправность транспортного средства; плохое состояние дороги; переход проезжей части дороги в неустановленном месте; наезд на пешехода; неумение ориентироваться в сложной дорожной обстановке; неблагоприятные погодные условия: туман, гололед, дождь, снегопад.

### Список литературы

- 1 Правонарушения в Республике Беларусь. Статистический сборник. – Минск, 2015. – С. 134.
- 2 Дорожно-транспортные травмы // Информационный бюллетень № 358 Всемирной организации здравоохранения (октябрь 2015) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://portalramn.ru/> – Дата доступа : 09.12.2015.
- 3 Статистика ДТП на статистическом портале [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://statistica.RU>. – Дата доступа : 09.12.2015.

УДК: 625.8

## ТЕХНИЧЕСКОЕ ПРИКРЫТИЕ СЕТИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

*П. А. КАЦУБО*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В современной войне автомобильные дороги занимают особое место в системе транспортного обеспечения боевых действий войск. Сеть автомобильных дорог развита лучше, чем других коммуникаций и обладают более высокой живучестью. В то же время заметна тенденция возрастания воздействия противника по автомобильным дорогам в связи с совершенствованием и развитием средств поражения на всю глубину оперативного построения войск и тыла. Выполненные исследования позволяют утверждать, что в ходе боевых действий подвергнутся ударам важные экономические объекты, значительная часть транспортных коммуникаций. Для обеспечения живучести автомобильных дорог создается система технического прикрытия. Элементами системы технического прикрытия ВАД являются: прикрываемые объекты, выделяемые силы и средства, а также система управления ими при техническом прикрытии. Организация технического прикрытия ВАД – это совокупность (система) мероприятий по планированию технического прикрытия, поддержанию постоянной готовности сил и средств к выполнению задач технического прикрытия, по оперативному управлению развертыванием технического прикрытия, подготовкой к восстановлению объектов, ведением восстановительных работ и всесторонним их обеспечением [1].

Автомобильные дороги всегда рассматривались как важнейший вид транспортных коммуникаций «двойного предназначения». В мирное время они призваны способствовать нормальному функционированию экономики и жизнедеятельности населения. В военное время, наряду с решением указанных задач, они используются для развертывания военно-автомобильных дорог и автомобильных дорог оборонного значения, предназначенных для обеспечения выдвижения войск, подвоза материальных средств и эвакуации всех видов автомобильным транспортом.

Современный уровень экономического развития страны характеризуется значительным ростом автомобильного парка и автомобильных перевозок. Увеличение объемов подвоза автомобильным транспортом объективно повышает роль автомобильных дорог как важнейших транспортных коммуникаций мирного и военного времени.

Особая значимость автомобильных дорог для экономики и обороны государства делают эти транспортные коммуникации объектами наиболее вероятного воздействия противника в военное время.

В результате массированных ударов, наносимых противником на большую глубину, уже в начале войны возможно нарушение работы экономического комплекса страны, срыв выдвижения войск и их изоляция от баз снабжения. Достижение этой цели предполагается проводить на основе комплексного воздействия разнородными силами и средствами по объектам транспортной системы. Как показывает опыт локальных войн, подобное воздействие будет носить многократно-повторный характер, что значительно повышает вероятность не только первичных, но и повторных разрушений противником объектов на сети автомобильных дорог. При этом разрушению могут подвергнуться не только особо важные объекты (большие мосты, тоннели, крупные транспортные узлы и др.), но и отдельные участки дорог, многочисленные средние мосты, путепроводы, а также энергетические объекты, химические и другие предприятия, расположенные вблизи дорог [2].

Решение проблемы обеспечения устойчивого функционирования автомобильных дорог невозможно без выполнения комплекса специальных мероприятий, проводимых с целью быстрого восстановления движения на сети дорог после ударов противника и называемых техническим прикрытием.

## Список литературы

- 1 Цивилев, А. А. Эксплуатация военно-автомобильных дорог : учеб. пособие / А.А. Цивилев, Э. П. Кучинский. – Гомель, 2014.
- 2 Учебник сержанта транспортных войск. Часть III. Тактико-специальная, специальная и техническая подготовка дорожно-мостовых подразделений. – Гомель : БелГУТ, 2014. – 818 с.

УДК 355.69-049.5

## ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ ВОИНСКИХ ПЕРЕВОЗОК

*С. В. КИРИК*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Боевая деятельность Вооружённых Сил непрерывно связана с передвижением войск, совершаемым, в том числе, и с использованием железнодорожного транспорта. Поэтому интересы обеспечения постоянной боевой готовности войск требуют от них умения осуществлять перевозки по железной дороге. Независимо от условий, в которых выполняются перевозки, войска должны быстро грузиться на железнодорожный подвижной состав и выгружаться на подготовленных и неподготовленных местах, совершать марш в обход разрушенных и зараженных участков и своевременно прибывать в назначенные командование районы в готовности выполнить поставленную задачу.

В современных условиях железнодорожный транспорт остается самым мощным видом сухопутного транспорта, используемым для обеспечения воинских перевозок.

Одним из основных требований, предъявляемых к организации воинских перевозок, является их выполнение в установленные сроки и с максимальной скоростью.

Важным этапом, требующим значительных затрат времени при выполнении воинских перевозок, является погрузка и выгрузка вооружения, военной и специальной техники (далее – ВВСТ) на открытый подвижной состав.

Продолжительность погрузки и выгрузки воинских эшелонов и транспортов значительно зависит от способов закрепления ВВСТ на железнодорожном подвижном составе. В большинстве случаев перевозимые войска не оснащены табельными цепными и тросовыми растяжками, универсальными многооборотными средствами крепления, продолжают крепиться по старинке: при погрузке колесной техники применяется второй способ крепления, при погрузке гусеничной техники – третий: деревянными упорными брусками и проволочными (табельными) растяжками [1]. У этих способов крепления есть ряд недостатков:

1 Проволоку, гвозди, а в некоторых случаях и деревянные бруски, для крепления ВВСТ на железнодорожном подвижном составе можно использовать только один раз.

2 Закрепление проволочными растяжками и деревянными брусками требует определённых навыков у личного состава и значительного запаса времени на их установку.

3 Есть вероятность ослабления проволочных растяжек в пути следования, что приводит к необходимости их периодического подкручивания.

Необходимость подкручивания проволочных растяжек в пути следования увеличивает время стоянки поездов с воинскими эшелонами и транспортами на станциях, что приводит к увеличению сроков доставки воинских эшелонов и транспортов к месту назначения. Кроме того, в пути следования может произойти обрыв проволочных растяжек, что может привести к падению груза или его части на железнодорожный путь, смещению, развороту и выходу груза за установленный габарит погрузки или подвижного состава.

Таким образом, на данный момент актуальной является проблема совершенствования средств крепления ВВСТ на железнодорожном подвижном составе, что повысит безопасность и эффективность воинских перевозок.

Одним из способов решения данной проблемы является использование для закрепления ВВСТ на железнодорожном подвижном составе многооборотных средств крепления, таких как универсальные многооборотные крепления (далее – УМК), металлические шпоры.

В состав современных комплектов УМК входят металлические продольные и поперечные упоры, пружинные мягкие или твердые растяжки.

Металлические шпоры, используемые для перевозки гусеничной техники, также имеют ряд недостатков. Например, при закреплении ВВСТ данным способом, шпора препятствует перемещению закрепленной машины только в поперечном направлении. Для предотвращения перемещения гусеничной машины в продольном направлении необходимо, чтобы у перевозимого образца ВВСТ была с исправными тормозными устройствами. В состав современных комплектов металлических шпор помимо самих металлических шпор, предназначенных для крепления образца ВВСТ на железнодорожной платформе, входят скобы стопорения гусениц, которые препятствуют перемещению образца ВВСТ вдоль платформы.

Применение многооборотных средств крепления для закрепления ВВСТ на подвижном составе позволит:

1 Сократить время на погрузку (выгрузку) и закрепление ВВСТ на железнодорожном подвижном составе, а также уменьшить сроки доставки воинских эшелонов и транспортов к месту назначения.

2 Существенно снизить затраты Министерства обороны Республики Беларусь на материалы, применяемые для закрепления ВВСТ при перевозке железнодорожным транспортом.

3 Уменьшить себестоимость воинских перевозок.

Другим немаловажным фактором, влияющим на сроки выполнения воинских перевозок, является обученность личного состава перевозимых войск, а также наличие уточненных расчетов на перевозку сил и средств воинской части на перевозку железнодорожным транспортом. Например, при организации воинских перевозок в Грузино-Южносетинском конфликте в августе 2008 года, слабая обученность личного состава воинских частей правилам погрузки, размещения и крепления техники, слабая подготовка водителей, неподготовленность военной техники и грузов стали причиной превышения временных норм погрузки воинских эшелонов. Отдельные эшелоны грузились более суток [2]. Отсутствие уточненных расчетов на перевозку железнодорожным транспортом в соединениях и воинских частях может вызывать дополнительные затраты времени на определение в потребности подвижного состава, что может оказать существенное влияние на сроки подачи заявок на погрузку.

Тенденции изменения содержания вооруженной борьбы на современном этапе требуют от транспорта высоких темпов переброски войск, обеспечение маневра силами и средствами в сжатые сроки, оперативного подвоза материальных средств войскам, гибкого реагирования на изменение обстановки. Обучение личного состава перевозимых войск правилам погрузки, размещения и крепления техники на железнодорожном подвижном составе, применение многооборотных средств крепления для закрепления ВВСТ на железнодорожном подвижном составе, своевременное уточнение расчетов на перевозку железнодорожным транспортом позволит повысить эффективность воинских перевозок и выполнить их в установленные сроки.

#### Список литературы

1 Инструкция о порядке размещения и закрепления вооружения и военной техники на железнодорожном подвижном составе для перевозки в составе воинских эшелонов и транспортов : утв. приказом Министерства обороны Респ. Беларусь от 14.06.2004 № 20.

2 **Кириченко, А. В.** История военных сообщений русской, советской и российской армии : [монография] / А. В. Кириченко, И. В. Мартыненко. – М., 2017. – 710 с.

УДК 656.224

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ НАВЫКОВ РАБОТЫ НА ПОЖАРНЫХ НАСОСАХ

*В. В. КОПЫТКОВ*

*Гомельский филиал Университета гражданской защиты МЧС Республики Беларусь*

Актуальным вопросом в настоящее время является установившаяся тенденция роста человеческих жертв в результате дорожно-транспортных происшествий. Так, за последних 10 лет доля погибших в дорожно-транспортных происшествиях составляет от 14 до 20 % от общего количества погибших по различным причинам. Горькая статистика свидетельствует, что при дорожно-транспортных происшествиях часто наблюдается пролив топлива, что может приводить к возгоранию автомобиля с заблокированными людьми. Именно в таких ситуациях необходимо оперативно создавать пенную подушку с использованием пожарной автоцистерны.

Для поддержания практических навыков работы на пожарных машинах в МЧС Республики Беларусь отведено время на служебную подготовку. Однако при совершенствовании навыков работы на пожарных насосах часто происходят нештатные ситуации, вследствие чего насосы приходят в негодность либо значительно снижается их ресурс работы.

Поэтому целью работы является разработка тренажера для отработки и поддержания навыков работы на пожарных насосах.

В качестве прототипа был взят широко распространенный вышедший из строя насос ПН-40У (рисунок 1).



Рисунок 1 – Внешний вид смонтированного на основании насоса

Тренажер работает в двух режимах:

Режим	Назначение режима
Обучение	Используется при обучении работников алгоритму работы на насосе
Контроль	Используется при контроле знаний алгоритму работы на насосе у работников

Общая схема управления тренажера представлена на рисунке 2, а его внешний вид представлен на рисунке 3.

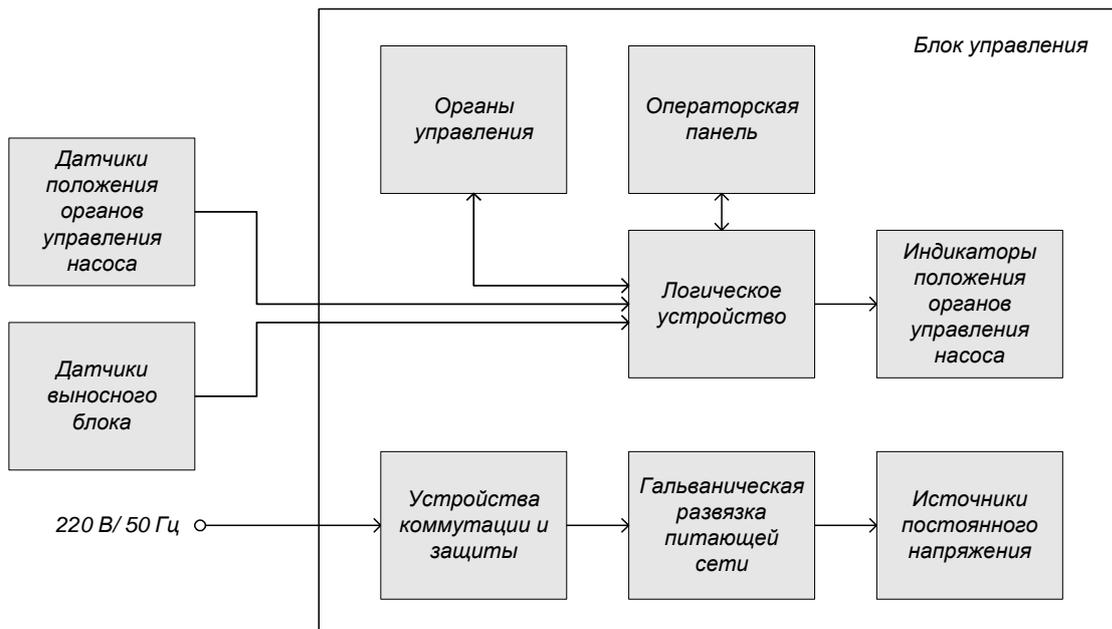


Рисунок 2 – Общая схема управления



Рисунок 3 – Внешний вид разработанного тренажера

Использование разработанного тренажера позволяет повысить навыки водителей без использования автоцистерн, а также снизить финансовые затраты на амортизацию пожарных автомобилей и топливо.

УДК 629.4.082.3

## **ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ В НЕШТАТНОЙ СИТУАЦИИ**

*Т. С. КОРОЛЁНОК*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В результате воздействия природных и техногенных факторов периодически происходят нарушения электроснабжения различных объектов. В отдельных случаях отрезанными от промышленной сети оказываются целые населенные пункты. Анализ основных потенциальных источников военных угроз, прогнозируемых сценариев развязывания вооружённых конфликтов и военных действий, а также опыт военных конфликтов последнего десятилетия позволяют сделать вывод, что системы электроснабжения являются одним из первоочередных объектов массированных ударов авиации и высокоточного оружия. Все это приведет к необходимости восстановления электроснабжения отдельных объектов, потребителей и даже единичных электроприемников. При этом требуемая мощность будет сильно различаться. Из вышеизложенного следует, что задачи по восстановлению электроснабжения различных по назначению и потребляемой мощности электроприемников являются актуальными, как в мирное время, так и в условиях военного конфликта.

В данной статье предлагается алгоритм принятия решения по обеспечению (восстановлению) электроснабжения мобильных и удаленных от стационарной сети потребителей в аварийной ситуа-

ции на основе комплексного (согласованного) использования различных образцов вооружения, военной специальной техники (ВВСТ).

В настоящее время нет алгоритма принятия решения по обеспечению (или восстановлению) устойчивого электроснабжения потребителей в случае их удаления от источников. Нет четко определенных значений расстояний и потребляемых мощностей, которые позволяли бы однозначно принимать решение о целесообразности прокладки нового или восстановления поврежденного участка воздушной линии электропередач (ВЛЭП), использования автономного электроагрегата (ЭА), передвижной электростанции (ПЭС) или альтернативного источника электроэнергии. Номенклатура ВВСТ, стоящих на вооружении транспортных войск довольно обширна. Условно все образцы можно разделить по следующие группы:

- источники, предназначенные для выработки электрической энергии и обеспечения ею потребителей (электроагрегаты и электростанции);
- потребители, оборудованные электроприводом и не имеющие в своем составе источника электрической;
- потребители, оборудованные электроприводом и имеющие в своей конструкции встроенный источник электрической энергии;
- потребители, оборудованные электроприводом и имеющие в своем составе автономный, легко заменяемый источник электрической энергии;

В зависимости от условий и места эксплуатации отдельные образцы вооружения позволяют:

- потреблять электрическую энергию из промышленной сети;
- получать электрическую энергию из промышленной сети и распределять ее потребителям;
- вырабатывать электрическую энергию и распределять ее потребителям;
- вырабатывать электрическую энергию и выдавать ее во внешнюю сеть, соответствующей мощности.

В процессе применения источники электроэнергии могут быть выведены из строя по разным причинам. Для восстановления работоспособности электрифицированных машин и механизмов необходимо выполнить их ремонт или истребовать на замену исправный образец в довольствующем органе. Процесс ремонта может быть длительным, а иногда и невозможным. Время на истребование замены также продолжительно, что в условиях ограниченных сроков может привести к срыву выполнения поставленных задач. Поэтому целесообразно оценить наличие собственных сил (наличие необходимых источников и возможность их перераспределения) и принять решение об их перенацеливании. Таким образом, ВВСТ, оборудованная электроприводом, может рассматриваться в качестве аварийного источника или распределительного устройства. Еще более перспективным видится использование в этих целях образцов, имеющих электрическую трансмиссию и комбинированную силовую установку. Белорусский трактор «Беларус-3023» с электрической трансмиссией при необходимости может питать потребители мощностью до 175 кВт.

В рамках диссертационных исследований выполнены научно-исследовательские работы «Разработка комплексной системы электроснабжения мобильных и удаленных потребителей при проведении подразделениями транспортных войск учебно-практических занятий на объектах железнодорожного транспорта» и «Организация взаимного электроснабжения в нештатной ситуации образцов вооружения военной и специальной техники транспортных войск». В результате работ получены следующие результаты:

- выполнен анализ характеристик источников и потребителей электрической энергии, стоящих на вооружении транспортных войск;
- выработаны предложения по их использованию в зависимости от условий эксплуатации;
- предложен алгоритм принятия решения о способе восстановления электроснабжения мобильных и удаленных потребителей, который представлен на рисунке 1.

Алгоритм принятия решения о способе восстановления электроснабжения мобильных и удаленных потребителей будет включать следующие этапы:

- 1 Оценка причин и степени нарушения электроснабжения потребителя.
- 2 Определение характеристик потребителя, и его номинальной мощности.
- 3 Определение наличия и характеристик источника.
- 4 Сравнение характеристик источника и потребителя и оценка степени их взаимного соответствия.
- 5 Принятие решения о необходимости снижения мощности потребителя и определение способа выполнения.

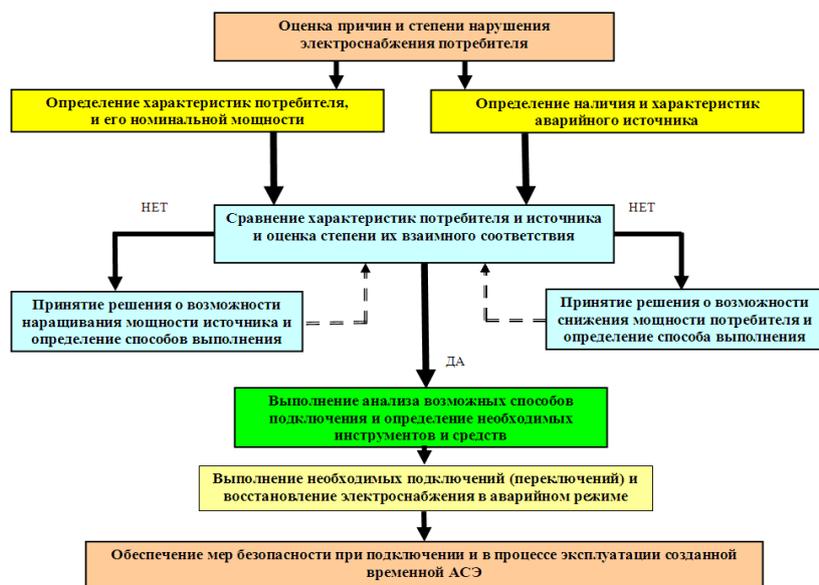


Рисунок 1 – Алгоритм принятия решения о способе восстановления электроснабжения мобильных и удаленных потребителей

6 В случае невозможности снижения мощности потребителей провести анализ способов наращивания мощности источника.

7 После приведения мощности потребителя и мощности источника в соответствие провести анализ возможных способов подключения и определение необходимых инструментов и средств.

8 Обеспечение мер безопасности при подключении и в процессе эксплуатации созданной временной автономной системы электроснабжения.

Предложенный алгоритм принятия решения о способе восстановления электроснабжения мобильных и удаленных потребителей позволяет выполнять решение задач по обеспечению и восстановлению электроснабжения удаленных и мобильных объектов, как в условиях Вооруженных Сил, так и при ликвидации последствий ЧС.

#### Список литературы

- 1 **Алексеев, А. П.** Эксплуатация электроагрегатов и передвижных электростанций / А. П. Алексеев, Л. И. Старостин. – М. : Воениздат, 1977. – 255 с.
- 2 **Балута, В. В.** Войсковые электротехнические средства: учеб. пособие / В. В. Балута, В. Г. Пацукевич, В. В. Куница ; М-во образования Респ. Беларусь, УО ВАРБ. – Минск : Военная академия Республики Беларусь, 1977. – 272 с.
- 3 Дизельные и карбюраторные электроагрегаты и станции. Справочник / А. П. Алексеев [и др.]. – М. : Машиностроение, 1973. – 544 с.
- 4 **Королёнок, Т. С.** Подвижные мастерские по ремонту и техническому обслуживанию вооружения, военной и специальной техники транспортных войск : учеб. пособие / Т. С. Королёнок, В. И. Гуринович, Н. Н. Галуза ; М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель, 2012. – 67 с.
- 5 **Королёнок, Т. С.** Электроагрегаты и передвижные электростанции : учеб. пособие / Т. С. Королёнок, С. А. Кулаков, С. Н. Матвеев ; М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель, 2012. – 140 с.
- 6 **Королёнок, Т. С.** Мобильный энергетический комплекс / Т. С. Королёнок, О. С. Мармозова // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности : материалы Междунар. конф. молодых ученых, Могилев, 17–18 ноября 2011 г. / М-во образования Респ. Беларусь, М-во образования и науки РФ, Белорус.-Рос. ун-т; редкол. : И. С. Сазонов (гл. ред.) [и др.]. – Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2011. – 290 с.
- 7 **Могила, В. С.** Использование транспортных средств с электрической комбинированной силовой установкой при ликвидации чрезвычайных ситуаций / В. С. Могила, Т. С. Королёнок // Чрезвычайные ситуации: теория, практика, инновации : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 24–25 мая 2012 г. В 2 ч. Ч. 1 / Гом. инженер. ин-т МЧС Респ. Беларусь, Гом. ф-л Нац. акад. наук Беларуси ; редкол. : И. И. Суторьма (науч. ред.) [и др.]. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2012. – 257 с.
- 8 **Могила, В. С.** Мобильный энергетический комплекс на базе транспортных средств с электромеханической трансмиссией / В. С. Могила, Т. С. Королёнок // Чрезвычайные ситуации: теория, практика, инновации : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 24–25 мая 2012 г. В 2 ч. Ч. 1 / Гом. инженер. ин-т МЧС Респ. Беларусь, Гом. ф-л Нац. акад. наук Беларуси ; редкол. : И. И. Суторьма (науч. ред.) [и др.]. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2012. – 257 с.
- 9 Гибридные системы электроснабжения для удаленных поселков [Электронный ресурс] – Режим доступа : <http://solair.ru/index.php/2011-03-31-09-09-07/41-hybridpos>. – Дата доступа : 27.01.2017.

