

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

# ПРОБЛЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ НА ТРАНСПОРТЕ

МАТЕРИАЛЫ  
VIII МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ,  
ПОСВЯЩЕННОЙ ГОДУ НАУКИ

Часть 1

Под общей редакцией *Ю. И. КУЛАЖЕНКО*

Гомель 2017

УДК 656.2.08  
ББК 39.28  
П78

Редакционная коллегия:

**Ю. И. Кулаженко** (отв. редактор), **Ю. Г. Самодум** (зам. отв. редактора),  
**А. А. Ерофеев** (зам. отв. редактора), **Т. М. Маруняк** (отв. секретарь),  
**К. А. Бочков, Д. И. Бочкарев, Т. А. Власюк, Д. В. Леоненко,**  
**В. Я. Негрей, В. М. Овчинников, А. Г. Ташкинов**

Рецензенты:

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

**Проблемы безопасности на транспорте** : материалы VIII Междунар.  
П78 науч.-практ. конф., посвящ. Году науки : в 2 ч. Ч. 1 / М-во трансп. и  
коммуникаций Респ. Беларусь, Бел. ж. д., Белорус. гос. ун-т трансп. ; под  
общ. ред. Ю. И. Кулаженко. – Гомель : БелГУТ, 2017. – 259 с.  
ISBN 978-985-554-694-9 (ч. 1)

Рассматриваются теоретические и организационно-технические основы обеспечения безопасности транспортных систем; пути повышения надежности подвижного состава железнодорожного транспорта; вопросы безопасности железнодорожного пути; систем автоматики, телемеханики, связи и информатики; экологической и энергетической безопасности на транспорте; надежности и безопасности конструкций, зданий и сооружений; безопасности пассажирских перевозок; физики, механики и математики в обеспечении безопасности транспортных систем.

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

**УДК 656.2.08**  
**ББК 39.28**

**ISBN 978-985-554-694-9 (ч. 1)**  
**ISBN 978-985-554-690-1**

© Оформление. БелГУТ, 2017

## **УВАЖАЕМЫЕ УЧАСТНИКИ КОНФЕРЕНЦИИ!**

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

*Обеспечение безопасности перевозочного процесса всегда являлось приоритетной задачей транспортного комплекса. Для ее решения необходимо сотрудничество ученых и специалистов в различных областях деятельности. Программа конференции направлена на обсуждение широкого круга вопросов по безопасности транспортных систем, надежности подвижного состава, систем автоматики и связи, экологической и энергетической безопасности, строительного комплекса, фундаментальным научным исследованиям в области безопасности транспортных систем, что позволит найти комплексные, эффективные решения многих важных проблем.*

*Конференция – это не только возможность для ознакомления с передовыми разработками в области транспорта и строительства, но и хорошая площадка для формирования новых научно-производственных связей с учеными и специалистами из разных стран мира. Тем более, что 2017 год объявлен в Республике Беларусь Годом науки.*

*Данная конференция традиционно проводится при поддержке Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь и Белорусской железной дороги. По нашему мнению, такое сотрудничество, активный диалог между наукой и производством по проблемам безопасности, позволит сформулировать новые подходы и найти эффективные решения актуальных задач безопасности транспортного комплекса.*

*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*

## ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ

УДК 656.2.022.846

### АНАЛИЗ РАБОТЫ АППАРАТУРЫ ФИДЕРНОЙ ЗАЩИТЫ И НАСТРОЙКИ ТЯГОВОЙ ПОДСТАНЦИИ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

ВАН ЯНИ

Гуанчжоуский железнодорожный профессионально-технический колледж,  
Китайская Народная Республика

В Китае при нормальном функционировании контактной сети высокоскоростной железной дороги, включая следование пассажирских поездов по специальному маршруту со скоростью 250 км/ч и выше, обычно применяется метод подачи тока в режиме общего параллельного соединения автотрансформаторов (АТ) прямым или комбинированным энергоснабжением. При этом в процессе эксплуатации могут возникать отказы в работе, что приводит к снижению уровня защиты фидеров и, как следствие, снижению безопасности энергоснабжения. В связи с этим для защиты фидеров необходимо производить расчеты по нормам настройки, что требует разработки соответствующего методического обеспечения.

Рассмотрим критерии настройки защиты фидеров контактной сети тяговой подстанции для обеспечения безопасного движения пассажирских поездов по высокоскоростной железной дороге Шицзячжуан – Ухань направления Шицзячжуан – Чжэнчжоу, где в фидерах тяговой подстанции установлены устройства, обеспечивающие защиту от сопротивления, токовой отсечки, сверхтока, приращения электротока, а также устройство автоматического повторного включения (таблица 1).

Таблица 1 – Функциональные режимы энергоснабжения направления Шицзячжуан – Чжэнчжоу

Режим функционирования	Краткая характеристика	Ограничение времени в частях тяговой сети, с	
		I	II
Нормальный	Двухстороннее параллельное соединение с одинаковым напряжением тока в контактной сети с разделением в середине плеча питания, где находится подстанция АТ	0,1	0,4
	Применение электрической шины		
За рамками определенного района	Обеспечение бесперебойного электроснабжения линии за счет питания от соседней подстанции	–	–
Прямой	Выключение всех автотрансформаторов плеча энергоснабжения	0,1	0,4
	Параллельное соединение верхней и нижней стороны подстанции в подрайоне		
	Разъединение верхней и нижней стороны подстанции АТ		

В режиме прямого энергоснабжения за рамками определенного района для защиты от сопротивления установлены две части, первая из которых сочетается с защитой сопротивления подстанции в подрайоне, а вторая защищает всё плечо энергоснабжения за рамками определенного района (когда в режиме прямого энергоснабжения имеется двустороннее плечо). Защита от перегрузки по току обеспечивается нижним его напряжением – 80 В (вторичное значение) и ограничением по времени – 0,7 с.

Рассмотрим также критерии настройки аппаратуры фидерной защиты и тяговой подстанции для обеспечения высокоскоростного движения пассажирских поездов по участку дороги Шицзячжуан – Ухань направления Чжэнчжоу – Ухань. Аналогично вышесказанному в фидерах тяговой подстанции установлены устройства защиты от сопротивления, токовой отсечки, сверхтока, приращения электротока и устройство автоматического повторного включения (таблица 2).

Таблица 2 – Функциональные режимы энергоснабжения направления Чжэнчжоу – Ухань

Режим функционирования	Краткая характеристика	Ограничение времени в частях тяговой сети, с	
		I	II
Нормальный	Обеспечение защиты от сопротивления всей линии первой частью тяговой сети	0,1	–
За рамками определенного района	Применение двух частей для защиты от сопротивления: первая сочетается с защитой сопротивления подстанции в подрайоне, а вторая защищает всё плечо энергоснабжения за рамками определенного района (когда в режиме прямого энергоснабжения двустороннее плечо энергоснабжения)	0,1	0,35
Прямой	Выключение всех автотрансформаторов плеча энергоснабжения	0,1	0,4
	Параллельное соединение верхней и нижней стороны подстанции в подрайоне		
	Разъединение верхней и нижней стороны подстанции АТ		

При режиме нормального энергоснабжения (в рамках определенного района) постоянное значение настройки фидеров одинаково. В режиме энергоснабжения за рамками определенного района защита от перегрузки по току обеспечивается нижним напряжением тока 73 В (вторичное значение) и ограничением по времени – 0,7 с.

Согласно вышеуказанным критериям настройки защита фидеров влияет на распределение постоянного значения с учетом режимов ее функционирования (таблица 3).

Таблица 3 – Распределение постоянного значения защиты фидеров

Режим функционирования	Модель введения выключателя	Район постоянного значения			
		Подстанция	Подстанция АТ	Стороны источников питания подрайона	Стороны фидеров подрайона
Нормальный	В верхней и нижней сторонах отдельно	0	0	0	0
	Совместное использование в верхней и нижней сторонах	1	0	0	0
Энергоснабжение АТ за рамками определенного района	В верхней и нижней сторонах отдельно	2	0	0	1
	Совместное использование в верхней и нижней сторонах	3	0	0	1
Нормальное прямое энергоснабжение	В верхней и нижней сторонах отдельно	0	0	0	0
	Совместное использование в верхней и нижней сторонах	1	0	0	0
Прямое энергоснабжение за рамками определенного района	В верхней и нижней сторонах отдельно	4	0	0	1
	Совместное использование в верхней и нижней сторонах	5	0	0	1

Фидерная защита тяговой подстанции пассажирских поездов на высокоскоростной железной дороге Шицзячжуан – Ухань отдельно распределяет постоянное значение путем разного режима функционирования, что является ее преимуществом. По данной схеме осуществляется фидерная защита междугородних линий в Пекине и Тяньцзине при нормальном функционировании и энергоснабжении за рамками определенного района. Для обеспечения нормального функционирования в больших масштабах нужна защита третьей части сопротивления, так как наблюдается снижение скорости движения. Недостаток данной схемы заключается в том, что когда изменяется режим функционирования фидеров, регулирование электрической мощности изменяет район постоянного значения из-за телемеханического терминала.