УДК 351.8

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТРАНСПОРТНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПУТЯХ СООБЩЕНИЯ

А. В. ЛЯХ, А. М. КОРОЛЕВА

Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва

**Способы обнаружения террористически опасных территорий.** В первую очередь, выявить все регулярно используемые несанкционированные переходы и переезды. И помочь в этом может космическая съёмка. Спутниковые снимки широко применяются в ОАО «РЖД» для решения различных задач. Современные технологии позволили спутникам фотографировать Землю с очень большим, так называемым сверхвысоким, разрешением. Это даёт возможность различать предметы, имеющие размеры в несколько десятков сантиметров, не только в привычном нам видимом диапазоне цветов, но также и в инфракрасной, не воспринимаемой человеком части спектра. После специальной обработки таких снимков становятся видны детали, не различимые на обычном цветном кадре, сделанном, скажем, цифровым фотоаппаратом. Несанкционированные переходы видны на космических снимках как линии, пересекающие насыпь, чуть более светлого оттенка. Это объясняется тем, что на организованных переходах на щебень насыпи уложен настил, а «вольные» переходы его, естественно, не имеют. И частицы щебня, подвергаясь воздействию переходящих людей, трутся друг о друга и, очищаясь от налёта масел и окислов, светлеют. Использование космических снимков не всегда возможно по техническим, геополитическим и экономическим причинам. Возможность точечного контроля потенциально опасных участков применимо с помощью средств статистических данных и современных средств видеофиксации. А именно, на участках с наибольшим количеством жертв и близких к дачным территориям, базам отдыха или жилой застройке необходимо устанавливать средства видеофиксации, с помощью которых возможно будет получить полную картину места незаконного перехода гражданами, время и точное количество нарушителей.

**Методы модернизации. Первый метод.** Если несанкционированные места переходов были выявлены и все работы по предотвращению перехода в этом месте были выполнены в соответствии с требованиями, но количество несчастных случаев или переходов не сократилось, требуется изменить сам подход к предотвращению несанкционированных переходов железнодорожных путей. Для этого необходимо изменить конструкцию ограждения, то есть изменение основных материалов исполнения или вариант исполнения, а также дополнить участок перехода системой дистанционного контроля целостности основных защитных элементов конструкции или встроенную систему видеонаблюдения и освещения ограждаемого периметра.

**Второй метод.** Физическое увеличение конструкции (в высоту) ограждений или добавление нескольких дополнительных линий ограждений по периметру объектов инфраструктуры также позволят сократить число нарушений, ввиду осложнения перехода эшелонированной (с размещенной на определенном расстоянии) линии ограждений (рисунок 1).

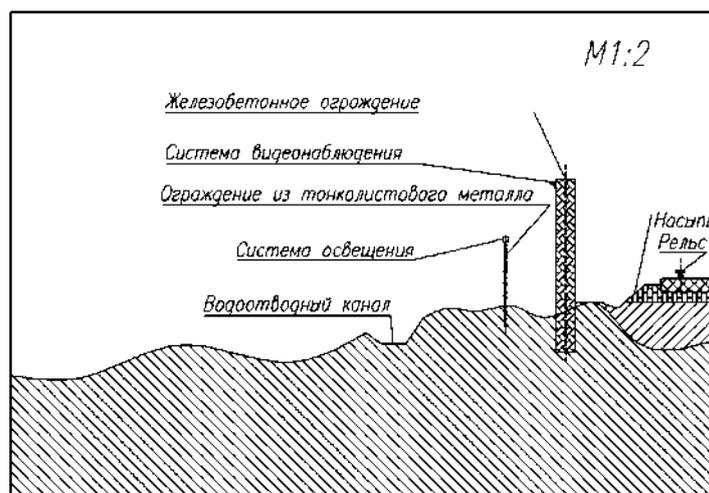


Рисунок 1 – Общая схема применения первого и второго методов

Второй и третий методы несут в себе хоть и увеличение безопасности, но и также крупные финансовые расходы на перестройку или постройку новых ограждений, ввиду этого предлагаю самый экономически выгодный *третий метод*. Внести изменения в Кодекс Российской Федерации об административных правонарушениях в статью 11.1, упразднив часть 5 (*влечет предупреждение или наложение административного штрафа в размере ста рублей*), и рассматривать несанкционированный переход как нарушение требований в области транспортной безопасности и применять соответствующую статью Уголовного кодекса Российской Федерации, а именно статью 263.1 часть 1 (*наказывается штрафом в размере до восьмидесяти тысяч рублей или в размере заработной платы или иного дохода осужденного за период до шести месяцев либо ограничением свободы на срок до одного года*). Ужесточение наказания за нарушения правил перехода железнодорожных путей не позволит гражданам относительно к «перебеганию» железнодорожных путей и тем самым уменьшить количество нарушений.

**Заключение.** Количество железнодорожных аварий и несчастных случаев с гражданами с каждым годом растет. Комплекс мер по усложнению и усовершенствованию системы безопасности на железнодорожном транспорте позволит уменьшить как людские, так и экономические потери.

#### Список литературы

- 1 Кодекс Российской Федерации об административных правонарушениях от 30 декабря 2001 г.
- 2 Распоряжение ОАО «РЖД» О вводе в действие «Требований к ограждению железнодорожных путей для предупреждения несчастных случаев с гражданами».
- 3 Распоряжение ОАО «РЖД» от 23 декабря 2009 года № 2655р «Требования к пешеходным переходам через железнодорожные пути».
- 4 Количество несчастных случаев на железной дороге [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.rzd-partner.ru/zhd-transport/news/v-rzhd-rasskazali-skolko-chelovek-pogiblo-na-zheleznoy-doroge-v-etom-godu/>. – Дата доступа : 18.11.2020.
- 5 **Rubin, P. H.** The Economics of Crime / P. H. Rubin. – Cambridge, 1980.
- 6 **Shelling, T. C.** The Strategy of Conflict / T. C. Shelling. – Cambridge : Massachusetts, 1963. – P. 4.

УДК 625.11

## ПРИЧИНЫ ВЫСОКОГО ТРАВМАТИЗМА НА ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ МАШИНАХ

*С. В. МАКСИМЕНКО, В. И. ГУРИНОВИЧ, А. А. РУДЧЕНКО*  
*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Производственный травматизм наносит существенный моральный, материальный и социальный ущерб обществу, личности и государству. Большая доля травм связана с эксплуатацией и обслуживанием оборудования, машинной техники, в том числе и грузоподъемной.

Для примера на территории РФ в 2012 году в 83 921 предприятиях, поднадзорных Федеральной службе по экологическому, технологическому и атомному надзору эксплуатируется 815 727 подъемных сооружений. В их числе 243 952 грузоподъемных крана, 530 519 лифтов, 128 подвесных канатных, 427 буксировочных канатных дорог, 3 фуникулера, 10 185 эскалаторов и более 6 тыс. грузопассажирских строительных подъемников и подъемников для инвалидов [1]. Статистика показывает: за 10 лет с 2002–2012 количество подъемных сооружений в России увеличилось на 85 805 единиц. Максимум зафиксирован в 2012 году и составил 815 727 единиц техники.

Так, на территории РФ при эксплуатации подъемных сооружений в среднем за год происходит 50 аварий, влекущих за собой в среднем 100 несчастных случаев со смертельным исходом. Таким образом, при каждой аварии погибает 2 или более человек. В 2012 году на предприятиях, эксплуатирующих грузоподъемные сооружения, произошло 49 аварий. По сравнению с 2002 годом, тогда произошло 34 аварии, видно, что число аварий увеличилось при значительном уменьшении единиц грузоподъемной техники. Максимум зафиксирован в 2004 году – 50, а минимум приходится на 2009 год – 28 аварий.

Что касается летального травматизма за указанное время, то травматизм с 507 случаев, произошедших в 2002 году, уменьшился до 127, произошедших в 2012 году. Максимум же несчастных случаев с летальным исходом отмечен в 2002 году – 507. Терять только в этой отрасли

до 100 человек в год – непозволительно. Поставим вопрос: какие же меры принимаются по предотвращению травматизма.

Сегодня вся грузоподъемная техника в обязательном порядке оборудована приборами безопасности: это ограничитель нагрузки, сигнализатор напряжения, блок управления горизонтированием, анемометр, гидроклапаны и гидрозамки. Основными факторами аварий в период 2002–2012 гг. являются: неисправность технических устройств безопасности, неудовлетворительный контроль за соблюдением требований промышленной безопасности, а также нарушение технологической и трудовой дисциплины, неправильные, или несогласованные, действия обслуживающего персонала.

Большинство аварий происходит по причине неисправности приборов безопасности. Эти приборы, по своей сути, должны сводить к минимуму аварийность, но по информации Ростехнадзора, именно их неисправность является наиболее частой причиной аварии. В 31 % случаев причиной аварии являются приборы безопасности, еще 25 % приходится на неисправность технических устройств [1].

При анализе патентной базы данных РФ в области обеспечения безопасности при использовании грузоподъемных сооружений выявлено наиболее развитое направление исследования приборов безопасности – это создание (модернизация) приборов безопасности, контролирующих и ограничивающих нагрузку [2]. Работа прибора безопасности сводится к следующему принципу: приборы, обеспечивающие безопасность, определяют нагрузку, действующую на рабочий орган грузоподъемной машины в продольно-вертикальной плоскости, анализируя вес груза, вылет и наклон стрелы, и затем сравнивают его с ранее рассчитанным безопасным значением для данной грузоподъемной машины, и при приближении к пороговому значению предупреждают оператора звуковым и/или световым сигналом. А при превышении порогового значения блокирует систему управления, обеспечивая тем самым безопасность.

#### Список литературы

1 Федеральная служба по экологическому и атомному надзору [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.gosnadzor.ru>. – Дата доступа : 18.11.2020.

2 Патент РФ № 2343103/ В66С13/18 В66С23/88В66С15/00 / Система защиты грузоподъемной машины / В. А. Корвин, К. В. Коровин.

УДК 656.2.08

## БЕЗОПАСНОСТЬ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

*Д. В. МАЛАШКОВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Наряду с бесспорными достоинствами автомобилизации появляется тенденция к увеличению человеческих и материальных потерь вследствие аварий, связанных с транспортными средствами. Автомобиль представляет собой потенциальный источник повышенной опасности для людей, которая резко возросла в последние годы в результате роста мощности двигателей и скорости движения. В связи с этим требования к конструктивной безопасности транспортных средств возрастают.

Безопасность транспортного средства подразумевает такие эксплуатационные и динамические качества, которые уменьшают вероятность дорожно-транспортного происшествия (ДТП), а в случае его возникновения – исключение травм водителя, пассажиров и снижение их последствий.

Конструктивная безопасность транспортного средства включает в себя активную, пассивную, послеаварийную и экологическую безопасность транспортного средства.

Активная безопасность – это свойство транспортного средства предотвращать дорожно-транспортное происшествие (снижать вероятность его возникновения). Активная безопасность проявляется в период, соответствующий начальной фазе дорожно-транспортного происшествия, когда водитель еще в состоянии изменить характер движения транспортного средства (ТС).

Активная безопасность транспортного средства зависит от его конструкции: габаритных и весовых параметров, тяговой и тормозной динамичности, устойчивости и управляемости.

Конструктивная безопасность является одним из обобщенных свойств ТС. Для количественной характеристики применяют показатели эксплуатационных (минимальный тормозной путь, макси-

мальное замедление, критические скорости по условиям заноса и опрокидывания и т. п.) и других свойств.

Под пассивной безопасностью подразумевается комплекс эксплуатационных свойств транспортного средства, обеспечивающих снижение тяжести последствий ДТП. Пассивная безопасность вступает в действие, если водителю не удалось избежать аварии, и обеспечивает уменьшение инерционных нагрузок на водителя и пассажиров, ограничение перемещения их в кабине, защиту от травм, увечий при ударе, устранение возможности выбрасывания из кабины в момент столкновения.

Различают внутреннюю и внешнюю пассивную безопасность. Под внутренней пассивной безопасностью понимают свойства транспортного средства, снижающие тяжесть последствий ДТП для водителя и пассажиров, находящихся в транспортном средстве. Внешняя пассивная безопасность – свойства транспортного средства, позволяющие снизить тяжесть последствий для других участников ДТП (пешеходов, водителей и пассажиров других транспортных средств).

Послеаварийная безопасность – это свойства транспортного средства снижать тяжесть последствий ДТП.

К элементам послеаварийной безопасности относятся конструктивные свойства автомобиля, предотвращающие возникновение опасных явлений (пожар, заклинивание дверей), возникающих в результате ДТП. К элементам послеаварийной безопасности можно также отнести средства аварийной сигнализации и связи, средства оказания медицинской помощи пострадавшим в результате ДТП.

Наибольшую опасность для водителя и пассажиров представляет возгорание транспортного средства. Хотя, по данным статистики, вероятность возгорания при ДТП составляет 0,3–1,2 %, оно приводит к тяжелейшим последствиям.

Взаимосвязь различных видов безопасности и противоречивость требований, предъявляемых к конструкции транспортных средств, вынуждают конструкторов и технологов принимать компромиссные решения.

Экологическая безопасность – это свойство автомобиля, позволяющее уменьшать вред, наносимый участникам движения и окружающей среде в процессе его нормальной эксплуатации. Мероприятиями по уменьшению вредного воздействия автомобилей на окружающую среду следует считать снижение токсичности отработавших газов и уровня шума.

Основными загрязняющими веществами при эксплуатации автотранспорта являются: выхлопные газы; нефтепродукты при их испарении; пыль; продукты истирания шин, тормозных колодок и дисков сцепления, асфальтовых и бетонных покрытий.

Ярким примером неблагоприятного влияния развития производства на окружающую среду может служить автомобилизация. Автомобили оказывают вредное воздействие на природу и человека, так как в отработанных продуктах содержатся опасные для здоровья и окружающей среды компоненты, при движении автомобилей возникает шум.

При дорожно-транспортных происшествиях наносится материальный ущерб (уничтожение и повреждение грузов, транспортных средств и сооружений) и возможны гибель и ранение людей. По данным Всемирной организации здравоохранения на автомобильных дорогах мира ежегодно гибнет (в том числе и от послеаварийных травм) свыше 900 тыс. человек, несколько миллионов становятся калеками, а свыше 10 млн человек получает травмы.

Источником загрязнения и истощения окружающей среды стала как сама трасса, так и её инженерные сооружения, объекты обслуживания, особенно места хранения нефтепродуктов, автозаправочные станции, станции технического обслуживания, мойки и т. п.

В отдельных городах и их агломерациях под воздействием автомобильного транспорта и других источников загрязнения образовались предельные экологические состояния, что препятствует устойчивому их развитию и требует кардинальных решений по улучшению их коммуникационной инфраструктуры.

Основными мероприятиями по предотвращению и уменьшению вредного воздействия автомобилей на окружающую среду следует считать:

- 1) разработку таких конструкций автомобилей, которые меньше загрязняли бы атмосферный воздух токсичными компонентами отработавших газов и создавали бы шум более низкого уровня;
- 2) совершенствование методов ремонта, обслуживания и эксплуатации автомобилей с целью снижения концентрации токсичных компонентов в отработавших газах, уровня шума, производимого автомобилями, и загрязнения окружающей среды эксплуатационными материалами;

3) соблюдение при проектировании и строительстве автомобильных дорог, инженерных сооружений, объектов обслуживания таких требований, как вписывание объекта в ландшафт; рациональное сочетание элементов плана и продольного профиля, обеспечивающее постоянство скорости движения автомобиля; защита поверхностных и грунтовых вод от загрязнения; борьба с водной и ветровой эрозией; предотвращение оползней и обвалов; сохранение животного и растительного мира; сокращение площадей;

4) использование средств и методов организации и регулирования движения, обеспечивающих оптимальные режимы движения и характеристики транспортных потоков, сокращение остановок у светофоров, числа переключения передач и времени работы двигателей на неустановившихся режимах.

#### Список литературы

- 1 Безопасность транспортных средств / В. А. Гудков [и др.]. – М. : Наука, 2009.
- 2 Яхьяев, Н. Я. Безопасность транспортных средств / Н. Я. Яхьяев. – М. : Academia, 2011.

УДК 656.2.08

## ТРАНСПОРТ И ЕГО ОПАСНОСТИ. ПРАВИЛА БЕЗОПАСНОГО ПОВЕДЕНИЯ НА ТРАНСПОРТЕ

*А. В. МАРДАНОВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Транспорт является неотъемлемой составляющей нашей жизни, среды нашего обитания. Невозможно представить себе существование современного общества без транспортных средств.

Транспорт – это отрасль материального производства, осуществляющая перевозки людей и грузов. Различают наземный, водный и воздушный транспорт. К наземным видам относятся железнодорожный, автомобильный и трубопроводный транспорт. Водный транспорт – морской, речной и озерный. Воздушный – авиационный транспорт. Транспорт подразделяется на транспорт общего пользования, обслуживающий сферу обращения товаров и население, транспорт необщего пользования (внутрипроизводственное перемещения сырья, полуфабрикатов, готовых изделий и т.п.), а также транспорт личного пользования. По характеру выполняемых работ транспорт подразделяется на грузовой, грузопассажирский и пассажирский.

Каждый вид транспорта имеет свои особенности, свои зоны повышенной опасности и свои правила безопасного пользования им.

Рассмотрим основные виды транспорта и их особенности.

### **Городской транспорт.**

К нему относятся автобус, троллейбус, трамвай, метро.

Автобус – самый распространенный вид транспорта в городах и населенных пунктах. Он легко маневрирует в транспортном потоке, может резко менять направления и скорость движения. Сами автобусы оборудованы не только необходимыми для удобства пассажиров во время движения элементами, но и необходимыми приспособлениями для обеспечения безопасности на случай аварии и других непредвиденных дорожных ситуаций.

Опасность можно разделить условно на следующие элементы: посадка и высадка; обычная поездка; аварийная ситуация.

Какие правила могут быть полезными в таких ситуациях?

- посадка и высадка производятся только после полной остановки;
- не стремитесь быть в первых рядах, особенно при ожидании на остановках;
- занимайте места подальше от прохода;
- обеспечивайте устойчивое положение в салоне, если нет возможности сесть, держитесь за поручни, лучше над головой. Низкий поручень при резком торможении не удержит от падения;
- находите всегда лицом в сторону движения, так у вас будет возможность иметь информацию об экстремальной ситуации;
- не передвигайтесь по салону во время движения. Если вы вынуждены это сделать, находите промежуточные точки опоры;

- обходить автобус необходимо сзади;
- при возникновении какой-либо опасной ситуации в первую очередь действовать по указанию водителя.

Метро – транспортное средство повышенной опасности. Метро – это огромная искусственная система, слаженно работающий механизм. Каждому, кто входит с ним в контакт, всегда следует помнить, что метро – зона повышенной опасности. Следует соблюдать правила пользования, которые можно прочитать в каждом вагоне.

Экстремальные ситуации в метро могут возникнуть: на эскалаторе; на платформе; в вагоне метро.

Опаснее всего нарушать правила безопасности на эскалаторе. Если вы не держитесь за поручень, то при экстренной остановке машины будет резкий толчок и вас по инерции бросит вперед. Чемодан, который вы не держали или поставили на поручень, понесется вниз, сбивая других пассажиров и светильники. Вдвое-втрое большая скорость спуска будет у того, кто бежал по эскалатору. Человек, который сидит на ступенях эскалатора, имеет все шансы не только упасть головой вниз, но и застрять полами одежды в ступеньках или гребенке.

Что же делать, если вы оказались на рельсах? Прежде всего не пытаться подтянуться за край платформы, поскольку под ней лежит 800-вольтный контактный рельс, и, хотя он укрыт кожухом, испытывать его изоляцию не стоит. Если поезд еще не выехал на станцию, то следует бежать «к голове» платформы (там, где зеленый свет и часы) – вы успеете, т. к. машинист обязательно начнет тормозить. Если поезд уже близко, необходимо лечь между рельсами – глубина лотка рассчитана на то, чтобы ходовая часть вагонов не коснулась лежащего человека.

Основные правила безопасности граждан при пользовании метрополитеном:

- при нахождении на эскалаторе следует стоять справа, лицом по направлению движения, держаться за поручень, проходить с левой стороны и не задерживаться при спуске с него;
- малолетних детей необходимо держать за руку или на руках, не разрешать им прислоняться к неподвижным элементам эскалатора;
- на платформе в ожидании поезда пассажирам следует размещаться равномерно по длине поезда.

#### **Железнодорожный транспорт.**

Особенностью железнодорожного транспорта являются использование рельсового пути, тяжесть железнодорожного состава, большие размеры тормозного пути при экстренном торможении и небезопасность такого торможения для состояния самого состава и для находящихся в них грузов и пассажиров.

Эти и другие особенности и факторы оказывают существенное влияние на безопасность железнодорожного транспорта, а следовательно, на экстремальность обстановки, которая может сложиться на железной дороге.

Основными причинами катастроф на железной дороге являются:

- неудовлетворительное состояние пути или поезда;
- ошибки машинистов;
- ошибки диспетчерских служб (включая стрелочников);
- неисправность сети электропитания железнодорожного состава.

Последняя причина особенно опасна. В случае пожара в поезде шансы пассажиров на спасение уменьшаются, и, соответственно, резко возрастает число жертв.

Аварии и катастрофы на железной дороге, к сожалению, уже стали ее печальной особенностью.

Памятка пассажиру поезда:

- не кладите тяжелые вещи на верхнюю заднюю (по отношению к локомотиву) багажную полку. Если же положить больше некуда, попробуйте закрепить вещи;
- если есть выбор, куда лечь, ложитесь на переднюю по отношению к локомотиву полку. Это избавит вас от травм в случае экстренного торможения поезда;
- не оставляйте на столике после еды режущие, колющие и бьющиеся предметы – ножи, вилки, стаканы и т. д.;
- передвигаясь по вагону во время движения поезда, придерживайтесь за поручни, поскольку всегда возможно экстренное торможение;
- курите только в специально отведенных местах. Следите за тем, чтобы по окончании курения сигарета обязательно была погашена.

Как спастись, если с вашим поездом произошла катастрофа? – Не паниковать.

## НЕКОТОРЫЕ СПОСОБЫ ОХРАНЕНИЯ ЧАСТЕЙ И ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ ТРАНСПОРТНЫХ ВОЙСК

С. В. НИКИТЕНКО

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Обеспечение воинских частей (подразделений) транспортных войск включает в себя: боевое обеспечение; идеологическую работу; техническое обеспечение; тыловое обеспечение.