Мониторинг эксплуатации высокоскоростной железной дороги на участке Шицзячжуан – Ухань в течение 1 года работы по организации движения пассажирских поездов показал 132 отказа контактной сети и 12 отказов функционирования фидерной защиты, что составляет 10 % от общего числа отключения по следующим причинам: неправильная настройка постоянного значения – 85 %, неполный комплект аппаратуры защиты – 10 % (фазовая защита высокоскоростной железной

дороги), другие – 5 %. Далее на примерах отказа функционирования защиты сопротивления фидеров проанализируем работу аппаратуры и настройки защитных фидеров. Так, с августа по ноябрь в 10 ч 32 мин в фидерах F 217 некоторой подстанции случилось относительное однофазное короткое замыкание (напряжение 3536 В, ток 8895 А, сопротивление 2,08 Ом, угол импеданса 72,2°). В фидерах защиты 217 были установлены защита от токовой отсечки, сопротивления первой части, приращения электротока, выход устройства защиты от перенапряжения отключился, и не удалось провести повторное отключение. В фидерах 218, которые снабжаются энергией при параллельном соединении от фидера 217 (соответственно напряжение 22115 В, ток 2100 А, сопротивление 58,16 Ом, угол импеданса 72,2°; напряжение 3536 В, ток 8895 А, сопротивление 2,08 Ом, угол импеданса 72,2°), на выходе из устройства защиты от приращения электротока имелось совпадение на защитной аппаратуре 218.

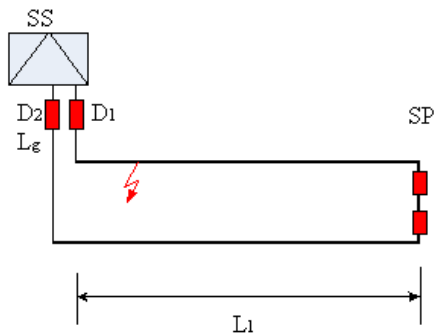


Рисунок 1 – Система тягового электроснабжения

Из вышесказанного мы знаем, что в режиме энергоснабжения общего параллельного соединения АТ, когда в фидерах F 217 случилось относительное однофазное короткое замыкание, защита от сопротивления и сверхтока не действовали. Анализируя параметры отказа, мы обнаружили, что постоянное значение слишком мало из-за сопротивления F 218 и неработающей защиты от сверхтока (таблица 4, рисунок 1).

Таблица 4 – Движение защиты фидеров

Фидер 218	Значение настройки	Значение отказа	Краткая характеристика
Первая часть сопротивления	$X_1 = 28,43; R_1 = 41,3;$ $\varphi_L = 72; t_1 = 0,1c$	$X_1 = 55,3; R_1 = 17,97;$ $\varphi_L = 72,2$	Снижение защиты при небольших значениях настройки и нахождении пункта отказа вне защитного района
Сверхток	$U_{zd} = 73B; I_{dz} = 1,94;$ $t = 0,1 c$	$U_{zd} = 80 B; I_{dz} = 1,4$	Напряжение и ток при однофазном коротком замыкании не достигли значения движения, и защита не действовала

Следует отметить, что рассматриваемые параметры и формулы настройки предложены Проектным институтом. Приведем формулы расчета настройки постоянного значения защиты сопротивления (таблица 5).

Таблица 5 – Расчет режимов энергоснабжения

Режим энергоснабжения	Формула расчета
Автотрансформатор обеспечивает защиту полной длины плеча энергоснабжения (не учитывается взаимное полное сопротивление)	$Xa_{zd} = 2K_k \frac{(XaL_1 + X_gL_g)n_l}{n_y},$ <p><math>Xa</math> – удельная реактивность контактной сети энергоснабжения АТ;  <math>L_1</math> – длина первой части плеча энергоснабжения;  <math>X_g</math> – удельная реактивность подвода питания;  <math>L_g</math> – длина подвода питания</p>
Прямое энергоснабжение по защите полной длины плеча энергоснабжения	$Xt_{zd} = K_k \frac{(XtL_1 + X_gL_g)n_l}{n_y},$ <p><math>Xt</math> – удельная реактивность контактной сети энергоснабжения АТ</p>

Сравним значения настройки при режимах АТ и прямого энергоснабжения и выберем большие значения. Из вышеуказанных процессов расчета следует, что когда сторона реактанса установлена при режиме энергоснабжения АТ, значение удельной реактивности контактной сети увеличивается в 2 раза полной длины плеча энергоснабжения без учета постоянного энергоснабжения в конечной подстанции подрайона. Далее сравниваются максимальное значение сопротивления при режимах АТ и прямого энергоснабжения, где не учитывается ситуация, когда верхняя сторона снабжает энергетикой нижнюю через подстанцию подрайона. Это приводит к снижению значения настройки

сопротивления и является доказательством короткого замыкания при испытании и движении пассажирских поездов на железной дороге Шицзячжуан – Ухань.

При режиме электроснабжения параллельного соединения автотрансформаторов (АТ) удельное сопротивление контактной сети составляет около 0,32 Ом, а при постоянной задержке повторное включение тормоза может привести к понижению напряжения АТ и выходу из параллельной работы. В этом случае надо обеспечить правильную работу защитного устройства по модели прямого электроснабжения (рисунок 2).

Рассмотрим варианты настройки защиты сопротивления подстанции при электроснабжении в зоне и вне ее (таблица 6).

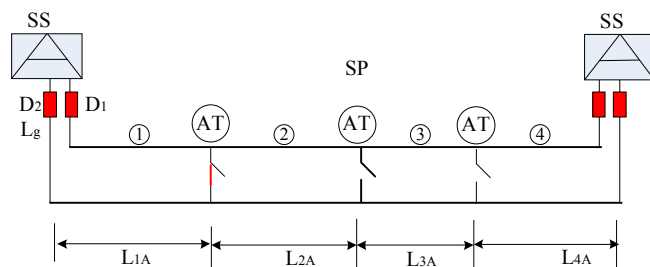


Рисунок 2 – Электроснабжение при параллельном соединении автотрансформаторов (АТ)

Таблица 6 – Настройка защиты сопротивления подстанции при электроснабжении

Область	Краткая характеристика	Значение сопротивления, Ом	Продолжительность, с
В зоне	Значение сопротивления фиксируется в зоне «0» и фидером F обрывается в первой части между постом секционирования и постом АТ, заземляется на стороне поста секционирования. При внезапном отключении, вызванном чрезвычайной зафиксированной величиной, нужно заново настроить значение сопротивления не менее пускового тока поезда 1200 А	Не более 20	0,35
Вне зоны	На фидере F происходит однофазное короткое замыкание (КЗ), и в случае отказа имеется превышение в 2 раза соотношения сопротивления с АТ до пункта КЗ и защиты фидера ПС	Двойное значение от АТ до пункта короткого замыкания	–
		Значения от подстанции до АТ	

При прямом электроснабжении ПС вне зоны на проводе F (контактный провод и несущий трос) происходит однофазное КЗ. В случае отказа отключения выключателем поста секционирования соотношение сопротивления с АТ до пункта КЗ и защиты фидера ПС будет превышать вдвое. Поэтому при настройке защиты сопротивления нужно установить общее значение сопротивления, которое состоит из двойного значения с F до пункта КЗ и значения с ПС до поста секционирования. Помимо этого, необходимо отдельно настроить значения защиты от сверхтоков на верхней и нижней сторонах, хотя параллельно соединяются верхняя и нижняя стороны подстанции в посте секционирования и выступают в качестве уравнителя, что позволяет уменьшить сопротивление.

При отсутствии АТ между ПС и постом секционирования можно настроить защищенную фидером ПС часть реактанса (умножить значение удельной реактивности привода F на длину нижней стороны плеча промежуточного энергоснабжения). В контактной сети пассажирских поездов на железной дороге Шицзячжуан – Ухань применяется сочленённая расщеплённая фаза, которая имеет только 2 воздушных зазора шириной 500 мм и короткую длину дуги. Во избежание межфазного КЗ в полукольцевой сети через АТ от первоначального межфазного КЗ и отказа работы всех защитных устройств передний фидер ПС используется как третья часть сопротивления. Помимо этого могут применяться и другие варианты защиты. Например, межфазное КЗ в полукольцевой сети происходит по АТ, тогда через 0,1 с передний фидер отключается и далее через 0,1 с соседний фидер также отключается. Это делается для того, чтобы ток межфазного КЗ отключился и в полукольцевой сети по двум АТ защитные устройства продолжали работать. Тем не менее после отключения переднего фидера напряжение передней контактной сети во время КЗ незначительно снижается, ток контактной сети при работе высокоскоростного поезда еще велик. Поэтому ток двух передних фидеров может пройти через расщепленную фазу и дойти до выключателя фидера, что приводит к многократному отключению или перегоранию расщепленной фазы из-за длительного течения тока по фидерам отстающих фаз.

Во избежание отказов применяется следующий алгоритм по настройке защитного устройства. Четыре фидера ПС с защитой от сверхтоков служат главной защитой от межфазного КЗ.