В свою очередь боевое обеспечение включает в себя *охранение*, разведку, маскировку, инженерное обеспечение, РХБ защиту, радиоэлектронную защиту, топогеодезическое и навигационное обеспечение, и гидрометеорологическое обеспечение.

Охранение организуется во всех видах деятельности воинской части (подразделения): при передвижении – походное охранение; при расположении на месте – сторожевое охранение. Во всех условиях обстановки, кроме того, организуется непосредственное охранение. Особое внимание обращается на охранение ПУ.

Охранение организуется и осуществляется с целью не допустить проникновения разведки противника в район действий (расположения) своих воинских частей и подразделений, исключить внезапное нападение на них наземного противника, ДРГ, НВФ и обеспечить воинским частям и подразделениям условия для выполнения задач транспортного обеспечения.

Охранение может быть непосредственным, походным и сторожевым.

Походное охранение организуется для защиты колонн от возможного воздействия противника при их передвижении.

Сторожевое охранение выставляется при расположении воинских частей (подразделений) в районе сосредоточения (назначенном районе, на объекте технического прикрытия), когда существует угроза нападения наземного противника. Сторожевое охранение должно перекрывать все основные дороги и подступы к району расположения.

Непосредственное охранение организуют командиры подразделений, осуществляется оно, как правило, силами и средствами этих подразделений. Оно включает в себя наблюдателей за противником, выделяемых в подразделениях, наблюдательные посты у ПУ и районов расположения подразделений, патрули, внутренний наряд и дежурные подразделения, а в ночное время и секреты.

При выполнении восстановительных работ, когда воинские части (подразделения) на одном месте будут находиться непродолжительное время, основу охранения могут составлять наблюдатели, с дежурными огневыми средствами и патрули. При необходимости могут выставляться сторожевые посты. При этом патрули и наблюдатели должны находиться друг от друга на удалении зрительной связи. На данный момент охранение осуществляется сторожевыми постами в составе отделения, выставляемыми при необходимости на угрожаемые направления на удалении до 1500 м, на скрытых подступах – секретами в составе 2–3 человек, выставляемыми на удалении до 400 м от района расположения батальона, а в границах района расположения – непосредственным охранением, включающим парные патрули и постоянное дежурство наблюдателей на командно-наблюдательном пункте батальона.

В настоящее время структурные подразделения транспортных войск недостаточно оснащены техническими средствами, необходимыми для разведки труднодоступных и масштабных зон с целью не допустить внезапного нападения наземного противника, проникновения его разведки к главным силам и создания выгодных условий для организованного вступления в бой.

Наиболее перспективным направлением для решения данной проблемы, на наш взгляд, является применение беспилотных летательных аппаратов (далее БПЛА или дроны), которыми можно оснастить как секреты, наблюдателей, так и сторожевые посты.

БПЛА получает изображение с матрицы цифровой камеры, обрабатывает его, сохраняет в памяти и отправляет через спутник оператору наземной станции. Последний анализирует ситуацию и даёт команду, которая идёт тем же путём.

Достижения в этой области дают возможность осуществлять полет в автоматическом режиме от взлета до посадки, решать задачи по обеспечению разведки, поиска, выбора и уничтожения целей в любое время суток и при любых метеоусловиях.

Применение БПЛА позволит:

- продолжительно наблюдать в режиме реального времени за участком местности;
- осуществлять мониторинг оперативной обстановки;
- выявлять попытки проникновения разведки противника в район действий (расположения) своих воинских частей и подразделений, исключить внезапное нападение на них наземного противника, ДРГ, НВФ;
- проводить аэрофотосъемку территорий и объектов, для решения других задач.

Существуют различные виды беспилотных летательных аппаратов и беспилотных авиационных комплексов. Нас интересует такой вид БПЛА, как мультикоптер. Он может придаваться в помощь сторожевым постам, выставляемым при необходимости на угрожаемые направления на удалении до 1500 м от пункта постоянной дислокации, секретам, выставляемым на удалении до 400 м от района расположения батальона, а также наблюдателям на командно-наблюдательном пункте батальона. Мультикоптер – это многороторный летательный аппарат, в котором управление моторами осуществляется специальной платой электроники на основе сигналов с датчиков. Количество роторов мультикоптера может быть самым разным – от трех и более. Самая простая и распространенная конструкция – квадрокоптер. В квадрокоптере нет никаких лишних движущихся частей – только электроника и моторы с винтами. Вся тяга винтов идет на удержание модели в воздухе, каждый винт работает максимально эффективно, поэтому аккумулятора хватает на более продолжительное время, а также модель может нести больше полезного груза, более качественную цифровую видеокамеру с GPS-навигатором.

Винтов у квадрокоптера четыре и они маленькие, поэтому вибрации у него настолько малы, что его уже не слышно, когда он находится на высоте нескольких десятков метров. А на высоте около ста метров он совершенно не виден, зато ему видно все. Еще один плюс мультикоптеров – это их неприхотливость. Они без проблем летают в любую погоду. Радиус действия такого БПЛА порядка 300 м, время полета от 10 до 30 мин.

Для управления квадрокоптером достаточно пульта управления и приемника сигнала в руках всего у одного оператора, входящего в состав секрета или сторожевого поста.

Решаемые БПЛА задачи:

- наблюдение в заданном районе за земной и водной поверхностью;
- поиск и обнаружение наземных (надводных) объектов;
- передача видеоинформации оператору.

Квадрокоптеры выполняют вышеуказанные задачи на малых расстояниях и в короткий промежуток времени. Для выполнения задач на больших расстояниях и более длительных промежутках времени можно применять БПЛА типа тактического беспилотного авиационного комплекса (далее ТБАК или комплекс).

Одним из ТБАК белорусского производства является комплекс «Беркут-1Э», который предназначен для оснащения тактических подразделений по ведению оптико-электронной разведки местности в различных погодных условиях и в любое время суток, целеуказания огневым средствам.

Комплекс состоит из двух беспилотных летательных аппарата (БЛА), комплекта сменных целевых нагрузок (фотомодуль (фотокамера), модуль разведки в инфракрасном диапазоне (тепловизионная камера), модуль телевизионной разведки (телевизионная камера)), наземной станции управления, приемо-передающего устройства, контейнера для хранения и транспортировки беспилотного авиационного комплекса (БАК).

Решаемые комплексом задачи:

- наблюдение в заданном районе за земной и водной поверхностью, получение в реальном масштабе времени тепловизионного и телевизионного изображения местности;
- поиск и обнаружение наземных (надводных) объектов, определение их координат;
- передача разведывательной информации в реальном масштабе времени командирам подразделений тактического звена.

Основные характеристики комплекса указаны в таблице 1.

Технические возможности ТБЛА:

- полет в автоматическом режиме (с возможностью выполнять полет без участия оператора в соответствии с введенным полетным заданием, в том числе и выполнение посадки);
- полет в автоматизированном режиме (под управлением и по командам оператора);
- аварийное прекращение полета и возврат БЛА в заданный район в автоматическом режиме при нецелесообразности дальнейшего выполнения задания, в том числе и выполнение посадки.

Таблица 1 – Основные характеристики комплекса БЛА

Выполнение полета	В автоматическом режиме
Радиус действия	До 15 км
Способ взлета	«С руки»
Способ посадки	С использованием парашюта
Статический потолок полета с полезной нагрузкой	До 1000 м
Крейсерская скорость полета	В пределах 50–80 км/ч
Время полета	До 60 мин
Вес	До 3,5 кг
Вариант исполнения	Носимый
Боевой расчет	Не менее двух человек

Особенности и преимущества комплекса:

- запуск летательного аппарата осуществляется с руки. Для запуска не требуется подготовленной взлетно-посадочной полосы, что позволяет использовать БЛА в любом труднодоступном районе;
- возможен запуск летательного аппарата в черте городской застройки. Для безаварийной посадки БЛА с использованием парашюта достаточно ограниченной открытой площадки;
- комплекс обеспечивает возможность управления одним БЛА с наземной станции управления (НСУ). В базовой комплектации комплекс содержит до двух БЛА, однако возможно комплектование и большим количеством БЛА;
- конструкция БЛА обеспечивает его высокие лётные характеристики. БЛА выполнен по схеме «моноплана с толкающим винтом»;
- конструкция фюзеляжа позволяет осуществить быструю сборку и разборку, смену бортового оборудования, а также крепление целевых грузов без применения дополнительных (кроме имеющихся в ЗИП) технических средств и приспособлений.

Применение беспилотных летательных аппаратов является наиболее перспективным направлением в оснащении структурных подразделений транспортных войск техническими средствами, необходимыми для разведки труднодоступных и масштабных зон с целью не допустить внезапного нападения наземного противника, проникновения его разведки к главным силам и создания выгодных условий для организованного вступления в бой.

#### Список литературы

- 1 Боевой устав сухопутных войск. Ч. III. Взвод, отделение, танк. – Бобруйск, 2010.
- 2 Тактика подразделений дорожных войск : учеб. – М., 1993.
- 3 Тактика железнодорожных войск : курс лекций. – СПб., 2000.
- 4 Военные сообщения : учеб. пособие. – Гомель, 2014.
- 5 Тактика действия войск : курс лекций. – Гомель, 2014.

УДК 358.1

## ПРИМЕНЕНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ТЕХНИЧЕСКОЙ РАЗВЕДКИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО УЧАСТКА В ИНТЕРЕСАХ ТРАНСПОРТНЫХ ВОЙСК РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

В. В. ПЕТРУСЕВИЧ

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Значение того или иного вида, рода войск в огневом поражении противника определяется его вкладом в решение всего объема задач, выполняемого всеми силами и средствами. Роль Транспортных войск Республики Беларусь в операциях определяется объемом и важностью решаемых ими задач, их местом в системе транспортного обеспечения операций. Сегодня подразделения Транспортных войск являются основным и единственным средством в Министерстве обороны Республики Беларусь для строительства и восстановления железных дорог.

Эффективность применения подразделения Транспортных войск во многом зависит от проведения технической разведки. Основными задачами технической разведки являются: добывание разведывательных данных об разрушенных железнодорожных объектах, разведка местности вблизи этих объектов, наблюдение за положением и действиями противника и своих войск.

Для решения этих задач техническая разведка на сегодняшний день выполняется военнослужащими Транспортных войск на устаревших образцах техники (рисунок 1).

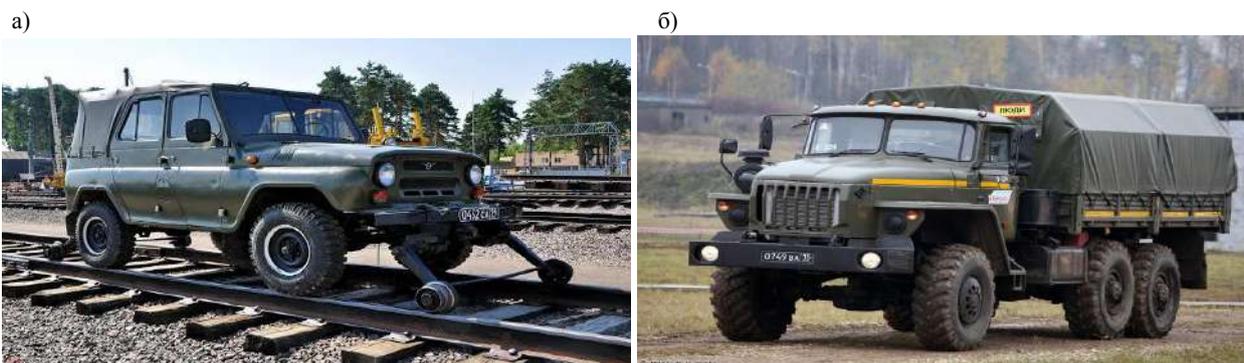


Рисунок 1 – Техника для проведения технической разведки:  
а – УАЗ на комбинированном ходу, б – УРАЛ-4320

Нельзя оставить без внимания и вопрос своевременности доведения разведывательной информации. Как известно, выполнение задач по строительству и восстановлению железнодорожного участка (объекта) напрямую связано со скоростью поступления достоверной информации от подразделений технической разведки.

Данное обстоятельство обуславливает ряд проблемных вопросов: низкая скорость используемых транспортных средств, отсутствие визуализации в режиме реального времени.

В настоящее время острота указанных проблем может быть частично снята применением беспилотных авиационных комплексов. Подтверждением этому является факт принятия на вооружение и применение их во многих армиях стран мира. Под беспилотным авиационным комплексом понимается совокупность функционально связанных и используемых совместно беспилотных летательных аппаратов (летательный аппарат без экипажа на борту), средств наземного управления, обеспечения, технического обслуживания и подготовки, необходимых для применения беспилотных летательных аппаратов по целевому назначению.

Основными особенностями беспилотного авиационного комплекса, способствующими выполнению ими разведывательных задач, являются:

- возможность ведения всех видов разведки (радиотехнической, радиолокационной, оптико-электронной и др.) на стратегическом, оперативном и тактических уровнях;
- возможность ведения круглосуточной разведки;
- высокая вероятность распознавания;
- высокая точность измерения координат распознанных объектов;
- высокая маневренность;
- малозаметность.

Кроме того, использование беспилотного летательного аппарата не приведёт к потерям личного состава. Положительным является также их относительно небольшая стоимость и низкие затраты на эксплуатацию.

Примером применения беспилотного авиационного комплекса является контртеррористическая операция российской группировки войск в Сирийской Арабской Республике. Исходя из информации, имеющейся в открытой печати в Сирийской Арабской Республике, было развернуто 33 беспилотных авиационных комплекса, включающих около 80 беспилотных летательных аппаратов.

Анализ применения беспилотных авиационных комплексов в контртеррористической операции в САР показал, что применение беспилотной авиации в интересах Транспортных войск может обеспечить:

- ведение круглосуточной разведки;
- распознавание замаскированных объектов;
- сокращение времени поиска объектов;
- уточнение координат целей с высокой точностью;
- контроль за ходом восстановительных работ;
- сокращение отрыва личного состава и техники.

В целом анализ мирового опыта применения беспилотных авиационных комплексов различных классов подтверждает высокую эффективность этого вида вооружения в условиях современных военных действий любой интенсивности.

В настоящее время на вооружении Вооруженных Сил Республики Беларусь состоят разведывательные беспилотные авиационные комплексы: «Москит», «Суперкам С-100», «Беркут-2», «Суперкам SC-350», «Бусел-10» (рисунок 2) [1, 2].

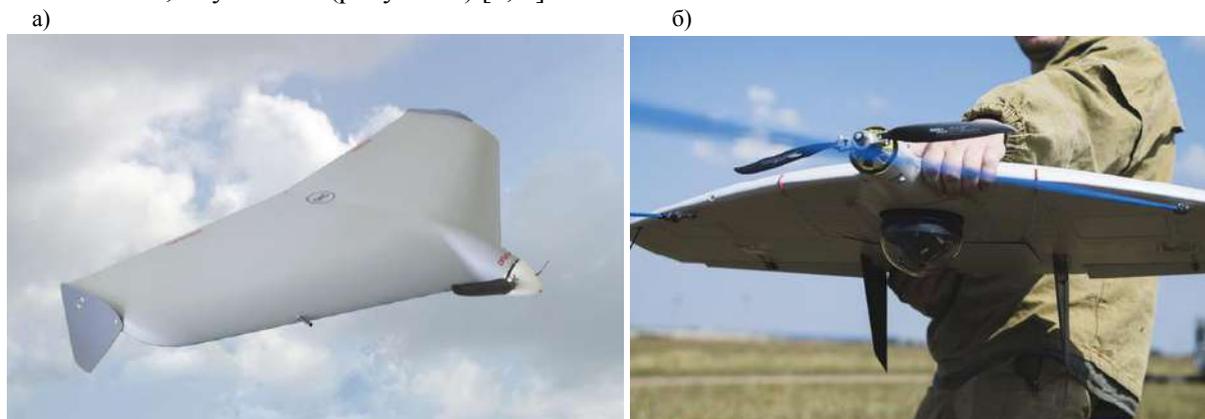


Рисунок 2 – Беспилотные летательные аппараты, входящие в состав беспилотных авиационных комплексов:  
а – «Москит»; б – «Суперкам С-100»

Они предназначены для ведения воздушной оптико-электронной разведки местности в любое время суток. Основными задачами являются: определение координат объекта; выполнение полетного задания в автоматическом режиме с возможностью его изменения с наземного пункта управления; наблюдение и получение фото– или видеосъемки; получение и передача изображений обнаруженных объектов и местности в любое время суток.

Таким образом, проведенный анализ показывает, что беспилотные авиационные комплексы возможно использовать в интересах Транспортных войск Республики Беларусь. Однако для этого необходимо определить задачи, решаемые ими, их требуемое количество, а также организационно-штатную структуру подразделений беспилотных авиационных комплексов и их место в структуре Транспортных войск Вооруженных Сил Республики Беларусь.

#### Список литературы

- 1 **Потапов, Г. В.** ногу со временем / Г. В. Потапов // Белорусская военная газета. Во славу Родины. – 2019. – № 9. – С. 1.
- 2 Беспилотные авиационные комплексы [Электронный ресурс] / Беспилотные авиационные комплексы. – 2020. – Режим доступа : <http://www.558arp.by/>. – Дата доступа : 05.09.2020.

УДК 355.691.21:94(100)

## **ЗНАЧЕНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СОТРУДНИКОВ ОРГАНОВ ПОГРАНИЧНОЙ СЛУЖБЫ С ИНЫМИ ПРАВООХРАНИТЕЛЬНЫМИ ОРГАНАМИ В ПУНКТАХ ПРОПУСКА НА ГОСУДАРСТВЕННОЙ ГРАНИЦЕ ПРИ ВОЗНИКНОВЕНИИ ТЕРРОРИСТИЧЕСКИХ УГРОЗ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ**

*А. А. ПОДДУБНЫЙ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В современном мире повышение системы обеспечения национальной безопасности в целом и пограничной безопасности в частности имеет особую значимость. Динамически развивающиеся события на планете, в том числе и на территории самой Республики Беларусь, требуют оперативного решения задач по предупреждению, выявлению и пресечению террористической, экстремистской и иной деструктивной деятельности, организованной преступности, незаконной миграции, в том числе и в пограничном пространстве.

Террористический акт – это совершение взрыва, поджога или иных действий, устрашающих население и создающих опасность гибели человека, причинения значительного имущественного

ущерба либо наступления иных тяжких последствий, в целях воздействия на принятие решения органами власти или международными организациями, а также угроза совершения указанных действий в тех же целях [1].

На сегодняшний день во многих случаях объектами террористической деятельности становятся железнодорожные, водные пути, автомобильные дороги, мосты, поезда, метро, железнодорожные и автобусные станции, т. е. транспортная инфраструктура, являющаяся объектом повышенной опасности.

С точки зрения объекта посягательства, терроризм наносит ущерб жизни и здоровью людей, имуществу, правам и законным интересам, дезорганизует общественную жизнь [2].

К видам террористических угроз на железнодорожном транспорте можно отнести традиционный терроризм, когда для совершения теракта применяются огнестрельное и холодное оружие, взрывчатые вещества, яды и другие средства; неорганизованный терроризм – в этом случае теракт совершает один-два человека, за которыми не стоит какая-либо организация; организованный, коллективный терроризм – террористическая деятельность планируется и реализуется некой организацией [3].

Обеспечение безопасности физических лиц, пересекающих государственную границу в пунктах пропуска, имеет огромное значение. В связи с данным обстоятельством оперативное реагирование и взаимодействие сотрудников органов пограничной службы и иных правоохранительных органов при возникновении и ликвидации различного рода «чрезвычайных ситуаций» в пунктах пропуска на Государственной границе играет немаловажную роль.

Пункт пропуска – территория (акватория) в пределах железнодорожного вокзала (станции), речного порта, аэропорта, открытых для международных сообщений (международных полетов), а также иной специально выделенный и оборудованный участок местности, где осуществляется пропуск через Государственную границу физических лиц, транспортных средств и товаров [4].

При возникновении террористической угрозы в пассажирском поезде, наполненном людьми, на первое место выходит компетентность и профессионализм сотрудника органов пограничной службы, который первый сталкивается с данной угрозой и его дальнейшие действия. К оптимальным условиям принятия эффективных решений следует отнести: высокие функциональные резервы организма; психическая устойчивость; профессионализм; высокий уровень интеллекта; волевые качества; умение принимать нестандартные решения; умение организовывать работу для компенсации экстремальных ситуаций; умение оказывать влияние на людей.

Далее, в противодействие террористической угрозе включаются сотрудники взаимодействующих подразделений МВД, КГБ, МЧС, скорой помощи, от оперативного реагирования которых также во многом зависит исход развивающейся ситуации.

Основными задачами в данной ситуации для сотрудников органов пограничной службы и иных правоохранительных органов, задействованных в разрешении террористической угрозы являются:

- соблюдение законности;
- сосредоточение сил и средств на выполнение более ответственных задач;
- поддержание непрерывного взаимодействия;
- оперативность и исполнительность в реализации совместных планов;
- четкое разграничение функции, исключение дублирования и выполнения не свойственных задач;
- оперативность и согласованность при решении внезапно возникающих задач.

Порядок и последовательность действий регламентированы нормативными правовыми актами Республики Беларусь и документами для служебного пользования, разработанными индивидуально для каждого подразделения. Слаженность и оперативность реагирования достигается постоянными, многократными, совместными тренировками.

Эффективность оперативно-служебной деятельности по охране Государственной границы, осуществляемой пограничными органами, главным образом зависит от профессиональной подготовки военнослужащих в подразделениях на границе. В связи с этим подготовке сотрудников органов пограничной службы для оперативного реагирования при возникновении разного рода «нестандартных ситуаций» руководством Государственного пограничного комитета уделяется огромное внимание. Для выполнения этой задачи, в первую очередь, необходим должный уровень профессиональной подготовленности, который позволит эффективно выполнять служебно-боевые и оперативно-служебные задачи.

Стоит отметить, что немаловажное значение при возникновении террористических угроз в железнодорожном транспорте, имеет роль поведения и реагирования физических лиц, пересекающих Государственную границу и являющихся непосредственным участником событий. Зачастую в связи с излишним эмоциональным реагированием на сложившуюся ситуацию, неспособностью объективно оценивать происходящие события, из-за страха угрозы жизни возникает ряд препятствий для работы лиц, которые задействованы в разрешении террористической угрозы. Поэтому также важным является момент информирования и структурирования всех категорий граждан о правилах поведения и реагирования при возникновении той или иной чрезвычайной ситуации.

Перед человеком и обществом в XXI веке все более отчетливо вырисовывается новая цель – глобальная безопасность. Достижение этой цели требует изменения мировоззрения человека, системы ценностей, индивидуальной и общественной культуры. Необходимы новые постулаты в сохранении цивилизации, обеспечении ее устойчивого развития, принципиально новые подходы в достижении комплексной безопасности. При этом весьма важным является то, что в обеспечении безопасности не должно быть доминирующих проблем, так как их последовательное решение не может привести к успеху. Решать проблемы безопасности можно только комплексно.

#### Список литературы

1 Словари и энциклопедии на Академике. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [https://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/690231#cite\\_note-1](https://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/690231#cite_note-1). – Дата доступа : 15.09.2020.