Параметры настройки: ток 600 А, время действия 0,1 с. При межфазном КЗ 2 фидера прямого КЗ первая часть сопротивления или защита от чрезвычайного прироста одновременно отключается. Когда данное КЗ превращается в межфазное КЗ в кольцевой сети, устройства защиты от сверхтоков на остальных двух фидерах тоже будут отключены и ток будет полностью выключен. Однако величина срабатывания защиты от сверхтоков незначительна, что ведет к отказу в работе. В связи с этим на переднем фидере устраивают третью часть сопротивления в качестве специальной защиты, и настройка стороны *R* осуществляется по кольцевым КЗ двух АТ.

Параметры настройки стороны *X*: сопротивление 1 Ом, время действия 0,1 с. На фидерах отстающих фаз устраивают третью часть обратного сопротивления в качестве специальной защиты. Настройка стороны *R* осуществляется по кольцевым КЗ двух АТ.

Можно также рассмотреть другие параметры настройки стороны *X*, когда при межфазном КЗ два фидера одновременно будут отключены и ток будет полностью выключен. При этом КЗ является межфазным в кольцевой сети устройства защиты от сверхтоков и на остальных двух фидерах ток будет полностью выключен. Однако величина срабатывания защиты от сверхтоков значительна, что приводит к отказам в работе. В частности при обратной отправке реостатного торможения может случиться ошибочное отключение, снижение тормозного момента, что негативно отразится на транспортной безопасности. Поэтому предлагается устроить на переднем фидере третью или четвертую часть сопротивления в качестве специальной защиты.

Настройка стороны *R* осуществляется по прямому КЗ. Параметры настройки стороны *X*: сопротивление 1 Ом, время действия 0,06–0,1 с. При этом, когда срабатывают части любого переднего фидера, нужно включить реле сигналами третьей или четвертой частей (перестроить выход сигнала устройства защиты). Кроме того, одновременно нужно отключить все фидеры, полностью выключить ток КЗ и потом повторно включить отключенные четыре фидера. Далее на аппаратной основе существующего защитного устройства нужно обновить технику и программу, исследовать и разработать специальное устройство защиты от межфазного КЗ для ПС. Помимо этого, можно ввести в запасное защитное устройство главной ПС напряжение двух сборительных шин, ток четырех фидеров, установить двухфазную защиту от сопротивления, дифференциальную двухфазную защиту от сверхтоков, двухфазную защиту от прироста токов и т. д. При обнаружении межфазного КЗ защитное устройство будет отключаться выключателем стороны второго контура и полностью выключать ток КЗ, а потом повторно включатся отключенные фидеры.

Анализ фидерной защиты от межфазного короткого замыкания и расчет настройки тяговой подстанции высокоскоростного движения пассажирских поездов на участке железной дороги Шицзячжуан – Ухань показал, что на удельное сопротивление оказывает влияние взаимное полное сопротивление, поэтому метод расчета сложен. Обычно можно настроить и проверить устройство по удельным сопротивлениям провода  $T = 0,32$  Ом и  $F = 0,477$  Ом.

УДК 656.2.08

## **ROAD SAFETY CAPACITY BUILDING IN BELARUS THROUGH THE DEVELOPMENT OF ROAD SAFETY MASTER COURSES**

*L. PERSIA, E. META, D. SHINGO USAMI*

*Research Centre for Transport and Logistics, Sapienza University of Rome, Italy*

The risk of road traffic fatalities varies significantly across high, medium and low-income countries and the disparity in road safety is increasing. Among the reasons for this, there is often a weak road safety agency capacity and a lack of political will. Road safety is a multidisciplinary topic and requires adequate trained professionals able to identify and implement efficient measures in the areas of engineering, enforcement, education and emergency medical services, taking into consideration social and economic aspects as well.

In many medium and low-income countries, the accident rate shows a growth trend and only few countries have developed a targeted education for road safety experts. By contrast, due also to years of road safety investment and capacity development actions by many European countries, supported by important actions on the part of the European Commission (EC), road safety conditions in Europe appear to be much better than in those countries.



In terms of training professionals, a robust educational curriculum is the key factor to communicate the necessary insights and knowledge within the constantly evolving environment of road safety. However, in some EU Eastern Partnership Countries there are potential barriers to train adequately professionals, generally due to a lack of specialised professional training and of training standardization. Such an example can be seen in Belarus where, although road safety is a key issue, it is not managed on an evidence-based planning approach and there seems to be insufficient funding for related research. In this context, an initiative towards improving road safety in Belarus is the "Belarusian Road Safety Network" project (Be-Safe) of the Tempus Programme of the EC. The Be-Safe project is a joint effort between three EU Universities and four Belarusian Universities with the main purpose of strengthening the role of research in managing road safety policy on an evidence-base approach in Belarus.

The objective of this paper is to describe the methodology carried out in the field of Be-Safe to develop and test two 1st level Road Safety Master Courses (60 ECTS) in Belarus according to the Bologna process requirements.

Initially a User Needs Analysis (UNA) was carried out to understand the local background conditions and needs in terms of both research and teaching in the field of road safety. The results of the UNA highlighted a lack of road safety research due to insufficient funding, linguistic problems and inadequate international relationships. This isolation led to the necessity of updating both contents and methods of road safety related courses for university students, followed by a need to review the on-going road safety research based on updated tools and the current international research results and topics. The expected results would be an enhanced capacity of researchers to address existing relevant road safety issues both at national and international level and to build a new generation of professionals prepared to support and guide decision makers based on research results.

As a second step, masters' curricula modules, one for the Technical Universities and one for the Economics University, as well as expected learning outcomes were developed and defined respectively. The curriculum for the Masters programmes were iteratively development based on local user needs analysis, experience and review by EU partner Universities and an International Quality Review Board.

The overall aim of the Masters course in Road Safety is to provide students with a range of coherent learning experiences to attain the knowledge at level 7 (expected to be achieved at the end of a cycle 2 qualification). Thus, the higher education providers are required to demonstrate their courses are at the appropriate level and will provide the opportunity for the knowledge acquisition required. Quality Monitoring was ensured through the setting up of a Quality Board and the development of assessment tools to review the master process. Following the Standards and Guidelines for Quality Assurance in the European Higher Education Area of the European Association for Quality assurance in Higher Education, the tasks of the Quality Monitoring consisted of setting up a Quality Board, designing a quality methodology, drafting assessment tools and reviewing curricula, contents and delivery of the Master courses as well. Thanks to the Quality Board assessment's feedbacks a number of overall recommendations to overcome potential weaknesses and to ensure the appropriate level of knowledge acquisition was drafted.

УДК 656.2

## **КОМПЛЕКСНОЕ УПРАВЛЕНИЕ РЕСУРСАМИ, РИСКАМИ И НАДЕЖНОСТЬЮ НА ЭТАПАХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ОБЪЕКТОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА**

*А. А. ЕРОФЕЕВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Задачи оптимизации расходов на содержание инфраструктуры требуют новых подходов к управлению надёжностью, рисками, стоимостью жизненного цикла. Такие подходы могут быть сформулированы с использованием методологии обеспечения безотказности, готовности, ремонтпригодности и безопасности – сокращенно RAMS в соответствии с международными стандартами [методология обеспечения безотказности (*Reliability*), готовности (*Availability*), ремонтпригодности (*Maintainability*) и безопасности (*Safety*) на железнодорожном транспорте – RAMS, которая нормативно определена стандартом EN 50126) и ее российскими аналогами УПРАН (управление ресурсами, рисками и надёжностью)]. Целью данных методологических подходов является сниже-

ние стоимости жизненного цикла объектов инфраструктуры и подвижного состава при обеспечении высокой надёжности и требуемого уровня безопасности перевозочного процесса. Например, для участка пути затратами жизненного цикла являются затраты:

- на строительство/реконструкцию участка пути, включая выполнение проектных работ;
- текущее содержание (проведение регулярных осмотров, в том числе использование дефектоскопических машин, заработная плата персонала, управленческие расходы);
- плановые ремонты;
- связанные с отказами участка пути (внеплановые ремонтные работы, простои поездов, недополученная прибыль);
- связанные с утилизацией (за вычетом стоимости старогодных материалов).

Управление надёжностью сложной технической системы на этапе жизненного цикла основывается на диагностике и непрерывном мониторинге параметров объектов инфраструктуры и подвижного состава и последующем прогнозировании возможных состояний объектов. При этом ключевыми факторами в управлении надёжностью является установление величины риска и связанных с ним уровнем тяжести возможных последствий. Показатели надёжности объектов можно определить через совокупность конструктивных характеристик, историю эксплуатации и результаты осмотров и обследований. Результатом расчетов является построение графиков распределения времени наработки объекта на отказ. Для сложных объектов время наработки должно определяться через параметры входящих в данный объект элементов. Результаты расчета надёжности объекта могут быть сведены в таблицы. При этом важно отметить, что время наработки на отказ всего объекта будет меньше, чем время наработки так называемого ограничивающего элемента.