2 Прокуратура [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [https://xn--80aaflikgbhrtckpug.xn--p1ai/nfs/prokuratura/?ELEMENT\\_ID=7735](https://xn--80aaflikgbhrtckpug.xn--p1ai/nfs/prokuratura/?ELEMENT_ID=7735). – Дата доступа : 16.09.2020.

3 Условия возникновения террористической угрозы и меры противодействия [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://cao.mos.ru/countering-extremism/the-conditions-of-occurrence-of-the-terrorist-threat-and-countermeasures/>. – Дата доступа : 14.09.2020.

4 О Государственной границе Республики Беларусь : Закон Респ. Беларусь, 21 июля 2008 г. № 419-3 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2008. – № 184, 2/1516.

УДК 625.8

### ОСОБЕННОСТИ СОДЕРЖАНИЯ МОСТОВ И ПЕРЕПРАВ В РАЗЛИЧНЫЕ СЕЗОНЫ ГОДА

*В. С. ПОЛЕЩУК, В. Д. КОНЧИЦ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Задачи, выполняемые при эксплуатационном содержании мостов в различные сезоны года, по своему характеру в основном такие же, как и для ВАД в целом, но имеют ряд особенностей. Содержание и объем мероприятий, выполняемых при эксплуатации мостов, зависят от вида и конструкции моста (переправы), времени года, погодных-климатических условий, воздействия противника, наличия времени, сил и средств. Наибольшей трудоемкостью отличается эксплуатационное содержание деревянных мостов и паромных переправ. Особенно осложняется содержание мостов в период паводков, ледоходов, а также в зимнее время.

В ходе эксплуатации табельных разборных автодорожных мостов производят поддержание в чистоте стальной проезжей части и ее ремонт, подбивку штырей и подтягивание болтов, содержание в исправном состоянии въездов. Ведут постоянное наблюдение за осадкой фундаментов опор и величиной их размыва.

Проезжую часть деревянных мостов очищают от грязи и снега вручную лопатами или скребками. Стальную проезжую часть разборных и понтонных мостов промывают водой (но не зимой!), используя поливочные машины или мотопомпы. Снег и наледь убирают с проезжей части вручную или с помощью навесного бульдозерного оборудования и щеток поливочных машин. Изношенный защитный настил деревянных мостов заменяют в перерывах движения. Материал для ремонта заготавливают заблаговременно в ходе постройки моста или его эксплуатации.

Последствия огневого воздействия противника по мостам ликвидируют, используя резерв конструкций. Если повреждения моста значительны, командир подразделения, назначенного для содержания или охраны моста, доносит об этом вышестоящему командованию, не прекращая выполнения мер по ремонту моста. Один-два раза в месяц (в зависимости от важности моста), а также по-

сле пропуска ледохода, паводка или огневого воздействия специально выделенный офицер проводит осмотр моста: проверяет выполнение мероприятий повседневного наблюдения, качество ремонта (усиления, восстановления), выявляет необходимость дополнительных ремонтных работ, а также инструктирует лиц, ведущих повседневное наблюдение.

Содержание мостов и переправ в периоды паводков и ледохода. Ледоход бывает осенний и весенний. Действие льда на мостовые сооружения проявляется по-разному. Так, осенью с понижением температуры воздуха на реках возникает тонкий ледяной покров, а также движущиеся по течению мелкие ледяные частицы, называемые шугой. Шуга вызывает истирание подводной части мостов, особенно деревянных и из табельных понтонных парков. Скопление шуги у мостов и в русле может вызвать подъем уровня воды, создавая так называемые зазоры. Прорыв зазоров приводит к подмыву опор и даже сносу моста. Удары отдельных льдин по опорам моста в период осеннего ледохода менее опасны, так как скорости движения льдин и их размеры меньше, чем при весеннем ледоходе.

При весеннем ледоходе наблюдаются плывущие корчи, деревья и другие предметы. Кроме непосредственного разрушительного воздействия ледохода и образования заторов перед мостами происходит подмыв опор, ледорезов, насыпей подходов и дамб регуляционных сооружений.

Объем работ по эксплуатационному содержанию мостов в периоды ледохода и паводков зависит от интенсивности ледохода, уровня паводка, конструкции опор и пролетных строений военных мостов. Основу содержания мостов в этот период составляет защита мостов при пропуске ледохода и паводковых вод. В целях определения мероприятий по защите, потребных сил и средств за 20–30 дней до начала ледохода организуется дорожная разведка. Состав разведывательной группы зависит от длины моста, сроков разведки и включает обычно от отделения до взвода во главе с офицером.

План мероприятий по защите моста от ледохода и паводка обычно включает выполнение следующих задач: выделение подразделений для защиты моста от ледохода и паводка; подготовка района расположения подразделений; снабжение подразделений необходимыми средствами, материалами и ВВ, их хранение; ремонт и усиление опор и ледорезов, устройство на них площадок для работы личного состава команд, пропускающих лед и другие предметы под мостом; расчистка русла от предметов, способствующих образованию заторов; удаление или закрепление вмерзших в лед предметов, разработка ледяного покрова; организация дополнительных речных застав; работы, выполняемые в период ледохода.

Ледоходу предшествует подъем ледяного покрова, который создает опасность выдергивания свай. Чтобы избежать этого, а также воздействия на опоры первой подвижки льда, вокруг опор и ледорезов производят сколку льда и устраивают борозды шириной 0,5–1 м. Их располагают как можно ближе к элементам моста и до начала ледохода держат во вскрытом состоянии, предохраняя от замерзания слоем снега, опилок, торфа, хвороста и т. д. На реках с интенсивным ледоходом разрабатывают майны на ширину русла реки у моста и не менее 1/3–1/4 ширины русла выше и ниже по течению. Под мостом лед разрабатывают бензиномоторными пилами или вручную, а вне моста – взрывным способом. Для подрывания льда заряды ВВ погружают.

Низководные мосты перед ледоходом, как правило, разбирают. Допускается эксплуатация низководных мостов в период ледохода при толщине льда менее 15 см, если уровень ледохода проходит ниже верха насадок не менее чем на 0,5 м. Для защиты опор в этих случаях устраивают плоские ледорезы или устанавливают с верховой стороны моста наклонные бревна («слизы»), одним концом упирающиеся в дно водотока, а другим присоединяемые к насадкам опор штырями и скобами и усиленные подкосом.

Для пропуска волн попуска от разрушенных гидротехнических сооружений необходимо разобрать пролетные строения и надстройки опор. При невозможности разборки следует закрепить пролетные строения тросовыми оттяжками за берега, укрепить насыпи подходов всеми имеющимися в наличии материалами. После пропуска волн попуска определяют повреждения моста и принимают меры к ремонту. Все эти мероприятия обеспечат надежную эксплуатацию военного моста в различные сезоны года.

#### Список литературы

- 1 Военные автодорожные мосты. Инструкция по определению условий пропуска техники. – М. : Воениздат, 1977.
- 2 Военные мосты на жестких опорах. – М. : Воениздат, 1982.
- 3 Восстановление автодорожных мостов : учеб. – Л. : ВАТТ, 1966.
- 4 Инструкция по военным высоководным мостам. – М. : Воениздат, 1976.
- 5 Подготовка водолазов инженерных войск : учеб. пособие. – М. : Воениздат, 1980.
- 6 Руководство по хранению дорожной техники и военно-дорожного имущества в воинских частях, на базах и складах. – М. : Воениздат, 1974.

## **ВЛИЯНИЕ НА ЧЕЛОВЕЧЕСКИЙ ФАКТОР КАК ПУТЬ СНИЖЕНИЯ РИСКА ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ НА ТРАНСПОРТЕ (ФАРМАКОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД)**

*А. С. ПОПОВ, Д. Ф. ЗЕНЧЕНОК, А. В. ЛИННИК  
Белорусская государственная академия авиации, г. Минск*

Железнодорожный транспорт относится к числу отраслей народного хозяйства, где задача повышения безопасности труда является одной из приоритетных. В системе «человек – техническая система – производственная среда» человек является самым «слабым звеном», определяя надежность и безопасность функционирования системы в целом [1, 2].

Меры, принимаемые для снижения риска возникновения чрезвычайных ситуаций имеют свой положительный эффект, что отражается в снижении общего травматизма при дорожно-транспортных происшествиях, в том числе с вовлечением железнодорожного транспорта. Как правило, это меры технического характера, направленные на повышение надежности работы технической системы. В то же время нужно отметить, что деятельность человека за последнее время достигла того предельно допустимого рубежа, за которым возможно уничтожение человечества по вине самого человека. А техногенные катастрофы происходят все чаще, масштабнее и опаснее [3].

В настоящее время большое внимание уделяется профилактике и предотвращению возникновения чрезвычайных ситуаций с фокусом на снижение факторов риска их возникновения. Одним из самых существенных таких факторов признано считать так называемый человеческий фактор.

Человек, как источник труда и производственного фактора на железнодорожном транспорте, является не исключением с той точки зрения, что он в то же время становится главным источником опасности сбоя работы системы «человек – техническая система – производственная среда». Поиск новых мер и путей повышения надежности указанной системы должен проводиться с всё большим фокусом на решение проблематики надежности работы именно человека.

Человеческий фактор в условиях современного производства представляет собой широкий круг психофизиологических и физиологических свойств, которыми обладают люди и которые, так или иначе, оказывают значительное влияние на качество, эффективность и безопасность труда [4; 5].

Человеческий фактор – многозначный термин, описывающий возможность принятия человеком ошибочных или алогичных решений в конкретных ситуациях [6]. Во всех психических проявлениях человека важную роль играют его природные качества. Некоторые из них связаны с особенностями темперамента [7].

Труд человека требует от работника высоких показателей интенсивности и продуктивности трудового процесса, в том числе это относится и к работникам железнодорожного транспорта, возможно в большей мере занятых в службах движения и тяги. При этом в течение всего рабочего дня (смены) происходит постепенное истощение возможностей физиологических резервов организма. Достоверно известно, что снижается внимание, скорость и точность реакций и др. показатели работоспособности нервной системы человека. При достижении некоего порогового уровня может наблюдаться эффект синергии, когда совместно с истощением нервной системы происходит нарушение работы других органов и систем.

Среди вариантов снижения риска в литературе встречаются: психологические методы (тренинги и методики повышения работоспособности и самоконтроля) и методики отбора кандидатов для осуществления той либо иной трудовой функции [8; 9].

Перспективным следует считать применение фармакологических средств в целях профилактики возникновения чрезвычайных ситуаций. Существует ряд препаратов, способных активно влиять на процессы внимания и работоспособности в сторону их повышения.

Фармакологическая коррекция работоспособности в настоящее время является перспективным направлением поиска в связи с относительной простотой использования их работниками, высокой эффективностью, достигаемой за относительно короткий промежуток времени (обусловлен фармакокинетикой). В настоящее время большое практическое значение представляют фармакологические средства следующих групп: антигипоксанты, антиоксиданты, актопротекторы, ноотропы, адаптогены, пептидные биорегуляторы, дающие защитный эффект уже при однократном приеме.

Из литературных источников известно о фармакологической активности производных тиазола[5,4-b]индола [1]. Показано, что они являются эффективными антигипоксантами [5]. Особо ценным является то, что эти соединения проявляют актопротекторное действие и способны повышать работоспособность в неблагоприятных условиях [6–7]. При изучении фармакологической активности производных тиазола[5,4-b]индола установлено, что они обладают поливалентной активностью и способностью защищать организм от сочетанного действия физических (гипоксия) и химических (токсиканты) факторов.

На основании этого можно сделать выводы о возможности влияния на физиологический компонент функционирования организма человека в профессиональной деятельности в системе «человек – машина». При этом улучшение работоспособности рассматривается как комплексное понятие, включающее не только повышение эффективности труда, но и меры по сохранению и укреплению здоровья работника (оператора) за счет снижения перенапряженности систем организма, частично актопротекторного влияния.

Таким образом, производные тиазола[5,4-b]индола необходимо рассматривать как перспективные средства защиты организма от гипоксии, отравления гепатотоксичными ядами и действия чрезмерных физических и умственных нагрузок. Использование медицинских препаратов такого рода может рассматриваться как один из действенных факторов уменьшения вероятности возникновения чрезвычайных ситуаций за счет снижения риска воздействия человеческого фактора.

#### Список литературы

- 1 **Махутов, Н. А.** Человеческий фактор в системе управления рисками и предупреждения чрезвычайных ситуаций на железнодорожном транспорте / Н. А. Махутов // Транспорт: наука, техника, управление : Научный информационный сборник. – № 10. – 2008. – С. 21–22.
- 2 **Захидов, М. Т.** Человеческий фактор как источник чрезвычайных ситуаций / М. Т. Захидов // Проблемы защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций : сб. тр. XV Междунар. науч.-практ. конф. (18–20 мая 2010 года, Москва). – М., 2010. – С. 346–350.
- 3 **Янков, Д. В.** Человеческий фактор как основная причина чрезвычайных ситуаций / Д. В. Янков, О. В. Гуменюк // Безопасность в чрезвычайных ситуациях : сб. науч. тр. Всероссийской науч.-практ. конф. / Санкт-Петербургский политех. ун-т Петра Великого. – СПб., 2015. – С. 58–62.
- 4 **Бегларян, С. В.** Человеческий фактор как причина травматизма в растениеводстве / С. В. Бегларян // Энергия будущего : сб. тр. науч.-практ. студ. конф. (Ставрополь, 19–23 сентября 2016 г.). – Ставрополь, 2016. – С. 3–6.
- 5 **Тихонов, М. Н.** Человеческий фактор в условиях чрезвычайных ситуаций и аварий на атомных электростанциях / М. Н. Тихонов, О. Э. Муратов // Экология промышленного производства. – 2009. – № 3. – С. 35–40.
- 6 **Киселева, И. А.** Управление рисками с учетом влияния человеческого фактора / И. А. Киселева, Н. Е. Симонович, Г. Н. Струков // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2016. – № 2(68). – С. 280–2286.
- 7 **Обзоры по клинической фармакологии и лекарственной терапии** : Науч.-практ. рецензируемый мед. журнал / В. В. Марышева [и др.]. – 2007. – Т. 5, № 2. – С. 2–19.
- 8 **Гаврев, А. И.** Экспериментальная и клиническая фармакология : Ежемесячный науч.-теоретич. журнал / А. И. Гаврев, В. В. Марышева, П. Д. Шабанов. – 2010. – Т. 73, № 2. – С. 25–30.
- 9 **Марышева, В. В.** Бюллетень экспериментальной биологии и медицины : журнал / В. В. Марышева, П. Д. Шабанов. – 2009. – Т. 147, № 1. – С. 58–61.

УДК 625.11

## АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ УСТРОЙСТВ КОНТРОЛЯ УТОМЛЯЕМОСТИ ОПЕРАТОРОВ ТРАНСПОРТНЫХ ПЕРЕВОЗОК

*А. А. РУДЧЕНКО, С. В. МАКСИМЕНКО, В. И. ГУРИНОВИЧ*  
*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Пассажирские и грузовые перевозки требуют от операторов транспортной техники повышенной ответственности и внимательности, однако именно на этих работах коэффициент значимости человеческого фактора максимален, из-за сильного влияния утомляемости на операторов. Как вид функционального состояния усталость может быть следствием недостаточного отдыха, недосыпания, выполнения срочных заданий в сжатые сроки, а также немаловажную роль играет и характер выполнения работы. Для транспортной отрасли он зачастую имеет круглосуточный характер, а это, в свою очередь, вызывает циркадную (суточную) аритмию. Вследствие чего системы контроля за

физиологическим состоянием человека-оператора в том или ином виде используются на железных дорогах, в метро, на морском транспорте и на других объектах. Работают они вместе со средствами физиологического контроля: измерение пульса и дыхания, анализ работы мышц сердца в режиме реального времени и т. д. Рассмотрим некоторые из них.

На морском транспорте, как свидетельствует статистика Международной морской организации (ИМО), человеческий фактор является причиной аварий в 80 % случаев. Половина аварий на судах происходит вследствие их неумелой эксплуатации и нарушения правил безопасности. Столкновения, посадка на мель, взрывы и пожары на борту ведут к травмам и гибели людей. Аварии на судах в основном обусловлены субъективными факторами, к которым можно отнести: пренебрежение мерам безопасности, снижение чувства ответственности, недостаточная профессиональная подготовка, нарушение требований нормативно правовых документов, чрезмерная усталость членов экипажа [1].

В судоходстве широкое распространение получила система контроля дееспособности вахтенного помощника капитана (КДВП), ранее более известных как «Dead man alarm system». Более того, резолюция MSC.128(75) от 05.06.2009 предписала оборудовать системой контроля дееспособности вахтенного (Bridge Navigation Watch Alarm System) все строящиеся суда и суда, находящиеся в эксплуатации, валовой вместимостью более 150 тонн, в срок не позднее первого июля 2014 г. Существует большое многообразие систем КДВП. Комплекующие систем могут быть настенного или врезного монтажа, влагозащитного исполнения, для установки на открытых участках палубы, включать различные исполнения панелей тревог и кнопок квитирования, но все они схожи по своему принципу действия. Он заключается в необходимости нажатия кнопки квитирования через определенные промежутки времени (резолюция MSC.282(86) определяет временные рамки подачи сигнала тревоги – от 3 до 12 минут), что подтверждает наличие действующего человека на мостике. Если кнопка не будет нажата, срабатывает сигнализация первого уровня, необходимая для того, чтобы разбудить вахтенного. В течение заданного времени после подачи сигнализации первого уровня необходимо нажать кнопку квитирования, иначе сработает сигнализация второго уровня, расположенная в каюте капитана и в жилых помещениях.

На железных дорогах на всех видах локомотивов, головных вагонов, мотовозах обязательной является телемеханическая система контроля бодрствования машиниста (ТСКБМ), как устройство, повышающее безопасность движения поездов. ТСКБМ предназначена для контроля и индикации уровня бодрствования машиниста по условной шкале, а также приведение в действие механизма экстренного торможения при снижении уровня бодрствования ниже некоторого критического. Уровень бодрствования человека сопровождается сигналом кожно-гальванической реакции (сигнал КГР).

Сигнал КГР представляет собой спонтанное, кратковременное повышение проводимости кожи с последующим возвратом к прежнему уровню. Носителем информации об уровне бодрствования является время между импульсами КГР. У засыпающего человека интервал между импульсами КГР увеличивается. При снижении уровня бодрствования машинисту даётся возможность до трёх раз отодвинуть момент торможения поезда электропневматическим клапаном (ЭПК), нажимая на ручку бдительности по свистку ЭПК. Если машинист в течение этого времени повысит свой уровень бодрствования, то экстренное торможение поезда не произойдёт [2].

Таким образом, ТСКБМ обеспечивает: изменение и преобразование в цифровой код значения относительного изменения сопротивления кожи человека между двумя электродами датчика электрического сопротивления кожи (ЭСК), встроенными в браслет носимой части прибора ТСКБМ; передачу цифрового кода по радиоканалу; приём радиосигнала с произвольной поляризацией радиоволн от прибора ТСКБМ-Н (носимый телеметрический датчик) и его демодуляцию; выделение из входного цифрового потока данных импульсов КГР и преобразование интервала между ними в уровень бодрствования по условной шкале; в случае снижения бодрствования машиниста включение ЭПК автостопа, и при невозможности машинистом работоспособного состояния безусловное экстренное торможение поезда.

На электропоездах метрополитена контроль бдительности машиниста осуществляется в случае неисправности устройства автоматического регулирования скорости (АРС) и включает в себя: педаль бдительности (ПБ), которая установлена под пультом управления и имеет ножное управление, выключатель аварийного хода (ВАХ), выключатель, отключающий аварийный тормоз (ВОВТ), реле педали бдительности (РПБ), катушка которого включается сразу при выключении системы АРС и

постоянно находится во включенном положении. Чтобы привести электропоезд в движение, необходимо нажать на ПБ, которая вызовет отпуск пневматических тормозов и разрешит сбор схемы тягового режима.

Таким образом, отправление поезда станет возможным только при нажатии ПБ, с помощью которой и осуществляется контроль за бдительностью машиниста. В случае отпуска ПБ произойдёт разбор силовых цепей и включение пневматического торможения на любом режиме движения. При случайном отпуске ПБ пневматического торможения не произойдёт, так как РПБ имеет выдержку времени на отключение 2,0–2,5 с [3].

Для автомобильного транспорта существует ряд устройств, предотвращающих засыпание за рулём водителей транспортных средств. Над разработкой подобных устройств в разное время работали В. С. Шкрабак, М. С. Овчаренко, В. А. Небольсин, А. М. Левенштейн, В. В. Суходоев и др. На основании проведённого углублённого анализа существующих устройств, обеспечивающих контроль за дремотным состоянием операторов транспортной автомобильной техники, следует, что устройства наравне с достоинствами имеют ряд существенных недостатков. Принцип действия рассмотренных устройств для разных видов перевозок примерно один и заключается, во-первых, в определении функционального состояния оператора, по средствам одного из критериев бдительности, во-вторых, в оповещении о наступлении критического состояния оператора, и, в-третьих, при отсутствии реакции оператора – экстренное торможение во избежание аварийной ситуации.

Устройства, контролирующие состояние операторов транспортных средств, в рассмотренных видах перевозок уже давно эффективно используются и предупредили не одну сотню аварийных ситуаций, связанных с утомлением оператора. На данный момент системы контроля бдительности водителей городского пассажирского транспорта, водителей легковых и грузовых автомашин не используются. Распределение доли в системе основных причин ДТП, в которой человеческий фактор занимает порядка 85 %, абсолютно справедливо, что подобные устройства должны использоваться и на автомобильном пассажирском и грузовом транспорте, особенно в АПК, так как перевозки в АПК имеют круглогодичный и круглосуточный характер.

#### Список литературы

- 1 Буралев, Ю. В. Безопасность жизнедеятельности на транспорте: учеб. для студ. высших уч. завед. / Ю. В. Буралев. – М. : Издательский центр «Академия», 2004. – 288 с.
- 2 Венцевич, Л. Е. Локомотивные устройства обеспечения безопасности движения поездов и расшифровка информационных данных их работы : учеб. для учащихся образовательных уч-й ж.-д. трансп., осуществляющих профессиональную подготовку / Л. Е. Венцевич. – М. : Маршрут, 2006. – 328 с.
- 3 Добровольская, Э. М. Электропоезда метрополитена : учеб. для нач. проф. образования / Э. М. Добровольская. – М. : ИРПО Издательский центр «Академия», 2003. – 320 с.

УДК 625.8

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ НА ПЕШЕХОДНЫХ ПЕРЕХОДАХ

*Д. С. РУЛЁВ, М. С. ШИЛКИН*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Если взять статистику за последний год, то мы можем увидеть большие цифры совершённых ДТП. Основная часть дорожно-транспортных происшествий происходит на пешеходных переходах и перекрёстках, зачастую по вине пешеходов или невнимательности водителей. Основными причинами является нарушение проезда пешеходных переходов и нарушение правил проезда перекрёстков. Так же со стороны пешеходов в последнее время стала массовой проблемой невнимательности по причине отвлечения на свои гаджеты, а в холодное время года одетый капюшон на голову, который существенно ограничивает обзор. Анализируя вышеперечисленные факты, в том числе статистику за прошедшие несколько лет по дорожно-транспортным происшествиям с участием пешеходов на пешеходных переходах и перекрёстках, мы решили создать систему, которая может своевременно предупредить водителя и пешехода и тем самым избежать дорожно-транспортного происшествия, а именно возможного смертельного исхода.