Очевидно, что отказы бывают разные и вызывают последствия различной тяжести. Кроме того могут существенно отличаться и риски возникновения тех или иных отказов, в зависимости от их значений могут применяться различные решения. На практике широко применяются следующие варианты мер по обработке риска: предотвращение, перенос, снижение и принятие риска. В зависимости от сочетания допустимой, проектной и фактической интенсивностей отказов можно сформулировать шесть сценариев управления надёжностью.

Задача системы эксплуатации объектов – обеспечить, чтобы фактическая интенсивность отказов не превышала допустимую, тогда риск нарушения безопасности движения будет приемлемым. При этом перечень мероприятий по управлению рисками будет отличаться в зависимости от сценария. Упорядочить множество расчетных значений, используемых при оценке рисков, можно при помощи соответствующих матриц.

Максимальный эффект применение новых подходов к управлению ресурсами, рисками и надёжностью возникает при комплексном внедрении методологии на объектах железнодорожной инфраструктуры, подвижного состава с последующим переходом на технологические процессы и услуги железнодорожного транспорта. Внедрение новых подходов – это не только задача технического характера. Например, внедрение на российских железных дорогах системы УРРАН потребовала пересмотра 125 нормативных документов, в том числе регламентирующих закупочную деятельность, осуществление ремонта, повышения надёжности и безопасности технических средств в условиях ограниченных ресурсов и эффективности распределения ресурсов по стадиям жизненного цикла.

# 1 БЕЗОПАСНОСТЬ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

---

УДК 656.2 : 004

## АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ОЦЕНКИ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ИНФРАСТРУКТУРЫ БЕЛОРУССКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ С ЭЛЕМЕНТАМИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ КОМПОНЕНТОВ

*А. А. АКСЁНЧИКОВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Для повышения конкурентоспособности международных транспортных коридоров необходимо владеть оперативной информацией о состоянии инфраструктуры железнодорожного транспорта Республики Беларусь. Это позволит развивать её в соответствии с новыми условиями работы Республики Беларусь в Евразийском экономическом союзе.

От пропускной способности железнодорожных участков, входящих в международные транспортные коридоры, железнодорожных станций, обеспечивающих обработку поездов, на направлениях зависят перспективы повышения транзитных потоков, которое приведет как к экономическому развитию Белорусской железной дороги, так и к социальному развитию республики и эффективному выполнению функции по обеспечению потребности экономики страны и граждан в перевозках.

Для перспективного планирования и распределения доступа перевозчиков к инфраструктуре железнодорожного транспорта, а также оперативного планирования при пропуске поездов по железнодорожным участкам Белорусской железной дороги необходимо учитывать важную характеристику транспортной системы – наличную пропускную способность и ее резерв. Задача по определению пропускной способности является сложной и трудоемкой.

Учреждение образования «Белорусский государственный университет транспорта» разработал и внедрил в промышленную эксплуатацию АРМЫ «Пропускная способность железнодорожных участков» (2011) и «Пропускная способность железнодорожных станций» (2013). Программные продукты ускорили проведение расчетов и увеличили количество рассматриваемых вариантов при изменении нагрузки на инфраструктуру Белорусской железной дороги.

Интегрирование программ в единый комплекс повышает результативность планирования, эффективность использования ресурсов, создает синергетический эффект в достижении общих целей организации транспорта. Единый комплекс позволит определять пропускную способность железнодорожных направлений по элементам, выявлять «узкие» места при заданном объеме поездопотока, создавать варианты распределения поездопотока для снижения нагрузки на ограничивающие места, а также решать задачи, стоящие перед оперативными работниками – определение маршрута пропуска потока поездов с уменьшением нагрузок на ограничивающие элементы с учетом параллельных ходов и инженерно-техническими работниками – повышение пропускной способности направления и резерва с минимальными затратами при заданном потоке поездов.

Единый комплекс состоит из трех модулей:

- «Железнодорожные участки» – выполняет расчет наличной пропускной способности железнодорожных участков и ее резерва (реализован и используется в настоящее время);
- «Железнодорожные станции» – выполняет расчет наличной пропускной способности элементов железнодорожной станции (реализован и используется в настоящее время);
- «Сеть железной дороги» – позволит создавать расчетное железнодорожное направление, проводить оценку резерва пропускных способностей инфраструктуры Белорусской железной дороги и предлагать различные варианты пропуска вагонопотоков по железнодорожным участкам для оперативного и стратегического планирования.

Информационное обеспечение расчета состоит из информации:

– о потоке поездов по периодам планирования – берется в автоматизированном режиме из информационной аналитической системы поддержки управленческих решений по грузовым перевозкам (ИАС ПУРГП);

– техническом состоянии железнодорожных участков – база данных в АРМ «Пропускная способность железнодорожных участков»;

– временах хода поездов по перегонам и станционные интервалы – база данных в АРМ «Графист»;

– наличной пропускной способности железнодорожных станций – база данных в АРМ «Пропускная способность железнодорожных станций».