Принцип работы данной системы по безопасности движения заключается в следующем.

На регулируемом и нерегулируемых пешеходных переходах устанавливаются ограждения, позволяющие прямого проезда на велосипеде, на ограждения устанавливается сигнализирующая

система, включающая в себя лазерный датчик движения, звуковой оповещатель для пешеходов и световой оповещатель для водителей автомобилей. Установка системы на эти ограждения позволит заблаговременно предупредить водителя, до того момента, как человек выйдет на проезжую часть. Система активируется на регулируемых пешеходных переходах при включении запрещающего сигнала светофора, а на нерегулируемых пешеходных переходах она активна постоянно.

Датчик представляет собой лазер, установленный на одном конце ограждения, и приемник на другом конце ограждения. Активация системы происходит при разрыве цепи проходящим человеком (в случае регулируемых пешеходных переходов на запрещающий сигнал светофора).

После активации срабатывает сигнализация система, которая звуковым сигналом сообщает пешеходу о том, что он производит переход во время запрещающего сигнала светофора и сигнализирует водителю, движущемуся на разрешающий сигнал светофора о том, что впереди опасность для движения. Это приводит к остановке транспортного средства и возвращению в «реальность» отвлечённого пешехода, идущего на запрещающий сигнал светофора. После того, как проезжая часть становится свободной для движения автомобиля, он может продолжить движение, и так с помощью данной системы мы можем предотвратить ДТП.

Данная система важна для установки на пешеходных переходах вблизи учреждений образования, особенно вблизи школ, детских садов и т. д.

Установка данной системы приведёт к значительному снижению ДТП с участием пешеходов на пешеходных переходах и снизит печальную статистику ДТП с участием пешеходов в нашей стране, а главное – сохранит жизни.

УДК 625.739.4

## **УМЕНЬШЕНИЕ АВАРИЙНОСТИ НА ПЕРЕСЕЧЕНИЯХ С КРУГОВЫМ ДВИЖЕНИЕМ**

*Д. Н. САМУТА*

*Полоцкий государственный университет, г. Новополоцк, Республика Беларусь*

Анализ направлений исследования, проводимый в рамках настоящей работы, свидетельствует о том, что в отечественной практике недостаточно проработана методика организации движения на кольцевых пересечениях, которая бы соответствовала современному уровню решения транспортных проблем, при этом, отсутствуют чёткие критерии выбора вариантов организации движения на этих пересечениях.

Цель работы заключалась в снижение аварийности на пересечениях с круговым движением. В качестве объекта исследования выбраны три кольцевых пересечения автомобильных дорог в одном уровне в городе Новополоцке.

Движение через перекресток с круговым движением значительно отличается от движения через обычный перекресток. Оно проявляется в следующем:

- меньшим числом конфликтных точек [1] между транспортными потоками;
- снижением скорости движения транспортных средств по сравнению со скоростью на прямолинейных участках дорог;
- сокращением числа остановок, следовательно, сокращением задержек транспортных средств;
- непрерывностью транспортного потока;
- отсутствием финансовых расходов на введение светофорного регулирования;
- меньшим отрицательным воздействием транспорта на окружающую среду [3].

Сведения о ДТП на кольцевых развязках города Новополоцка (по состоянию на 09.09.2020) приведены в таблице 1. На новом основном перекрёстке улиц Калинина – Парковая – Я. Колоса в течение полугода совершено семь ДТП по следующим причинам:

- водители не выдерживают необходимую дистанцию между автомобилями, которая позволяет избежать столкновения (п. 85 ПДД РБ) [3];
- водители не уступают дорогу транспортным средствам, движущимся по главной дороге (п. 108 ПДД РБ) [3].

Таблица 1 – Статистика ДТП на перекрестках с круговым движением

Пересечение	Количество ДТП	Время аварии	Причина аварий
Улицы Калинина – Парковая – Я. Колоса	7	12 <sup>50</sup> , 14 <sup>00</sup> , 15 <sup>00</sup> , 17 <sup>45</sup> , 19 <sup>30</sup>	п. 85
		12 <sup>55</sup> , 14 <sup>35</sup>	п. 108
Ул. Комсомольская – Заводской пр-д	5	23 <sup>00</sup>	п. 72
		8 <sup>20</sup> , 10 <sup>30</sup>	п. 73
		17 <sup>55</sup> , 18 <sup>30</sup>	п. 87.2
Ул. Калинина – Рижский пер.	7	12 <sup>00</sup> , 16 <sup>00</sup> , 17 <sup>30</sup> , 20 <sup>45</sup>	п. 59
		10 <sup>10</sup> , 14 <sup>10</sup> , 19 <sup>38</sup>	п. 72

Первая причина обусловлена тем, что со стороны ул. Я. Колоса образуется заторы, автомобили не могут выехать, водители не соблюдают дистанцию, т. к. со стороны ул. Калинина идёт большой транспортный поток и маршрутные автомобили, слишком близко расположены пешеходные переходы, что также затрудняет проезд автомобилям. На данном перекрестке нецелесообразно было делать кольцо с таким маленьким центральным островком. Если раньше можно было просто повернуть налево, то теперь необходимо проезжать всё кольцо. Вторая причина заключается в том, что водители не привыкли к перекрестку нового вида.

Указанные аварии могут быть связаны с нашим менталитетом: каждому важнее куда-то попасть быстрее. Однако увеличение потока автомобилей связано с тем, что в соседнем Полоцке закрыт на ремонт один из двух основных мостов и приходится объезжать через этот перекресток, который проектировался для меньшей загруженности.

Пути совершенствования движения связаны с увеличением диаметра центрального островка, понятным размещением дорожных знаков (был проведен опрос водителей, и многие не понимали, как им его проехать), переносом пешеходных переходов (чтобы водители не тормозили перед самым кольцом).

Следующий перекрёсток – пересечение улицы Комсомольская и проезда Заводской. Он отличается от предыдущего тем, что у него есть проезжие части с одним направлением и тремя полосами движения, что упрощает движение и разгружает транспортный поток. Водители могут спокойно ехать прямо, не заезжая на кольцо, или ехать по крайней правой полосе, чтобы на первом съезде повернуть направо, или ехать по левой полосе, чтобы проехать дальше. На данном перекрёстке меньше ДТП, но они всё же имеются. Аварии произошли по причинам:

- выполнением запрещенного разворота (п. 72 ДТП РБ);
- движением транспортного средства задним ходом (п. 73 ДТП РБ) [3];
- игнорированием возникшего препятствия (п. 87.2 ДТП РБ) [3]. При обнаружении препятствия или опасности для жизни, водитель должен немедленно принять меры по снижению скорости, вплоть до остановки.

Аварии не связаны с расположением кольцевого пересечения, количеством полос движения и с размером центрального островка. Они связаны с нарушением правил дорожного движения водителями. С точки зрения проектирования, наличия разметки и знаков, данный перекрёсток соответствует нормам.

Причины аварий на последнем из рассмотренных пересечений улицы Калинина с Рижским переулки следующие:

- одновременное перестроение автомобилей (п. 59 ПДД РБ) [3];
- разворот в неположенном месте (п. 72 ПДД РБ) [3].

Анализ причин аварий показывает, что они связаны с незнанием или нарушением ПДД РБ: при одновременном перестроении водитель не уступил дорогу транспортному средству, приближающемуся справа; водитель начал разворот, при этом создал помеху или выехал не на ту полосу движения. Перекресток обеспечен достаточным количеством полос движения, а аварии не связаны с конструкцией кольцевого пересечения.

Опыт эксплуатации показывает, что замена нерегулируемого крестообразного пересечения саморегулируемым кольцевым перекрестком позволяет снизить аварийность в 1,5–3,0 раза.

**Заключение.** Саморегулируемые кольцевые пересечения имеют достоинство и недостатки. Перекрестки наименее опасны по причине меньшего числа конфликтных точек между транспортными потоками и снижением скорости движения транспортных средств по сравнению со скоростью на прямолинейных участках дорог, что уменьшает количество ДТП и их тяжесть. Однако для строительства и внедрения перекрестков необходимы большие площади, которые трудно выделить на существующих улицах.

Анализ аварийности показывает, что аварии чаще происходят не по причине неудовлетворительной конструкции пересечений, а из-за элементарных нарушений правил дорожного движения.

Увеличение полос движения на перекрестке до 2–3 позволяет упростить движение и развести потоки. Тем, кому нужно ехать прямо, они и двигаются по своей полосе, а кому необходимо съехать на первом съезде, занимают среднюю полосу и т. д.

#### Список литературы

1 Врубель, Ю. А. Исследования в дорожном движении : учеб.-метод. пособие к лабораторным работам для студ. спец. 1-44 01 02 «Организация дорожного движения» / Ю. А. Врубель. – Минск : БНТУ, 2007. – 177 с.

2 Гохман, В. А. Пересечение и примыкание автомобильных дорог : учеб. пособие для авт.-дор. спец. / В. А. Гохман, В. М. Визгайлов, М. П. Поляков. – 2-е изд. – М. : Высш. шк, 1989. – 319 с.

3. Правила Дорожного Движения Республики Беларусь 2020 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://pdd.by/>. – Дата доступа : 18.11.2020.

УДК 625.8

## ЧРЕЗВЫЧАЙНЫЕ СИТУАЦИИ НА ТРАНСПОРТЕ

*И. Я. СКОРИК, Н. А. СУДАС*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

К чрезвычайным ситуациям техногенного характера относят производственные аварии и катастрофы.

Производственная (транспортная) катастрофа – крупная авария, повлекшая за собой человеческие жертвы, значительный материальный ущерб и другие тяжелые последствия. В зависимости от причин возникновения аварии и катастрофы подразделяются следующим образом.

Транспортные аварии (катастрофы) могут быть двух видов: происходящие на производственных объектах, не связанных непосредственно с перемещением транспортных средств (в депо, на станциях, в портах, на аэровокзалах), и случающиеся во время их движения. Для второго вида аварий характерны удаленность ЧС от крупных населенных пунктов, трудность доставки туда спасателей и большая численность пострадавших, нуждающихся в срочной медицинской помощи.

Согласно статистике дорожные происшествия происходят чаще всего в часы «пик», в дни праздников, в первые и последние дни массовых отпусков. В автомобильных авариях около 80 % пострадавших гибнет в первые 2–3 часа из-за больших потерь крови. Особенно опасна дорога зимой. На зимние месяцы приходится около 60 % происшествий всего года. Дождь и туман также осложняют дорожную обстановку и становятся причиной дорожно-транспортного происшествия (ДТП). Важную роль при неизбежности ДТП играет сохранение самообладания, что позволит управлять машиной до последней возможности, а следовательно, уменьшить тяжесть последствий, при этом нужно напрячь все мышцы и не расслаблять их до полной остановки. Управляя автомобилем, необходимо сделать все, чтобы уйти от встречного удара – забор, кювет и даже дерево лучше движущегося по встречной полосе дороги транспорта. При столкновении с неподвижным предметом удар левым или правым крылом хуже, чем всем бампером. При неизбежности столкновения нужно защитить голову, вдавиться в сиденье спиной, упереться руками в рулевое колесо. Пассажир, сидящий на переднем месте, должен закрыть голову руками и завалиться на бок, прижавшись к сиденью. Пассажиру, находящемуся на заднем сиденье, нужно упасть на пол. Если рядом сидит ребенок, то пассажир должен накрыть его своим телом.

При падении транспорта в воду нужно снять лишнюю одежду, дожидаться заполнения салона водой наполовину, задержать дыхание и вынырнуть через дверь, окно или аварийный выход. Окажите помощь пострадавшим. Любой транспорт (в том числе и электрический) пожароопасен, поэтому при ДТП необходимо как можно быстрее покинуть салон и отойти на расстояние 10–15 м в сторону, а при наличии средств пожаротушения принять меры к ликвидации очага пожара.

Общественный транспорт представляет угрозу для пассажиров, если не соблюдать элементарные требования безопасности – не входить и не выходить из транспорта до полной его остановки, не прислоняться к дверям, не высовывать голову и руки в окна, стараться держаться за поручни на случай экстренного торможения, стоять лицом в сторону движения, чтобы иметь возможность заранее заметить опасность и своевременно среагировать на нее. В случае столкновения и невозмож-

ности удержаться в вертикальном положении попытаться сгруппироваться, закрыть голову руками. Определенную опасность при резких торможениях представляют зонты, трости и другие предметы с острыми и выступающими краями. Во время движения транспорта нельзя дремать, так как скорость реакции на надвигающуюся опасность будет слишком низкой.

При аварии в трамвае и троллейбусе, связанной с повреждением токоведущего провода, нужно помнить, что самые безопасные места в них – сидячие, при этом ноги от пола лучше оторвать, а к стенам и поручням не прикасаться. Основными причинами аварий и катастроф на железнодорожном транспорте являются неисправности пути, подвижного состава, средств сигнализации, блокировки, ошибки диспетчеров, невнимательность и халатность машинистов. Чаще всего происходит сход подвижного состава с рельсов, столкновения, наезды на переездах, пожары и взрывы непосредственно в вагонах. Наибольшую угрозу для пассажиров представляют первый и последний вагоны поезда. Первый сминается и сбрасывается с путей при столкновении в лоб. С последним вагоном то же самое происходит при ударе сзади, только в еще более катастрофических масштабах, так как его не амортизирует багажный вагон, находящийся в передней части поезда.

#### Список литературы

- 1 Правонарушения в Республике Беларусь. Статистический сборник. – Минск, 2015. – С. 134.
- 2 Дорожно-транспортные травмы // Информационный бюллетень № 358 Всемирной организации здравоохранения (октябрь 2015) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://portalramn.ru/> – Дата доступа : 09.12.2015.
- 3 Статистика ДТП [Электронный ресурс] : стат. портал. – Режим доступа : <http://statistica.RU>. – Дата доступа : 09.12.2015.

УДК 539.3

### РАСЧЕТ ПРОЧНОСТИ МНОГОСЛОЙНОГО ОСТЕКЛЕНИЯ СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕХНИКИ ПРИ ТЕПЛОВЫХ НАГРУЗКАХ

*Н. В. СМЕТАНКИНА, А. И. МЕРКУЛОВА, Д. А. МЕРКУЛОВ, А. В. ПОСТНЫЙ*  
*Институт проблем машиностроения им. А. Н. Подгорного НАН Украины, г. Харьков*

Обеспечение эффективной и безопасной эксплуатации спецтехники является одной из важнейших задач при ликвидации последствий техногенных аварий. Для решения этой задачи необходимо обеспечение прочности остекления кабин основных и специальных пожарных автомобилей как одной из наиболее уязвимых частей техники.

Характерной особенностью эксплуатации спецтехники является работа вблизи пожаров и взрывоопасных объектов, что может привести к воздействию значительных силовых и температурных нагрузок. Особо опасной является работа рядом со взрывоопасными объектами, поскольку во время взрыва на спецтехнику действуют кратковременные нагрузки большой интенсивности [1].

Пожарные автомобили предназначены для доставки личного состава, тушения пожаров и проведения спасательных работ. Как правило, пожарные автомобили производятся на базе шасси существующих грузовиков (КамАЗ, ЗИЛ, МАЗ, КрАЗ).

По площади остекление занимает значительную поверхность кабин 1,8–2,6 м<sup>2</sup>. На многоцелевых автомобилях, как правило, присутствуют по два больших ветровых окна, разделенных центральной стойкой оконного прореза. Наибольшее применение в кабинах нашли плоские стекла. Остекление кабин, как правило, выполнено из закаленных однослойных стекол (сталинита) или трехслойных (триплекса). Толщина всех стекол кабин многоцелевых автомобилей находится в пределах 5,0–6,5 мм.

Закрепление ветровых стекол и стекол задней панели в прорезах осуществляется с помощью резинового уплотнителя, который фиксируется по периметру закладки замком из полимерного материала или резины. В работе [2] установлено, что создание защитного стекла для спецтехники требует комплексного подхода и не допускает упрощенного решения задачи за счет обычного наклеивания многослойной полимерной пленки на стекло, установленное в раме. Показано, что на сегодняшний день триплекс (т. е. многослойный стеклоблок) дешевле стекла с многослойной полимерной пленкой.

Целью работы является разработка эффективных методов расчета прочности безопасного многослойного остекления спецтехники при воздействии нестационарных температурных полей.

Многослойное остекление спецтехники рассматривается как многослойная пластина с неканонической формой плана, которая собрана из слоев постоянной толщины, отнесенная к декартовой системе координат, которая связана с наружной поверхностью первого слоя. На наружных поверхностях пластины происходит конвективный теплообмен. Между слоями находятся межслойные пленочные источники тепла.

Уравнение теплопроводности и граничные условия на внешних поверхностях пластины получаем из вариационного уравнения теплового баланса [3]. Чтобы трехмерную задачу теплопроводности свести к двумерной задаче, температура в слоях и на боковой поверхности, а также удельные мощности внутренних источников тепла представляются в виде разложений в ряды по полиномам Лежандра [4].

Метод решения задачи состоит в следующем. Исходная многослойная пластина произвольной формы в плане погружается во вспомогательную многослойную прямоугольную охватывающую пластину с нулевыми условиями на контуре и с той же композицией слоев. Чтобы обеспечить выполнение реальных граничных условий, к вспомогательной пластине вдоль границы контура исходной пластины прикладываются компенсирующие источники, которые учитываются в уравнении теплопроводности в интегральном виде. Удовлетворение граничных условий на исходном контуре приводит к системе интегральных уравнений для определения распределений компенсирующих источников. Далее функции температуры и внутренних источников разлагаются в двойные тригонометрические ряды по функциям, которые удовлетворяют граничным условиям для прямоугольной пластины. Функции температуры, входящие в граничные условия исходной пластины, разлагаются в одинарный ряд вдоль исходного контура. После определения интенсивностей компенсирующих источников, вычисляются значения температур в слоях пластины. Далее решается несвязанная задача термоупругости многослойных пластин с учетом полученных температурных воздействий.

Деформирование пластины описывается в рамках уточненной теории, учитывающей деформации поперечного сдвига и обжатие материала слоев по толщине. Метод решения задачи термоупругости аналогичен методу решению задачи теплопроводности. Исходная пластина погружается во вспомогательную прямоугольную шарнирно опертую пластину. Для выполнения заданных граничных условий к вспомогательной пластине вдоль контура исходной пластины прилагаются дополнительные распределенные компенсирующие усилия и моменты. Таким образом, исходная задача о деформировании исходной пластины под действием силовой и тепловой нагрузки сводится к задаче о деформировании вспомогательной пластины под действием нагрузок, а также компенсирующих усилий и моментов [5].

Далее функции перемещений, заданных и компенсирующих нагрузок разлагаются в тригонометрические ряды по функциям, которые удовлетворяют условиям шарнирного опирания прямоугольной пластины.

На примере ветровых стекол некоторых типов спецтехники проведено численное исследование температурных полей и напряжений в слоях остекления автомобилей спецтехники. Рассмотрены трехслойные композиции ветровых стёкол для КамАЗ-5320, Урал-432 и КрАЗ-260.

Температура, которая возникает при лесных пожарах 100–930°C [6]. При пожарах на нефтебазах, предприятиях химической и нефтехимической промышленности температура повышается до 2000 °C [7, 8].

Установлено, что температура разрушения многослойного остекления составляет 350 °C. Если температура превышает это значение, необходимо использовать специальные пожарные танки или многоцелевые легкие бронированные тягачи, в которых стеклоблоки оборудованы броневыми крышками. При этом наблюдения за дорогой механиком-водителем ведется через смотровые устройства.

Расчётные исследования показали, что температура в стекле для всех типов спецтехники при рассматриваемых условиях не превышает температуры разрушения. То есть остекление не разрушится при таких условиях, однако другие узлы машин могут выйти из строя при значительно меньших температурах. Поэтому во время тушения пожаров необходимо устанавливать безопасную дистанцию, на которой каждый тип спецтехники выдержит температурные нагрузки.

#### Список литературы

- 1 **Голяков, В. И.** Метод расчета взрывозащитного остекления / В. И. Голяков, А. А. Дайлов, В. А. Кишкин // Системы безопасности. – 2004. – № 4. – С. 26–27.
- 2 **Мильков, В. Г.** Двухосноориентированная полиэтилентерефталатная пленка. Всегда ли необходима в пулестойком и взрывобезопасном остеклениях? / В. Г. Мильков // Технологии безопасности. – 2004. – № 6. – С. 24–26.

- 3 **Smetankina, N.** Calculation of temperature fields in multilayer plates and shells with distributed sources / N. Smetankina, O. Postnyi // *Informatyka, Automatyka, Pomiarы w Gospodarce i Ochronie Srodowiska*. – 2020. – Vol. 10, no. 2. – P. 28–31.
- 4 Stationary problem of heat conductivity for complex-shape multilayer plates / A. I. Malykhina [et al.] // *Вестник Харьковского национального университета им. В. Н. Каразина. Сер. Математическое моделирование. Информационные технологии. Автоматизированные системы управления*. – 2019. – Т. 41. – С. 46–54.
- 5 **Сметанкина, Н. В.** Нестационарное деформирование, термоупругость и оптимизация многослойных пластин и цилиндрических оболочек : [монография] / Н. В. Сметанкина. – Харьков : Миськдрук, 2011. – 376 с.
- 6 **Валендик, Э. Н.** Влияние пожаров на устойчивость хвойных пород / Э. Н. Валендик, А. И. Сухинин, А. И. Косов. – Красноярск, 2006. – 96 с.
- 7 **Абрамов, Ю. А.** Тепловые процессы в нагреваемом резервуаре / Ю. А. Абрамов, А. Е. Басманов // *Коммунальное хозяйство городов*. – 2006. – № 67. – С. 357–362.
- 8 Обеспечение пожарной безопасности резервуарного парка хранения нефтепродуктов, расположенного вблизи жилых и общественных зданий / Ю. Н. Шебеко [и др.] // *Пожарная безопасность*. – 2009. – № 2. – С. 33–41.

УДК 656.2.08

## СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПОРШНЕВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

*А. В. ТОКАРЕВСКИЙ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Для развития автомобильного транспорта в современных условиях рыночной экономики и научно-технического процесса необходимо совершенствовать силовые установки автомобилей. Главное направление в улучшение показателей тепловых двигателей (двигателей внутреннего сгорания) является повышение энергетических и экологических показателей. Совершенствование рабочих циклов двигателя внутреннего сгорания (ДВС) в последние годы осуществляется применением различных средств, направленных, главным образом, на повышение экономичности и снижение токсичности отработавших газов (ОГ). Рассмотрим некоторые из этих средств:

1 Изменение конструкции. Большинство таких технологий находится все еще на стадии разработок, ожидая финансирования, или внедрены пока только в опытные образцы, для демонстрации своих возможностей. Не одно из данных решений не является панацеей, но каждое из них показывает, насколько меньше мы могли бы использовать топлива, делая автомобили намного эффективнее.

2 Применение альтернативного топлива. Около трети добываемой во всем мире нефти потребляется транспортными ДВС. Стратегия снижения потребления нефти в двигателях предполагает два направления:

- применение бензинов и дизельных топлив с вовлечением новых компонентов и добавок, в том числе не нефтяного происхождения, и использование водородного топлива;
- постепенный переход к наибольшему использованию природных и попутных газов при переработке нефти.

3 Совершенствование системы подготовки горючей смеси. Основная задача для повышения энергоэффективности и мощности двигателя, оставить рабочий объем двигателя прежним, но подавать в единицу времени больше топлива. Увеличить подачу топлива несложно, но при этом необходимо обеспечить нормативное соотношение воздуха и топлива в горючей смеси. Двигатель не имеет возможности самостоятельно всасывать воздух, поэтому не обойтись без специального устройства, повышающего давление. Эти устройства называют нагнетателями или компрессорами.

И все-таки постепенно на смену двигателям внутреннего сгорания приходят принципиально другие, экологически безвредные, например электрические, но на данном этапе по потребительским качествам ДВС не утратили своей актуальности.

### Список литературы

- 1 **Гурвич, И. Б.** Теория рабочих процессов / И. Б. Гурвич. – Н. Новгород : Нижегородский политех. инст-т, 1992.
- 2 *Мир науки и техники* : науч.-популяр. журнал. – 2011. – № 1924.
- 3 **Сафронов, А. С.** Повышение показателей работы тракторного дизеля за счет испарительного охлаждения наддувочного воздуха : дис. / А. С. Сафронов. – Омск, 1984. – 188 с.
- 4 **Гаврилов, А. М.** Влияние охлаждения наддувочного и дополнительного воздуха на технико-экономические показатели дизельного двигателя : дис. / А. М. Гаврилов. – Казань, 2008. – 164 с.
- 5 **Евенко, В. И.** Система охлаждения наддувочного воздуха двигателя внутреннего сгорания. Патент 2468219 (27.11.2012).
- 6 *Русский бизнес* // Эксперт С-3. – 2012. – № 22.
- 7 *История Второй мировой войны*. Т. 8, 9. – М. : Воен. изд-во М-ва обороны СССР, 1977.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БОРТОВЫХ ТЕЛЕМАТИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ И ДАТЧИКОВ ПРИ ПЕРЕВОЗКЕ ОПАСНЫХ ГРУЗОВ

*В. В. ТОМАШОВ, И. С. ДЕМИДОВИЧ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Перевозка грузов в настоящее время претерпевает качественные изменения. С одной стороны, это связано со стремлением повысить эффективность работы транспорта, снизить издержки, уменьшить стоимость перевозок, соблюдать сроки доставки грузов и обеспечивать их сохранность – то, что в большей степени продиктовано развивающимися рыночными отношениями и связанной с ними конкурентоспособностью автомобильных грузовых перевозок.

Современные условия диктуют обязательное внедрение и использование информационных технологий – информационно-управляющих систем во все сферы нашей жизни.

Самой большой проблемой области информатизации транспорта являются закрытые интеллектуальные системы. Создано огромное количество систем, автоматизирующих отдельные бизнес-процессы, а чаще даже отдельные задачи и функции. При этом системы зачастую не связаны друг с другом, используют собственные хранилища оперативной и нормативно-справочной информации. Отсутствуют регламенты поддержания актуальности, синхронизации данных в разных системах. Многие используемые средства автоматизации не соответствуют современным требованиям. На современном этапе развития информационных технологий на первый план ставится создание единого информационного пространства, которое включает в себя единое пространство данных, единое методологическое пространство и единое пространство функционала.

Что же касается перевозки опасных грузов – это особая часть номенклатуры грузов. Объемы перевозок опасных грузов автомобильным транспортом составляют более 25 % от общего и ежегодно возрастают. В общем объеме грузов, перевозимых всеми видами транспорта, доля опасных грузов составляет около 20 %. Около 35 % из них приходится на долю железнодорожного транспорта. В основном, это нефтепродукты, сжиженные и сжатые газы. Перечень опасных грузов, предъявляемых к перевозке, насчитывает около пяти тысяч наименований. Из-за присущих опасным грузам свойств их перевозка требует постоянного внимания и непрерывного контроля.

Развитие информационных и коммуникационных технологий открыло новые возможности для решения сложных транспортных проблем, с которыми сталкивается современный мир. Решение было найдено в создании уже не систем управления транспортом, а транспортных систем, в которых средства связи, управления и контроля изначально встроены в транспортные средства и объекты инфраструктуры, а возможности управления (принятия решений) на основе получаемой в реальном времени информации, в таких системах доступны не только транспортным операторам, но и всем пользователям транспорта. Задача решается путем построения интегрированной системы: люди – транспортная инфраструктура – транспортные средства, с максимальным использованием новейших информационно-управляющих технологий.

Наблюдается активный процесс формирования и развития интеллектуальных транспортных систем (ИТС) в транспортном секторе экономики, который уже привел к очевидному улучшению работы всех видов транспорта во всех странах, где этому уделялось должное внимание.

В странах – участников Европейского соглашения о международной дорожной перевозке опасных грузов предусмотрено обязательное проведение мониторинга перевозок опасных грузов. Мониторинг осуществляется с помощью комплексной информационно-аналитической системы контроля транспортных средств (КИАСК-ТС), реализованной на основе спутниковых навигационных технологий ГЛОНАСС/GPS.

Функциональная архитектура сервиса предусматривает контроль перевозок опасных грузов, в том числе их отслеживание и классификацию, уведомление об аварии с опасными грузами, передаче информации об авариях и нарушениях порядка перевозки опасных грузов всем заинтересованным организациям, отслеживание местоположения транспортного средства, перевозящего опасный груз, обнаружение его отклонения от запланированного маршрута, идентификацию входа ТС в чувствительные географические области (например зоны, в которых перевозка опасных грузов запре-

цена), аутентификация водителя с деактивацией транспортного средства при попытке управления ТС неправомочным водителем.

Система мониторинга включает:

– бортовые устройства, обеспечивающие навигацию ТС с помощью ГНСС, связь с автоматизированными центрами контроля и надзора по каналам сотовой и, возможно, спутниковой связи (с низкоорбитальными спутниками) и передачу в АЦКН информации о местоположении и состоянии ТС, вводимой водителем и формируемой автоматически;

– автоматизированные центры контроля и надзора, осуществляющие мониторинг перевозок опасных грузов.

Включение в состав бортового устройства, средство спутниковой связи необходимо для обеспечения мониторинга в зонах, где отсутствует сотовая связь. Сообщение с бортового устройства о перевозке опасного груза должно включать следующий набор мониторинговой информации:

- идентификационный номер бортового устройства;
- географическую широту местоположения транспортного средства;
- географическую долготу местоположения транспортного средства;
- скорость движения транспортного средства;
- путевой угол транспортного средства;
- время и дату фиксации местоположения транспортного средства;
- признак нажатия тревожной кнопки.

Кроме того, необходимо обеспечить возможность передачи следующих данных о перевозке опасных грузов:

- состояние ТС («Перевозка опасного груза», «Разгрузка», «Нет опасного груза»);
- номер специального разрешения, в соответствии с которым осуществляется перевозка;
- номер (номера) ООН перевозимого (перевозимых) грузов;
- данные о количестве груза на борту ТС.

Получив указанную информацию, контролирующие органы имеют возможность определить государственный регистрационный номер, модель, марку и принадлежность ТС, вид перевозимого груза (грузов), разрешённый маршрут движения. При этом возможен контроль наличия специального разрешения для данного ТС, вида груза и маршрута. В ходе перевозки они получают мониторинговую информацию, которая может использоваться для автоматического контроля соблюдения разрешённого маршрута перевозки, а при отклонении от него на величину, большую заданной, – для выдачи тревожного сообщения оператору и на линейные посты транспортного надзора.

Для опасных грузов в упаковках целесообразно предусмотреть нанесение на каждую упаковку RFID-меток, содержащих признак опасного груза и его номер ООН. Для сбора информации с RFID-меток ТС должно быть оснащено считывателями, зоны действия которых полностью перекрывают внутренний объём кузова ТС. Если конструкция кузова предусматривает возможность его закрытия и запираения, на запорное устройство целесообразно поместить «электронную пломбу» – приспособление, выдающее сигнал при попытке его несанкционированного вскрытия.

При перевозке опасных грузов навалом/насыпью представляется целесообразным использовать датчики нагрузки на оси. Существуют разновидности датчиков для автомобилей с рессорной подвеской и с пневмоподвеской. Аналогичные датчики нагрузок могут устанавливаться и на тележки железнодорожного подвижного состава.

Проведенный анализ существующих интеллектуальных транспортных систем, применяемых во время перевозки опасных грузов, не дает возможности сделать однозначный вывод, что усовершенствование ИТС еще впереди. Главным направлением усовершенствования будет разработка стандартов на телематические системы, что позволит использовать оборудование разных поставщиков в едином информационном пространстве.

#### Список литературы

1 ГОСТ Р 56829–2015 Интеллектуальные транспортные системы. Термины и определения. – М. : Стандартинформ, 2018. – 10 с.

2 Железные дороги мира : журнал. – 2020. – № 5. – С. 50–62.

## ВОССТАНОВЛЕНИЕ МОСТОВ В УГРОЖАЕМЫЙ ПЕРИОД

*Д. В. ШАМКИН*

*Белорусский государственный университет транспорт, г. Гомель*

Восстановление мостов – комплекс технических и организационных мероприятий, проводимых на местности для возобновления движения и эксплуатации, прерванных разрушениями. В зависимости от технических требований, применяемых конструкций и срока службы восстановленных сооружений и устройств различают краткосрочное, временное и капитальное восстановление мостов. Краткосрочное восстановление рассчитано на эксплуатацию восстановленных сооружений в течение ограниченного времени. При этом используются основные местные материалы, упрощённые и облегчённые конструкции, инвентарное имущество. Для налаживания краткосрочного водоснабжения применяют передвижные агрегаты, оборудование пунктов набора воды на разъездах, перегонах и мостах. При восстановлении линий связи используют полевые кабели, радиосредства. Линии прокладывают в каналах уменьшенных размеров с увеличением пролётов между опорами. Временное восстановление мостов рассчитывается на непрерывную и безопасную эксплуатацию в течение продолжительного времени и обеспечение необходимой пропускной способности в этот период. При восстановлении мостов используют блочные деревянные и сборно-разборные надстройки опор на свайных, лежневых, ряжевых фундаментах, уцелевшие части разрушенных сооружений, пакетные и сборно-разборные пролётные строения. Для увеличения темпов восстановления работы развёртывают на широком фронте использование средств механизации, блочных конструкций. Восстановление обычно ведут по типовым проектам и разработанным технологическим правилам и картам. При капитальном восстановлении применяют нормы и технические требования на строительство, принятые для мирного времени. В комплекс работ входят: техническая разведка, разминирование (при необходимости дезактивация и дегазация), изыскания, заготовка материалов и конструкций, сосредоточение в местах восстановления необходимых средств, восстановление разрушенного земляного полотна, возведение искусственных сооружений, верхнего строения пути, прокладка линий связи, восстановление водоснабжения, обходов, а также охрана и оборона восстанавливаемых объектов. Малые мосты, как правило, восстанавливаются на прежней оси. Перед восстановлением мостов на прежней оси производят расчистку русла реки от разрушенных конструкций, затем восстанавливают опоры и сооружают новые, поднимают обрушенные пролётные строения и устанавливают новые, укладывают мостовое полотно. При восстановлении на обходе возводится новый мост с подходами. В разрушенных тоннелях расчищают завалы, а затем восстанавливают повреждённую часть или заменяют её обходом. На земляном полотне сначала также расчищают завалы, затем заделывают воронки и бреши, ликвидируют оборонительные сооружения.

При капитальном восстановлении моста и последующем введении его в эксплуатацию требуется ряд мероприятий по обследованию и испытаниям моста. Обследования и испытания мостов должны выполняться специализированными организациями в области мостостроения, оснащёнными необходимой приборной базой и имеющими в своем составе квалифицированных и опытных специалистов. Обследования технического состояния больших мостов проводятся не реже 1 раза в 5 лет, остальных мостов и труб – не реже 1 раза в 10 лет. Обследования и испытания мостов и труб предназначены для выявления дефектов, оценки технического состояния сооружений и назначения режима их эксплуатации. Обследования могут проводиться как самостоятельный вид работ (без проведения испытаний). Испытания и обкатку сооружений допускается выполнять только после выполнения обследования и с учетом полученных результатов. Для решения отдельных вопросов, возникающих при проведении обследований и испытаний, по предложению организации, выполняющей обследование, заказчик должен привлекать к совместной работе организации, осуществляющие специальные виды работ (водолазные станции, лаборатории и т. д.). Привлеченные организации должны работать под общим методическим руководством организаций, выполняющих обследования, а полученные в результате проведенных работ данные должны учитываться при принятии решений о техническом состоянии сооружений. Испытаниям при приемке в эксплуатацию, как правило, должны подвергаться мосты с опытными и впервые применяемыми конструкциями. Испытания других вводимых

в эксплуатацию мостов (имеющих большие пролеты, а также большую повторяемость основных несущих элементов) могут проводиться по решениям приемочных комиссий, по требованиям проектных и эксплуатационных организаций, а также в связи с выполнением соответствующими организациями научно-исследовательских и опытных работ. Необходимость проведения испытаний в таких случаях должна быть обоснована. Вводимые в эксплуатацию и не подвергаемые испытаниям железнодорожные мосты и мосты под пути метрополитена, а также автодорожные мосты под нагрузки АБ (автомобили особо большой грузоподъемности) должны быть обкатаны. Испытания эксплуатируемых сооружений должны проводиться в случаях, когда решение вопросов, связанных с эксплуатацией сооружений, не может быть получено только расчетным путем по данным обследований. Необходимость проведения испытаний эксплуатируемых мостов обосновывается организациями, осуществляющими обследование сооружения. Решение о проведении испытаний принимает организация, на балансе которой находится сооружение. Подготовительные работы, связанные с проведением обследований и испытаний (устройство временных подмостей и смотровых приспособлений с выделением необходимых материалов и рабочей силы, предоставление испытательной нагрузки, регулирование движения по мосту и под мостом в период испытаний, заделка мест отбора проб, отрывка шурфов и др.), должны выполняться: на вводимых в эксплуатацию сооружениях – строительной организацией, возводившей объект; на эксплуатируемых сооружениях – организацией, на балансе которой находится объект. При обследовании эксплуатируемых мостов работы должны выполняться при наличии технических средств организации дорожного движения в соответствии с ТКП. Средства испытаний, измерений и контроля, применяемые при обследованиях и испытаниях мостов, должны быть подвергнуты своевременной проверке в установленном порядке и соответствовать ТНПА по метрологическому обеспечению. Использование при обследованиях и испытаниях нестандартных приборов допускается, если по их применению имеются методические указания, утвержденные в установленном порядке. При выполнении работ по обследованиям и испытаниям мостов следует руководствоваться требованиями охраны труда по ТКП 45-1.03-40 и ТКП 45-3.03-60-2009. Обследования и испытания мостов и труб, как правило, следует проводить при благоприятных погодных условиях, когда имеются условия для осмотра всех частей сооружения, не нарушается работа устанавливаемых измерительных приборов, нет препятствий для безопасного передвижения испытательной нагрузки, при соблюдении правил и требований охраны труда. Запрещается проведение испытаний при температуре наружного воздуха ниже минус 20 °С и обследований – при температуре воздуха ниже минус 30 °С. При обследованиях и испытаниях не допускается выполнять работы на высоте при скорости ветра более 15 м/с, при гололедице, грозе или тумане, исключающем видимость в пределах фронта работ. При обнаружении во время производства работ повреждений и дефектов, которые могут привести к резкому снижению грузоподъемности моста или обрушению конструкций, следует немедленно сообщить об этом эксплуатирующей организации и заказчику работ.

#### Список литературы

- 1 ТКП 45-3.03-60-2009 (02250). Мосты и трубы. Правила обследований и испытаний. – Минск : Стройтехнорм, 2009. – 29 с.
- 2 **Этин, Е. М.** Испытания железнодорожных мостов / Е. М. Этин. – Гомель : БелГУТ, 2005. – 32 с.

УДК 625.8

## СОВРЕМЕННЫЕ КОНСТРУКЦИИ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ

*М. С. ШИЛКИН Д. С. РУЛЁВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Ровные высококачественные современные асфальто-бетонные дорожные покрытия, которые обеспечивают полноценное сцепление колес транспорта с дорожным полотном, являются залогом безопасного и комфортного дорожного движения. Но под механическим воздействием на дорожную одежду большегрузов и из-за старения дорожной одежды образуются трещины, ямы, деформация дорожной одежды. Зачастую все эти деформации провоцирует зимний период. Вода, проникающая в поверхностные трещины, превратившись в лёд, расширяется и выдавливает окружающий

асфальт. После оттаивания пораженный участок остается непригодным для повторной инфильтрации воды, что в конечном итоге приводит к большим трещинам и выбоинам.

Одним из самых распространенных видов ремонта дорог является ямочный ремонт, так как нет необходимости перекрывать движение и это не так затратно, если бы производился ремонт всего участка дороги. Но качество ямочного ремонта зависит в первую очередь от соблюдения последовательности технологических операций при выполнении работ. Довольно часто нерадивые рабочие даже не обращают внимания на условия и требования, которые необходимо соблюдать в процессе выполнения ремонта дорог, поэтому недобросовестное и небрежное отношение к работе чаще становится причиной разрушения покрытий дорог.

Ямочный ремонт дороги не подразумевает выполнения каких-либо работ по восстановлению коммуникаций, благоустройству территорий: асфальт укладывается только на участках, которые нуждаются в срочном ремонте. Помимо этого, следует отметить, что подобные работы должны осуществляться в строгом соблюдении всех пунктов технологического процесса.

Ямочный ремонт актуален на протяжении десятилетий. Есть десятки технологий проведения такого ремонта дорожных покрытий, при этом оптимальный способ подбирается исходя из погодных условий, состояния полотна, возможностей полноценного использования специальной техники и от специфики применяемых материалов.

Ямочный ремонт дорожного покрытия обладает несколькими неоспоримыми достоинствами:

- нет необходимости в полном перекрытии движения по автостраде/трассе;
- оперативное проведение всех нужных работ (маленькие участки восстанавливаются в течение суток);
- отсутствие необходимости привлечения тяжелой специальной техники;
- ямочный ремонт асфальтового покрытия не требует огромных финансовых затрат (в сравнении с выполнением капитального ремонта).

При выполнении ямочного ремонта не обязательно использовать тяжелые катки, в некоторых случаях достаточно ручных вибрационных плит. Также ямочный ремонт асфальта выполняют с использованием небольших тротуарных или вибрационных катков.

Традиционный метод ремонта. При таком способе ремонта сначала отделяется поврежденный участок от покрытия, делается это при помощи дорожной фрезы. Затем обрубается кромка выбоины с приданием им прямоугольных очертаний. Затем производится очищение дефектного сектора от пыли и крошек его кромки и дно обрабатывают жидкой битумной эмульсией или разогретым битумом, после чего заливают асфальтобетонную смесь. Ямочный ремонт дорожного покрытия, технология которого традиционная, позволяет получать высококачественный результат работы, однако при этом требуется проводить существенное количество операций. Его используют в процессе ремонта различных видов покрытий из битумо-минеральных и асфальтобетонных материалов.

Но специалисты создали «самоисцеляющийся» материал, путём насыщения асфальта электропроводящими волокнами-наполнителями в конфигурации замкнутых контуров.

Инновационная система действует следующим образом: электрический ток пропускается через волокна-наполнители в непосредственной близости с дорожной трещиной.

Электрическая цепь генерирует внутреннее тепло необходимой температуры. Под действием нагрева битум расплавляется и уплотняется.

Также учёные решили подмешивать в битум богатую магнетитом железную руду, обнаруженную в породе горного хребта Месаби.

Таким способом им удалось создать модифицированный материал, которым эффективно ремонтировать дорожные полотна, используя специальное транспортное средство.

Инновационный строительный материал содержит следующие компоненты: магнетит (1–2 %), измельченный асфальт, крошка переработанных тротуарных покрытий, крошка переработанной черепицы.

Обнаруженные выбоины дорожного полотна заливаются такой смесью, после чего смесь нагревают микроволновым блоком. Излучающий микроволны сервисный блок прикрепляется к специальному ремонтному грузовику.

Дополнительным преимуществом этой технологии видится использование переработанных строительных материалов вместо первичных связующих материалов.

Тем самым данная технология существенно удешевляет содержание давно построенных дорог. Хотя они и надёжны, но материал стареет и нуждается в усовершенствовании и восстановлении, чем является данная технология.

## Список литературы

- 1 Операционный контроль качества земляного полотна и дорожных одежд / под ред. А. Я. Тулаева. – М. : Транспорт, 1985.
- 2 **Карташкова, Л. М.** Основы строительства автомобильных дорог (земляное полотно, дорожная одежда) : учеб. пособие / Л. М. Карташкова. – Оренбург : ИПК ГОУ, 2008. – 134 с.

УДК 351.8

### **ОБЕСПЕЧЕНИЕ КОМПЛЕКСНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЗАПУСКЕ И ФУНКЦИОНИРОВАНИИ ТРАНСПОРТНОГО ПРОЕКТА «МЦД»**

*Р. Р. ШАДЫЕВ, А. М. КОРОЛЕВА*

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

Транспортная безопасность – состояние защищённости объектов транспортной инфраструктуры транспортных средств от актов незаконного вмешательства, где актом незаконного вмешательства (АНВ) 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.

Обеспечение мероприятий защиты персонала и пассажиров от актов незаконного вмешательства и чрезвычайных ситуаций.

Железнодорожный транспорт представляет собой угрозу для пассажиров и персонала железной дороги, а также для населения, проживающего в непосредственной близости от железнодорожных путей, станций, вокзалов. Это связано с перевозками по железной дороге большого количества легко воспламеняемых, взрывоопасных, химических и радиационных материалов. Поэтому причинами актов незаконного вмешательства, в том числе и террористической направленности, и чрезвычайные ситуации могут быть: сход подвижного состава с рельсов в результате столкновений, нарушения целостности путей, обрушения мостов; пожары, взрывы, утечки ядовитых грузов; наезд подвижного состава на автомобили, гужевые повозки и т. д.; воздействие неблагоприятных погодных условий.

В связи с этим стоят вопросы защиты людей на железнодорожном транспорте. Основные принципы защиты пассажиров, персонала и населения формируются, исходя из законов «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» 1994 г. № 68-ФЗ, «О противодействии терроризму» 2006 г. № 35-ФЗ, «О транспортной безопасности» 2007 г. № 16-ФЗ, особенностей территорий, размещений ОТИ и ТС.

Пропускной режим. Мероприятия по обнаружению лиц, запрещенных для пребывания в зоне транспортной безопасности.

Под пропускным режимом обычно понимают установленный порядок пропуска через контрольно-пропускные пункты входы и выходы в здание людей.

В соответствии с Требованиями обеспечения транспортной безопасности в обязанности субъекта по пропуску и внутри объектного режиму входят различные мероприятия: организация пропускного и внутри объектного режима на ОТИ и ТС; воспрепятствование проникновению запрещенных предметов и материалов (взрывчатые и легковоспламеняющиеся вещества и т. д.)

Среди наиболее важных мероприятий технического характера выделяется оснащение ОТИ техническими средствами обеспечения транспортной безопасности, которые должны осуществлять: идентификацию физических лиц при их перемещении через КПП на границы зоны транспортной безопасности; обнаружение и распознавание характера событий, связанных с объектами видеонаблюдения; выявление нарушителя; хранение в электронном виде данных видеонаблюдения; обеспечение необходимым количественным и качественным составом, а также схемой размещения технических систем и средств досмотра в целях обеспечения транспортной безопасности.

Обеспечение безопасности железнодорожных объектов техническими средствами.

Министерством транспорта Российской Федерации разработаны Требования по обеспечению транспортной безопасности, учитывающие уровни безопасности для различных категорий объектов транспортной инфраструктуры и транспортных средств железнодорожного транспорта (приказ Министерства транспорта от 08.02.2011 г. № 43). Эти требования определяют систему мер, реализу-

мых субъектами транспортной инфраструктуры для защиты ОТИ и ТС от потенциальных, непосредственных и прямых угроз совершения АНВ.

В основе системы защиты любого объекта лежит принцип создания последовательных рубежей, в которых угрозы должны быть своевременно обнаружены, а их распространению должны препятствовать надежные преграды. Такие рубежи должны располагаться последовательно от забора вокруг территории объекта до главного помещения.

Основу планировки и оборудования зон безопасности составляет принцип равно прочности границ.

Задачи обнаружения нарушителя и определения места его проникновения могут быть решены как с помощью личного состава (силы полиции, транспортной полиции и др.), так и с помощью технических средств охраны.

В состав комплекса технических средств обеспечения безопасности объекта входят: технические средства охранной сигнализации; технические средства наблюдения; система контроля и управления доступом; технические средства пожарной сигнализации; вспомогательные устройства.

Наиболее распространёнными компонентами инженерно-технических систем обеспечения транспортной безопасности являются инженерные сооружения.

Инженерные сооружения обеспечения транспортной безопасности – часть конструкции ОТИ и ТС, предназначенные для воспрепятствования, а также задержки или замедления проникновения нарушителя в зону безопасности. Надежная защита периметра объекта позволяет на ранней стадии предотвратить случайное или умышленное проникновение на него. Виды инженерных сооружений обеспечения транспортной безопасности: ограждения; заграждения; средства обнаружения; системы видеоконтроля; металлодетекторы; рентген, телевизионные установки; аппаратура радиационного контроля; аппаратура обнаружения паров взрывчатых веществ.

Возможные способы обеспечения транспортной и антитеррористической безопасности.

Выше были описаны возможные риски, связанные с работой новой транспортной системы «МЦД». Риски можно разделить на две взаимосвязанные категории: угроза появления террористических или чрезвычайных ситуаций и организационные просчеты.

На момент запуска проекта «МЦД» на некоторых станциях отсутствовали средства обеспечения безопасности (ограждения, металлодетекторы), ввиду чего член террористической группировки мог беспрепятственно пройти на территорию станции, нанести удар на ней, либо любой другой станции магистрали, поэтому систему безопасности необходимо делать равнозначной на всех, даже станциях с небольшим пассажиропотоком.

Ввиду этого необходимо при запуске последующих линий «МЦД» либо схожих проектах, проводить комплекс мероприятий: устанавливать инженерные средства обеспечения безопасности (ограждения, заграждения, средства обнаружения, системы видеоконтроля, металлодетекторы, рентген, телевизионные установки, аппаратура радиационного контроля, аппаратура обнаружения паров взрывчатых веществ); Установка пропускного режима на станциях с возможностью проверки пассажиров и сотрудников на предмет наличия запрещенных материалов или веществ; использование систем расчета необходимого числа подвижного состава в разное время работы; соблюдение основных условий строительства станций/перронов и прилегающих территорий.

#### Список литературы

1 **Бегор, К.** Определение терроризма и проблема релятивизма / К. Бегор // Сравнительное конституционное обозрение. – 2006. – № 4 (57). – С. 37–46.

2 **Вахрамеев, А. В.** Международный терроризм и национальная безопасность России / А. В. Вахрамеев // Социально-гуманитарные знания. – 2004. – № 2. – С. 3–15.

3 Федеральный закон «О противодействии терроризму»: принят Государственной думой 26 февраля 2006 года; одобрен Советом Федерации 1 марта 2006 года // Официальные документы в образовании. – 2006. – № 10. – С. 13–32.

4 Уголовный кодекс Российской Федерации от 13.06.1996 № 63-ФЗ (ред. от 29.05.2019) // Собрание законодательства РФ. Официальные электронные версии бюллетеней [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.szrf.ru/szrf/>. – Дата доступа : 19.11.2020.

5 BIM (Building Information Model или Modeling) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : **Ошибка! Недопустимый объект гиперссылки..** – Дата доступа : 19.11.2020.

6 **Benmelech, E.** Economic Conditions and the Quality of Suicide Terrorism / E. Benmelech, C. K. Berrebi, F. Esteban // NBER Working paper. – 2010. Aug.

7 **Levack, B. P.** The witch hunt in early modern Europe / B. P. Levack. – L. : N. Y., 1995.

## АНАЛИЗ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ ПРИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ В СТРАНАХ НАТО

*А. С. ШИПИЛЁВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Развитие железных дорог служит мощным импульсом прогресса соответствующих отраслей в экономике страны. Однако закрытие даже небольшого участка железнодорожной линии может привести к необратимым последствиям – убыткам в несколько миллиардов долларов. Причин может быть несколько и в рамках страны они приобретают характер чрезвычайных ситуаций. Рассмотрев за прошедшие десятилетия ряд чрезвычайных ситуаций – техногенных катастроф, природных явлений в странах Североатлантического Альянса, приведем некоторые случаи, которые доказали необходимость наличия специальных планов-алгоритмов как при угрозе возникновения чрезвычайных ситуаций, так и при восстановлении путей сообщений.

Обрушение нового туннеля в Раштатте в августе 2017 года и последующее закрытие линии Карлсруэ – Базель, что привело к просадке дороги наверху, в результате чего работа на главной линии между Германией и Швейцарией резко остановилась.



Рисунок 1 – Последствия разрушения туннеля вблизи города Раштатт

Линия составляет неотъемлемую часть Европейского железнодорожного грузового коридора Рейн-Альпин, который проходит от портов Северного моря Роттердама, Зебрюгге, Антверпена, Амстердама и Влиссингена до промышленных центров Северной Италии и порта Генуя в Италии. Коридор является наиболее промышленно развитым маршрутом с севера на юг в Центральной Европе, соединяющим Нидерланды, Бельгию, Германию, Швейцарию и Италию.

Срыв движения в Раштатте подчеркивает необходимость наличия планов действий в чрезвычайных ситуациях, основанных на надежном управлении рисками. Для каждой основной железнодорожной магистрали должны быть заранее определенные альтернативы, которые должны разрабатываться и постоянно обновляться вместе с железнодорожными предприятиями и мультимодальными партнерами, такими как операторы перевозочных железнодорожных компаний, железнодорожные автомобильные терминалы, частные подъездные пути, морские порты и службы внутреннего судоходства. Необходимо учитывать пропускную способность: железнодорожная линия с 200 грузовыми поездами в день должна предлагать альтернативные маршруты не менее 75 % от нормального объема.

Должны быть доступны альтернативные пути отклонения от маршрутов коридора на случай нарушения дорожного движения. Их необходимо указать заранее. Отводные маршруты должны иметь характеристики, особенно с точки зрения габаритов погрузки, осевой нагрузки, длины поездов и электрификации, которые позволяли бы отклонять поезда без отрицательного воздействия на качество железнодорожных услуг.

В то время как некоторые формы бедствий, такие как землетрясения, невозможно точно спрогнозировать, другие можно предсказать, наблюдать и подготовиться к ним. В июле 2018 года компания Швейцарские федеральные железные дороги (SBB) поручила компании Altametris, эксплуатирующей дроны, провести валидацию новых технологических методов обнаружения, моделирования и предотвращения стихийных бедствий, таких как оползни. Данный вид бедствия является характерным большинству стран, входящих в блок НАТО.

Испытания проводились на склоне горы высотой 500 м и длиной 900 м с видом на город Бриенц в Швейцарских Альпах, который перемещается в среднем на 1–10 мм в день с регулярными каменными обрывами. Хотя SBB не имеет инфраструктуры, которой сразу угрожает неустойчивый склон, исключительная скорость движения сделала его идеальным местом для быстрой оценки и проверки новой технологии.

В июле прошлого года команда, состоящая из старшего пилота дронов с 15-летним опытом работы и специалиста по топографической геометрии, специализирующегося на 3D-технологиях, смогла параметризовать технологию LiDAR (обнаружение света и дальность) и проверить качество данных в полевых условиях. Исследование было проведено с использованием многороторного беспилотного летательного аппарата. Затем команда построила 3D-модель высокой плотности с почти 1000 точек на квадратный метр, в результате чего была проведена детальная съемка местности с записью 2D-модели склона с точностью до сантиметра.

По словам главы компании Altametris, этот тип технологии позволит менеджерам инфраструктуры и другим лицам, ответственным за территорию вокруг железной дороги, анализировать малейшее движение и планировать конкретные корректирующие действия. Несмотря на прогресс в области технологий, планирования и политики, угроза бедствий сохранится. Тем не менее железные дороги будут и дальше искать новые и инновационные способы обеспечения максимально бесперебойной работы.

Так же следует отметить опыт американской транспортной компании – Metropolitan Transit Authority (MTA), извлекающей уроки из прошлого опыта, чтобы создать систему, которая будет более надежной и устойчивой к бедствиям.

Когда в октябре 2012 года надвигался ураган Сэнди, MTA применила на практике методы, извлеченные из урагана Ирена годом ранее и рождественской метели 2010 года. Власти закрыли метро, пригородные железнодорожные линии, туннели и мосты, а также переместили оборудование на возвышенность. Компания New York City Transit (NYCT) также закрыла входы на станции и вентиляционные решетки, чтобы минимизировать затопление, обеспечила железнодорожные переезды и использовала 1200 листов фанеры и 15 000 мешков с песком для установки временных барьеров от наводнений по всей системе.

Масштабы наводнения по-прежнему были значительными: примерно 227 миллионов литров воды затопили туннель Хью Л. Кэри, 102 миллиона литров воды – тоннель Монтегю и 26 миллионов литров соленой воды заполнили тоннель метро 14th Street – Canarsie. Однако 80 % метро было восстановлено в течение пяти дней, а большая часть пригородных поездов к западу от Гудзона заработала в течение недели.

Вывод: следует создать структуру для повседневной координации между национальными управляющими инфраструктурой, железнодорожными предприятиями, терминалами, операторами и клиентами в случае возникновения чрезвычайной ситуации.

Необходимо разработать планы управления кризисными ситуациями на случай крупных сбоев в будущем, а в случае сбоев необходимо незамедлительно назначить группу по координации действий в чрезвычайных ситуациях. Также должна быть эффективная связь в режиме реального времени со всеми затронутыми пользователями, и должен быть создан чрезвычайный фонд.

#### Список литературы

1 Dealing with Disaster [Электронный ресурс] / International Railway Journal. – Режим доступа : [https://www.railjournal.com/in\\_depth/dealing-disaster](https://www.railjournal.com/in_depth/dealing-disaster) – Дата доступа : 19.09.2020.

2 Rastatt was a disaster for rail freight. Let's learn the lessons [Электронный ресурс] // International Railway Journal – Режим доступа : <https://www.railjournal.com/opinion/rastatt-was-a-disaster-for-rail-freight-lets-learn-the-lessons>. – Дата доступа : 19.09.2020.

## **ОБЪЕКТЫ НА ВОЕННО-АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГАХ, ПОДЛЕЖАЩИЕ ЗАЩИТЕ, ОХРАНЕ И ОБОРОНЕ, СПОСОБЫ И СРЕДСТВА ВОЗДЕЙСТВИЯ НА НИХ ПРОТИВНИКА**

*Я. В. ШУТОВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Опыт войн и вооруженных конфликтов последних лет, опыт крупномасштабных военных учений, проведенных в нашей стране в последние годы, и боевые действия войск вероятного противника показывают, что в целях дезорганизации работы тыла, срыва всех видов подвоза противник будет наносить удары по путям сообщения. Основным средством боевого воздействия в современной войне может быть высокоточное оружие, а также ядерное оружие, применяемое в сочетании с другими средствами массового поражения. Как показывает опыт учений, только в результате первого массированного удара в зонах заражения может оказаться 60–80 % протяженности ВАД.

Знание способов и средств нападения противника, тактики действий диверсионно-разведывательных групп (ДРГ) дает возможность командирам всех степеней принимать обоснованные решения на организацию защиты, обороны и охраны.

Выполнение всех мероприятий по организации защиты, охраны, обороны и маскировки объектов на военно-автомобильных дорогах позволит выполнить задачи по предназначению, а самое главное – сохранить жизни военнослужащих.

Защита, охрана, оборона и маскировка на ВАД организуется с целью максимально ослабить воздействие противника на личный состав и технику дорожных соединений и воинских частей, участников движения; обеспечить сохранность важнейших дорожных объектов, сохранение боеготовности дорожных воинских частей и подразделений и успешное выполнение поставленных им задач.

Защита, охрана, оборона и маскировка на ВАД организуются начальником Департамента транспортного обеспечения и заместителями командующих оперативных командований по тылу. Мероприятия по защите, охране, обороне и маскировке определяются в общей системе организации эксплуатации при планировании дорожного обеспечения и отражаются в соответствующих документах.

Командиры дорожно-мостовых соединений и дорожно-комендантских подразделений несут личную ответственность и непосредственно организуют защиту, охрану, оборону и маскировку объектов на ВАД. На занятиях в системе боевой и оперативной подготовки, на полевых выходах и учениях этому вопросу следует уделять самое пристальное внимание. Необходимо тщательно изучать опыт локальных войн и вооруженных конфликтов, тактику действий ДРГ и НВФ противника, действующих в тылу с целью дезорганизацией работы тыла и транспортных коммуникаций. Опыт войн и вооруженных конфликтов последних лет, а также опыт крупномасштабных военных учений, проведенных в нашей стране в последние годы, и боевые действия войск вероятного противника показывают, что в целях дезорганизации работы тыла, срыва всех видов подвоза противник будет наносить удары по путям сообщения. Основным средством боевого воздействия в современной войне может быть высокоточное оружие, а также ядерное оружие, применяемое в сочетании с другими средствами массового поражения. Как показывает опыт учений, только в результате первого массированного удара в зонах заражения может оказаться 60–80 % протяженности ВАД. В современных условиях противник будет стараться нарушать движение на дорогах и тем самым затруднять или прерывать передвижение войск и подвоз материальных средств. Вот почему с целью максимального ослабления воздействия противника на транспортные коммуникации необходимо организовывать и осуществлять их надежную защиту, оборону и охрану.

К объектам на ВАД, на которые может быть совершено нападение тем или иным способом, можно отнести:

- мосты и переправы через водные преграды;
- регуляционные сооружения на водотоках (дамбы, плотины);
- горные перевалы, тоннели, подпорные стенки;
- участки дорог, проходящие через болота, лесные массивы;
- войсковые и транспортные колонны, находящиеся на марше;
- места расположения штабов дорожных воинских частей, подразделений, ДП и пунктов обслуживания.

Нападение (воздействие) противника может быть: прямое, косвенное (попутное).

В первом случае какой-либо дорожный объект является непосредственной целью удара, а во втором – на дорожный объект оказывается сопутствующее воздействие в результате прямого нападения на другие тыловые объекты.

К прямым воздействиям относят:

- огневое с целью разрушения объектов на ВАД (удары авиации, ракетный обстрел);
- диверсионные действия десантов противника, специально направленных групп, остатков разгромленных войск противника, пробивающихся к линии фронта.

К косвенным (попутным) воздействиям относятся:

- разрушение населенных пунктов, являющихся одновременно узлом коммуникаций;
- заражение участков военно-автомобильных дорог в результате выпадения радиоактивных осадков;
- нарушения, вызванные воздушным нападением, ракетным обстрелом колонн, передвигающихся по ВАД.

Методы воздействия противника на сеть ВАД следует рассматривать только в комплексе. Чтобы успешно организовать оборону и охрану, необходимо знать и постоянно изучать приемы и способы действия диверсионных и других формирований вероятного противника.

Важнейшей особенностью действий десантов и диверсионно-разведывательных групп является скрытность. Они будут действовать ночью с тщательным соблюдением всех требований маскировки, выбирая для движения к объекту нападения наиболее скрытные пути.

Второй особенностью их действий в нашем тылу будут внезапность, быстрота обнаружения и уничтожения объекта диверсии. Практика показывает, что диверсионно-разведывательные формирования и воздушные десанты, действуя в тылу, могут выполнять самые разнообразные задачи:

- выявление районов расположения важных объектов тыла;
- нарушение работы трубопроводов, железных и автомобильных дорог, захват и уничтожение мостов, тоннелей, переправ с целью срыва подвоза войскам материально-технических средств;
- поражение личного состава тыловых частей, подразделений и учреждений;
- заражение воды, продовольствия химическими и бактериальными средствами.

Считается, что наибольший успех действий достигается использованием небольших по численности групп, имеющих в своем составе от 3–5 до 20 человек. Для выполнения сложных задач, связанных с нарушением работы (или уничтожением крупных, хорошо охраняемых объектов), могут создаваться диверсионные отряды до 50–70 и более человек.

Группы и отряды, засылаемые в тыл от войск специального назначения, могут вести разведку и осуществлять диверсии на глубину 100–150 км и более. Группы, засылаемые от оперативных объединений и общевойсковых соединений, будут действовать на глубину 70–80 км и более. По этим показателям видно, что действиями диверсионно-разведывательных групп будет охвачена вся глубина тыловых районов.

Уставы и наставления иностранных армий рекомендуют следующий порядок действий при совершении налёта на объекты противника. Группа разграбления бесшумно и скрытно выдвигается к объекту, проделывает проходы в заграждениях перед объектом и, как правило, без выстрелов уничтожает охранение. Штурмовая группа после уничтожения охранения при поддержке группы разграбления внезапно атакует и уничтожает его гарнизон и сооружение (технику, пусковые установки). Выполнив задачу, группа быстро выводит пленных, выносит захваченные документы, образцы вооружения и техники. Группы обеспечения в случае необходимости поддерживают штурмовую группу огнём. Часть из них, располагаясь на дорогах, ведущих к объекту, изолирует его, минирова пути, по которым могут подойти резервы противника или придут на помощь рядом расположенные подразделения в порядке осуществления взаимодействия. После выполнения задачи диверсионно-разведывательный отряд разделяется на несколько групп, которые отходят в различных направлениях. Считается, что такой приём затруднит противнику организацию и ведение преследования. Опыт боевых действий в Афганистане, Чечне свидетельствует в пользу такой тактики. Более того, боевики выходили к объекту не всем отрядом, а группами по 2–3 человека каждая, которые, умело маскируясь, выходят в назначенное время к месту сбора, не вызывая подозрений у несущих службу по охране объекта.

Вторым способом активного воздействия на работу тыла является устройство засад. Организуются они как ночью, так и днем. Предпочтение, конечно, отдается ночным засадам, поскольку

в темное время суток легко нанести внезапный удар по противнику, вызвать в его рядах замешательство и с наименьшими потерями вывести из боя свои силы.

Таким образом, в современных условиях, как никогда прежде, увеличилась возможность нападения наземного противника на дорожные объекты и воинское движение. Глубина проникновения диверсионно-разведывательных групп противника различна: от 75 до 450 км и более. Это значит, что дорожные воинские части и подразделения могут быть объектами нападения и должны быть в постоянной готовности к отражению нападения противника. Знание способов и средств нападения противника, тактики действий диверсионно-разведывательных групп (ДРГ) дает возможность командирам всех степеней принимать обоснованные решения на организацию защиты, обороны и охраны.

#### Список литературы

- 1 Учебник сержанта транспортных войск. Ч. III: Тактико-специальная, специальная и техническая подготовка дорожно-мостовых подразделений : учеб. – Гомель, 2014. – 818 с.
- 2 Эксплуатация военно-автомобильных дорог : учеб. пособие. – Гомель, 2014.
- 3 Тактика подразделений дорожных войск : учеб. – М. : МКУДИВ, 1993.

УДК:624.21/8

## АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ НАПЛАВНЫХ МОСТОВ ИЗ ИМУЩЕСТВА НЖМ-56 НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

*Н. И. ЮРАСЮК*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Гидрографическая сеть Беларуси включает 20 800 рек и ручьёв, общей длиной 90 600 км, более 10 тыс. озёр, почти 2 тыс. водохранилищ и прудов, транспортные и мелиоративные каналы. Преобладают малые реки и ручьи длиной менее 100 км, на долю которых приходится 93 % всех рек. Только девять рек по общей длине относятся к категории больших: Днепр, Березина, Сож, Припять, Западная Двина, Неман, Западный Буг, Горынь и Ловать.

Реки имеют извилистые русла с большим количеством плесов и перекатов, небольшие уклоны и медленное течение. Местами они разделены на рукава. Во время весеннего половодья уровень воды в таких реках поднимается незначительно.

Крупные реки обычно имеют ширину от 80 до 120 м, а на отдельных плоских низинах она может увеличиваться до 500 м. Средняя глубина большинства рек до 1 м, на плесах крупных рек она может увеличиваться до 8 м и более.

По гидрологическому режиму реки Беларуси относятся к восточно-европейскому типу, со стоком во все сезоны года и весенним половодьем, которое лучше выражено на востоке и севере Беларуси. Летом и зимой на реках Беларуси обычно отмечается самый низкий уровень воды – летняя и зимняя межень.

Равнинный характер рек обусловил малую скорость течения, которая у крупных рек не превышает 0,6–0,7 м/с, а у малых – более 1,5 м/с.

Протяженность водных путей Республики Беларусь составляет около 2,5 тыс. км, однако их использование для внутренних перевозок во многих случаях нецелесообразно. Связано это с тем, что только на самых крупных водных артериях, сосредоточенных преимущественно по периметру республики, глубины достигают 1,5 м. Водные пути Беларуси никак не связаны между собой (за исключением Днепра, Припяти и Буга). Небольшие размеры государства и довольно развитая сеть автомобильных дорог не способствуют росту объемов внутренних перевозок речным транспортом.

Исходя из вышеизложенного можно сделать вывод, что использование имущества НЖМ-56 для устройства мостовых переходов возможно только на девяти больших реках в районах плесов при зеркале воды не менее 90–100 метров.

В рамках дипломных проектов курсантов-мостовиков рассматривались варианты восстановления мостовых переходов через реки Днепр, Сож и Березина при помощи инвентарных имуществ НЖМ-56. Также и проектные соображения на восстановление больших мостов через эти реки предусматривают восстановление движения поездов через эти реки при помощи НЖМ-56.

Однако аномально жаркая погода последних 5 лет в летний период ставит нас перед необходимостью пересмотра данных вариантов восстановления. Приведем некоторые данные по состоянию гидрологии рек республики на июнь месяц разных лет.

В 2011 году в первой половине июня на всех реках республики наблюдался спад уровней воды с суточной интенсивностью от 1 до 35 см. Существенные дожди ливневого характера во второй половине месяца обусловили повсеместно замедление спада уровней воды, а на некоторых участках рек небольшой их рост. Ниже опасных низких отметок для судоходства уровни воды сохранялись на Западной Двине у г. Витебска, Днепре на участке Могилев – Речица, Березине у г. Борисова, Соже у г. Гомеля и Пине у г. Пинска, в результате чего здесь ухудшились условия для работы речного транспорта. Водность в июне оказалась близкой к норме на Березине, Соже и Днепре выше г. Могилева, на 20–40 % ниже ее на Западной Двине, Немане и Припяти, а на 40 % выше средних многолетних значений для этого времени года на Днепре ниже г. Жлобина.

В 2012 году прошедшие в июне дожди, местами сильные, обусловили на реках замедление спада уровней воды и их рост.

В 2013 году во второй и третьей декадах июня на реках республики преобладал спад уровней воды. Пойменные земли освободились от паводковых вод на большем протяжении Днепра и Припяти, притоках Припяти реках Пина и Случь. Уровни воды опустились ниже опасных отметок для судоходства на Соже у г. Гомеля и Днепре у г. Могилева.

В 2014 году в первой половине июня уровни воды находились ниже опасных отметок, лимитирующих судоходство, на Западной Двине на участке Сураж – Витебск, Немане у г. Гродно, Днепре на участке Могилев – Речица и Соже у г. Гомеля. Уровни воды были близки к минимальным значениям для этого времени года на Западной Двине у г. Сураж, Днепре у г. Могилева и Беседи у д. Светиловичи, а на Западной Двине у г. Витебска и Днепре у г. Жлобина значения уровней воды оказались ниже многолетних минимумов за июнь.

Температура воздуха за вторую декаду августа в среднем по Беларуси составила +18,9 °С, что выше декадной климатической нормы на 2,2 °С.

Вторая декада августа оказалась очень сухой: в среднем по стране выпало лишь 4,8 мм осадков, что составило 19 % декадной климатической нормы.

В 2015 году в течение июня на реках преобладал спад уровней воды. Водность большинства рек оказалась значительно ниже обычной для этого времени года. Значения уровней воды были ниже многолетних минимумов за июнь на Западной Двине у г. п. Сураж, г. Витебска и г. Полоцка; Днепре (участок Могилев – Речица); Березине у г. Бобруйска и г. Светлогорска; Соже у г. Кричева и г. Гомеля; Беседи у д. Светиловичи; Припяти у г. Пинска; д. Черничи и г. Мозыря; Уборти у д. Краснобережье; Случи у д. Ленин. Уровень воды на Днепре у г. Жлобина оказался ниже исторического минимума за период наблюдений. Неблагоприятные условия для работы речного транспорта наблюдались на Западной Двине на участке Сураж – Витебск и у г. Полоцка; Немане у г. Гродно; Днепре на участке Могилев – Речица; Березине у г. Борисова и у г. Светлогорска; Соже у г. Гомеля; Припяти у г. Мозыря и Пине у г. Пинска.

Таким образом, исходя из приведенных данных можно сделать вывод о невозможности восстановления мостовых переходов с использованием барж и судов речного флота, а также о дополнительных ограничениях на использование наплавных мостов из имущества НЖМ-56. При продолжающемся общем потеплении климата необходимо проводить мониторинг глубин и ширины зеркала воды в местах предполагаемой наводки мостов из имущества НЖМ-56 и произвести корректировку проектных соотношений исходя из сложившейся обстановки.

## СОДЕРЖАНИЕ

Приветственное слово ректора университета <i>Ю. И. Кулаженко</i> .....	3
Приветственное слово Начальника Белорусской железной дороги <i>В. М. Морозова</i> .....	4
<b>БЕЗОПАСНОСТЬ И НАДЕЖНОСТЬ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА И СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ</b>	
<i>Ананьева О. С., Глазовский С. В.</i> Неразрушающий контроль колесных пар электровозов серии БКГ .....	5
<i>Ананьева О. С., Загорцев В. А., Подольская В. Н.</i> Тяговая подстанция постоянного тока с накопителями электрической энергии .....	7
<i>Афанаськов П. М., Коновалов Е. Н., Белозуб В. В., Nikolaev O.</i> Усиление верхней обвязки полувагона для перевозки технологической щепы .....	8
<i>Афанаськов П. М., Пастухов М. И., Чернин Р. И.</i> Подход к определению остаточного ресурса вагонов-самосвалов для перевозки сыпучих грузов после длительной эксплуатации.....	10
<i>Ашуркова С. Н., Антипин Д. Я.</i> Методика оценки прочностных показателей пассажирского вагона с усовершенствованной несущей конструкцией кузова.....	12
<i>Белан С. Н., Гребень В. А., Томищ В. С., Корниевский И. А.</i> Идентификация объектов железнодорожного транспорта на основе технологий параллельного сдвига и клеточных автоматов .....	14
<i>Бондаренко О. И., Бондаренко Д. А.</i> Оценка безопасности пассажирского подвижного состава при опрокидывании вагонов.....	16
<i>Бороненко Ю. П., Рахимов Р. В.</i> Экспериментальная проверка точности измерений боковых нагрузок от колес на рельсы .....	18
<i>Босый Д. А., Блиндюк В. В.</i> Исследование способов оптимизации напряжения в тяговой сети постоянного тока .....	20
<i>Босый Д. А., Тертышина И. А.</i> Потери электроэнергии при ограниченном управлении устройствами тягового электроснабжения.....	21
<i>Босый Д. А., Тыжбир Х. И.</i> Снижение высших гармонических составляющих на тяговых подстанциях постоянного тока .....	22
<i>Босый Д. А., Химоненко В. Г.</i> Модернизация солнечного трекера системой искусственного интеллекта .....	23
<i>Брусенцов В. Г., Пузырь В. Г., Костыркин О. В.</i> Функциональная надежность работников локомотивных бригад как решающий фактор безопасности железнодорожного транспорта.....	24
<i>Бугаева Е. В., Белозуб Н. В.</i> Использование пассажирских вагонов после длительной эксплуатации .....	26
<i>Бурченков В. В., Асадчий И. В.</i> Роботизация технического обслуживания и ремонта грузовых вагонов.....	28
<i>Василевский В. В., Скачков А. Н., Юхневский А. А.</i> О влиянии расположения опор на низшую частоту изгибных колебаний в балочных моделях кузова вагона.....	30
<i>Василевский В. В., Юхневский А. А., Самошкин С. Л.</i> Об оценках усталостной прочности несущих конструкций пассажирских вагонов локомотивной тяги .....	32
<i>Воробьев А. О., Хоменко А. А.</i> Исследования жесткостных характеристик шарниров шаровых лемнискатного механизма связи тележки с кузовом электропоезда.....	33
<i>Воробьев А. О., Хоменко А. А.</i> Испытания кресел для железнодорожного подвижного состава .....	35
<i>Ворожун И. А.</i> Оценка адекватности математических моделей соударения платформы, загруженной трубами, с группой неподвижных вагонов .....	37
<i>Галай Э. И., Рудов П.К., Галай Е. Э.</i> Тормозная сила композиционных тормозных колодок по мере их износа на грузовых вагонах.....	39
<i>Герасименко П. В.</i> Совершенствование численного алгоритма решения задачи о напряженно-деформированном состоянии железнодорожных тонкостенных оболочечных конструкций .....	41
<i>Грибин В. А., Сорокина Е. В., Гурьянов К. П.</i> Методика испытаний светосигнальных приборов маски головного вагона модели 62-4497 электропоезда пригородного следования городского типа ЭГ2ТВ модели 62-4496.....	43
<i>Гурьянов К. П., Сорокина Е. В., Грибин В. А.</i> Предварительные результаты испытаний опытного пробег вагона модели 61-4514.01 на путях Египетской национальной железной дороги .....	45
<i>Гучинский Р. В.</i> Оценка частоты собственных изгибных колебаний кузова самоходного вагона на стадии проектирования .....	47
<i>Довяло В. А., Моисеенко В. Л., Максимчик К. В., Пуначёв Д. С.</i> Выправочно-подъемно-подбивочно-рихтовочная машина для стрелочных переводов, пересечений и пути Plasser 08-275/3s. Разработка эксплуатационной документации .....	49

<i>Довгяло В. А., Моисеенко В. Л., Пуначёв Д. С., Максимчик К. В.</i> Разработка эксплуатационной документации для укладочного крана УК-25/28сп.....	52
<i>Дорожук Д. В., Дудко М. А.</i> Современные тенденции в развитии тягового электропривода трамваев .....	55
<i>Железнов К. И., Урсуляк Л. В., Швец А. А.</i> О построении оптимальной траектории движения поезда в координатах «путь – время».....	57
<i>Заирова Д. Н.</i> Технология восстановительной наплавки многоэлектродным способом ободов цельнокачанных колес в условиях предприятий АО «Узбекистон темир йуллари» .....	59
<i>Зайнитдинов О. И.</i> Конструкция съёмного кузова вагона с раздвижными боковыми стенами.....	60
<i>Капустин А. Г., Карачун А. Г.</i> Защита и диагностика систем электроснабжения воздушных судов.....	62
<i>Капустин А. Г., Терещенко К. В.</i> Инвариантная система регулирования напряжения системы электроснабжения .....	64
<i>Кара С. В.</i> К вопросу ресурса боковых рам тележек грузовых вагонов и их конструктивного совершенствования.....	65
<i>Карандеев С. С., Сорокин Д. П., Кушкова И. Ю.</i> Особенности организации ремонта крышек люков полувагонов в Жлобинском вагонном депо .....	67
<i>Каримова М. Х.</i> К вопросу безопасности буксового узла грузового вагона.....	69
<i>Кебигов А. А., Зайчик В. С.</i> Требования безопасности к инфраструктуре железнодорожного транспорта.....	71
<i>Кельрих М. Б., Фомин А. В., Прокопенко П. Н.</i> Оценка динамических качеств платформы в условиях эксплуатации .....	73
<i>Кориунов С. Д., Смирнов А. А., Ромашов Д. А.</i> Методические особенности прочностных статических испытаний кузовов двухэтажных вагонов нового поколения.....	74
<i>Кориунов С. Д., Смирнов А. А., Ромашов Д. А.</i> Испытания на прочность специализированных вагонов.....	76
<i>Кориунов С. Д., Удельнов А. Г., Самошкин С. Л.</i> Аспекты испытаний и эксплуатации вагонов для перевозки автомобилей и мотоциклов в пассажирских поездах.....	78
<i>Кузнецова М. Г., Маркавцов А. А., Холодилов О. В.</i> Повышение эффективности акустико-эмиссионной диагностики подшипниковых узлов за счет применения конечно-элементного анализа.....	81
<i>Кулаженко Ю. И., Зайчик В. С., Кебигов А. А.</i> Требования безопасности к железнодорожному подвижному составу .....	82
<i>Леоненко Е. Г.</i> Анализ сил, действующих на порожний вагон, при вписывании в кривые участки пути .....	84
<i>Лецик С. Д., Гончаров А. С.</i> Исследование характеристик покрытий, применяемых для восстановления деталей локомотивов, на основе гальванического хромирования, модифицированного наноразмерными продуктами импульсной лазерной абляции кремния в водной среде .....	86
<i>Ловская А. А., Фомин А. В., Фомина Ю. В.</i> Определение динамической нагруженности и прочности несущей конструкции крытого вагона при ведении с него огневых действий .....	88
<i>Ляшук В. М., Высочанский А. В.</i> Исследование возможности применения генераторов синусоидальной формы для диагностики состояния изоляции обмоток сухих трансформаторов .....	90
<i>Ляшук В. М., Породько Я. В.</i> Методы снижения электропотребления за счет модернизации преобразовательного оборудования.....	91
<i>Мищенко Т. Н., Таптунов Д. А., Тырсовой Р. П., Чинак А. Н.</i> Вероятностный анализ стохастических процессов напряжений в узле присоединения и на шинах тяговой подстанции переменного тока .....	92
<i>Мищенко Т. Н., Фалинский В. А., Хаустов К. Р., Шаповал М. С.</i> Идентификационная модель тяговой подстанции постоянного тока .....	93
<i>Моисеенко В. Л., Дмитриев А. В., Максимчик К. В., Письменная Н. В.</i> Эксплуатация гибридного привода на железнодорожном транспорте.....	94
<i>Надточей Д. Г., Петраков Д. И.</i> Исследование напряженно-деформированного состояния несущих конструкций вагона-самосвала (думпкара).....	96
<i>Никитин О. В., Никитина Д. О.</i> Построение цифровой 3D модели раздвижной колесной пары с тангенциально-осевым замком.....	98
<i>Оттока А. Г., Самусенко Е. В., Холодилов О. В.</i> Разработка методики магнитопорошкового контроля адаптеров грузового вагона .....	101
<i>Пигунов А. В., Пигунов В. В., Дашук П. А.</i> Применение алюминия и нержавеющей сталей в конструкциях кузовов грузовых вагонов.....	103
<i>Попов В. Б.</i> Математическое моделирование механизма подъёма секций косилки-плющилки ротационной КПр-9.....	105
<i>Прудко А. П., Босый Д. А.</i> Математические модели формирования и идентификации физико-механических полей в применении к оценке безопасности подвижного состава .....	107
<i>Пузырь В. Г., Дацун Ю. Н., Крамчанин И. Г., Саркисян К. М.</i> Модель выбора диагностического оборудования локомотиворемонтного предприятия .....	108
<i>Пузырь В. Г., Крашенинин А. С., Дацун Ю. Н., Обозный А. Н., Задесенец В. И.</i> Выбор стратегии содержания локомотивного парка при внедрении сервиса .....	110
<i>Путято А. В., Шведов А. Л.</i> Разработка 3D модели якоря тягового электродвигателя ЭД-118.....	112

<i>Разон В. Ф., Зайцев П. Г.</i> Совершенствование технологии ремонта ударно-тяговых приборов магистральных железнодорожных вагонов .....	113
<i>Рахимов Р. В., Бороненко Ю. П.</i> Измерения вертикальных и боковых сил, действующих на боковую раму тележки при движении вагона .....	115
<i>Рудковский А. П., Васильев С. М.</i> Анализ отказов работоспособности вагонов по причине износа втулок тележки.....	117
<i>Саблин О. И., Босый Д. А.</i> Моделирование энергообменных режимов в системах тягового электроснабжения с накопителями энергии .....	119
<i>Самодум Ю. Г., Писаренко Е. П.</i> Разработка методики определения работоспособности CAN-шины шкафа R3 тепловозов серии ТМЭ.....	121
<i>Сахаров П. А.</i> Повышение устойчивости движения поездов большой массы и длины.....	123
<i>Сорокина Е. В., Пискарев Н. С.</i> Оценка эксплуатационных показателей межвагонного безззорного сцепного устройства БСУ-ТМ136 ТМ136.00.00.000 (исполнений -13 и -14) производства Общества с ограниченной ответственностью «Транспортная техника».....	125
<i>Сосновский Л. А., Комиссаров В. В., Таранова Е. С.</i> Обобщенный критерий предельного состояния при контактной усталости применительно к объектам железнодорожного транспорта.....	127
<i>Тармаев А. А., Петров Г. И.</i> Применение износостойких вибропоглощающих элементов в тележке грузового вагона .....	129
<i>Третьяк З. Ю., Перекрестова Н. М., Свириденко К. В.</i> Определение требований безопасности к оборудованию тормозному железнодорожного подвижного состава .....	131
<i>Федосенко М. О., Васильев С. М.</i> Анализ механизации работ по правке кузовов в Жлобинском вагонном депо..	134
<i>Фомин А. В., Горбунов Н. И., Ловская А. А.</i> Исследование прочности полувагона из сочлененных оболочек, заполненных пеноалюминием .....	135
<i>Френкель С. Я., Дединкин А. П., Кунец В. А., Ткачук К. А.</i> Определение коэффициентов влияния нормообразующих факторов для магистральных тепловозов .....	137
<i>Холодилов О. В., Маркавцов А. А.</i> АЭ-контроль состояния буксовых подшипников тележки грузового вагона в системе «интеллектуального» грузового поезда.....	139
<i>Холодилов О. В., Маркавцов А. А.</i> Оптимизация расположения АЭ-преобразователей при диагностике состояния буксовых узлов .....	141
<i>Чаганова О. С., Быстренкова Т. И., Меньшова Е. В.</i> Особенности крепления грузов на сочлененных вагонах-платформах .....	143
<i>Чумаков В. М., Невзоров В. В.</i> Система обслуживания локомотивов по фактическому техническому состоянию .....	145
<i>Шатило С. Н.</i> Анализ и оценка пожарной безопасности современного железнодорожного пассажирского подвижного состава .....	147
<i>Швец А. А.</i> Определение устойчивости грузовых вагонов под действием сжимающих продольных сил .....	149
<i>Юницкий А. Э., Гарах В. А.</i> Об особенностях определения требований безопасности подвижного состава SkyWay .....	151
<i>Юхневский М. А., Мейстер А. О., Юхневский А. В.</i> Проведение испытаний по оценке уровня пожарной безопасности штабного вагона.....	153

### **ТРАНСПОРТНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПРИ УГРОЗЕ И ВОЗНИКНОВЕНИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ**

<i>Бабич Н. С.</i> Снижение рисков простоя предприятия из-за несвоевременной поставки продукции (сырья) ..	156
<i>Багаревич И. А., Гарелик И. С.</i> Транспортная безопасность при угрозе и возникновении чрезвычайных ситуаций .....	157
<i>Бобрицкий С. М.</i> Оценка безотказной работы несущих элементов табельных железнодорожных мостов с применением современных измерительных приборов и программных продуктов .....	158
<i>Бондаренко А. А., Нестер А. А.</i> Чрезвычайные ситуации техногенного характера, связанные с транспортом.....	160
<i>Виниченко Е. В.</i> Анализ возникновения возможных вероятных чрезвычайных ситуаций, вызванных метеоусловиями, на железнодорожных участках Белорусской железной дороги.....	161
<i>Ворепко В. Н., Нарскин Г. И., Мельников С. В.</i> Защита стальных мостов от коррозии.....	163
<i>Гарелик И. С.</i> Проблемы правовой регламентации безопасности транспортной деятельности в Республике Беларусь.....	164
<i>Голешов В. А., Крылов М. А.</i> Экология на железнодорожном транспорте.....	166
<i>Гуринович В. И., Рудченко А. А., Максименко С. В.</i> Анализ аварийных ситуаций при устройстве глубоких котлованов в условиях плотной городской застройки.....	167
<i>Демидович И. С., Савин В. А.</i> Проблемы безопасности аккумуляторных батарей современного электро-транспорта.....	169
<i>Денисенко Д. С.</i> Особенности тушения пожаров на транспорте.....	171

<i>Доломанюк Р. Ю.</i> Разработка соединительного элемента для комбинирования табельных имуществ краткосрочных мостов .....	173
<i>Ефимчик К. В.</i> Транспортная безопасность пассажирских перевозок .....	175
<i>Зубарь Ю. А., Лютый М. Д.</i> Особенности инженерной разведки и полевого проектирования при временном восстановлении .....	177
<i>Калеев П. А., Старовойтов А. В.</i> Средства передвижения паромов .....	179
<i>Карпеня И. Д., Басов Н. А.</i> Транспорт и его опасности. Правила поведения .....	181
<i>Кацубо П. А.</i> Техническое прикрытие сети автомобильных дорог .....	182
<i>Кирик С. В.</i> Повышение безопасности и эффективности воинских перевозок .....	183
<i>Копытков В. В.</i> Совершенствование навыков работы на пожарных насосах .....	184
<i>Королёнок Т. С.</i> Восстановление электроснабжения потребителей в нештатной ситуации .....	186
<i>Лях А. В., Королева А. М.</i> Обеспечение транспортной безопасности на железнодорожных путях сообщения ..	189
<i>Максименко С. В., Гуринович В. И., Рудченко А. А.</i> Причины высокого травматизма на грузоподъемных машинах .....	190
<i>Малашков Д. В.</i> Безопасность транспортных средств .....	191
<i>Марданов А. В.</i> Транспорт и его опасности. Правила безопасного поведения на транспорте .....	192
<i>Никитенко С. В.</i> Некоторые способы охранения частей и подразделений транспортных войск .....	195
<i>Петрусевич В. В.</i> Применение беспилотных авиационных комплексов при проведении технической разведки железнодорожного участка в интересах транспортных войск Республики Беларусь .....	197
<i>Поддубный А. А.</i> Значение взаимодействия сотрудников органов пограничной службы с иными правоохранительными органами в пунктах пропуска на государственной границе при возникновении террористических угроз на железнодорожном транспорте .....	199
<i>Полещук В. С., Конциц В. Д.</i> Особенности содержания мостов и переправ в различные сезоны года .....	201
<i>Попов А. С., Зенченко Д. Ф., Линник А. В.</i> Влияние на человеческий фактор как путь снижения риска возникновения чрезвычайной ситуации на транспорте (фармакологический подход) .....	203
<i>Рудченко А. А., Максименко С. В., Гуринович В. И.</i> Анализ существующих устройств контроля утомляемости операторов транспортных перевозок .....	204
<i>Рулёв Д. С., Шилкин М. С.</i> Обеспечение безопасности на пешеходных переходах .....	206
<i>Самута Д. Н.</i> Уменьшение аварийности на пересечениях с круговым движением .....	207
<i>Скорик И. Я., Судас Н. А.</i> Чрезвычайные ситуации на транспорте .....	209
<i>Сметанкина Н. В., Меркулова А. И., Меркулов Д. А., Постный А. В.</i> Расчет прочности многослойного остекления специальной техники при тепловых нагрузках .....	210
<i>Токаревский А. В.</i> Способы повышения энергоэффективности поршневых двигателей .....	212
<i>Томашов В. В., Демидович И. С.</i> Использование бортовых телематических устройств и датчиков при перевозке опасных грузов .....	213
<i>Шамкин Д. В.</i> Восстановление мостов в угрожаемый период .....	215
<i>Шилкин М. С., Рулёв Д. С.</i> Современные конструкции дорожных покрытий .....	216
<i>Шадыев Р. Р., Королева А. М.</i> Обеспечение комплексной безопасности при запуске и функционировании транспортного проекта «МЦД» .....	218
<i>Шитилёв А. С.</i> Анализ восстановления железных дорог при чрезвычайных ситуациях в странах НАТО .....	220
<i>Шутов Я. В.</i> Объекты на военно-автомобильных дорогах, подлежащие защите, охране и обороне, способы и средства воздействия на них противника .....	222
<i>Юрасюк Н. И.</i> Анализ возможности применения наплавных мостов из имущества НЖМ-56 на территории Республики Беларусь .....	224

Научно-практическое издание

**ПРОБЛЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ НА ТРАНСПОРТЕ**

Материалы X Международной научно-практической конференции  
(Гомель, 26–27 ноября 2020 г.)

Часть 5

Издается в авторской редакции

Технический редактор *В. Н. Кучерова*  
Корректоры: *А. А. Павлюченкова, Т. А. Пугач*  
Компьютерная верстка – *С. В. Ужанкова, Т. В. Переверзева*

Подписано в печать 25.11.2020 г. Формат 60×84 1/8.  
Бумага офсетная. Гарнитура Times New Roman. Печать на ризографе.  
Усл. печ. л. 26,97. Уч.-изд. л. 25,08. Тираж 25 экз.  
Зак. № 3170. Изд. № 71.

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 978-985-554-946-9