Выходные формы, выдаваемые комплексом программ, различаются способом представления:

– для оперативного персонала – проложенный маршрут на интерактивной схеме сети железной дороги; выявление места и момента появления «узкого места» при прогнозировании развития ситуации, в условиях пропуска планируемого вагонопотока;

– для инженерно-технического персонала – исходные данные и результаты расчета пропускных способностей железнодорожных участков и станций в табличном виде при проведении мер повышения пропускной способности инфраструктуры Белорусской железной дороги; проведение прогноза с разработкой и оценкой системы мер по изменению технического оснащения инфраструктуры на перспективу в табличной форме.

Единый комплекс позволит производить автоматизированный расчет наличной пропускной способности железнодорожных участков и станции по направлениям, создавать различные варианты при изменении технологии пропуска поездов по железнодорожным участкам и технического оснащения инфраструктуры.

Дальнейшее развитие единого комплекса связано с созданием базы знаний (интеллектуальный компонент) на основе анализа маршрутов передвижения по железнодорожным участкам и станциям.

Расширение возможностей единого комплекса до уровня автоматизированной системы по оценке наличной пропускной способности и резерва железнодорожных участков и станций позволит оперативно оценивать технические и технологические возможности железнодорожных направлений при изменении объемов вагонопотока.

УДК 622.23.08

## **КООРДИНИРОВАННОЕ УПРАВЛЕНИЕ ДОРОЖНЫМ ДВИЖЕНИЕМ ДЛЯ ГОРОДА ГОМЕЛЯ НА ПРОСПЕКТЕ РЕЧИЦКИЙ ПРИ ПОМОЩИ ПРОГРАММНОГО ПРОДУКТА TRANSYT**

*С. М. ВЛАДИМИРОВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Рост автомобильного парка и увеличение объема перевозок приводит к увеличению интенсивности движения, что в условиях городов с исторически сложившейся застройкой приводит к возникновению транспортных проблем. Эти проблемы связаны с увеличением транспортных задержек, образованием очередей и заторов, что вызывает снижение скорости сообщения, неоправданный расход топлива и повышенное изнашивание узлов и агрегатов транспортных средств, а также ухудшение экологической ситуации участка дороги и росту аварийности.

В данном исследовании задача нахождения режимов работы светофорных объектов была сформулирована как задача максимизации интенсивности движения в области управления при соблюдении баланса входящих и исходящих потоков на предварительно указанных транспортных связях. Такая постановка задачи позволяет исключить образование транспортного затора на магистральном направлении. Оценка эффективности метода была проведена на микроскопической модели фрагмента транспортной сети в программе TRANSYT-7FR. Для работы в среде TRANSYT-7FR необходимо иметь следующую информацию о перекрестке:

– топологию перекрестка (ширина проезжей части, количество полос в каждом направлении, ширина полос, расположение пешеходных переходов, разрешенные направления автомобильного

транспорта и пешеходов, расположение ОП МТС, наличие выделенных полос для общественного транспорта);

- схему организации движения на перекрестке (схему фаз, работающих на данном перекрестке, расстановку знаков);

- существующую длительность фаз;

- об интенсивности движения ТС во всех разрешенных направлениях (авт./ч).

Данный программный продукт применим на уровне магистралей и сетей, где имеет место согласованное множество явно определенных дорожных условий, и аппаратное обеспечение системы регулирования движения допускает возможность интеграции и координации с учетом фиксированной длительности цикла и общих значений параметров временных смещений.

TRANSYT-7FR оптимизирует режимы работы светофорных объектов, выполняя макро моделирование транспортного потока в течение малых интервалов времени с учетом возможности варьирования параметров планов. Важными свойствами оптимизационного процесса программы являются:

- широкие возможности применения различных приемов поиска (метод кратчайшего спуска, генетический алгоритм);

- разнообразие подлежащих оптимизации целевых функций в различных сочетаниях (например, комбинации функций беспрепятственного движения, задержки, остановки, расхода топлива, пропускной способности и накопления очереди);

- возможность адаптации процесса в широких пределах;

- способность оптимизировать параметры продолжительности цикла;

- способность выбора последовательности, длительности и смещения фаз.

Среди уникальных возможностей программы следует назвать способность анализировать двоячные циклы, множественные фазы зеленого света, перекрытия, повороты направо на красный свет, нерегулируемые перекрестки, полосы для общественного транспорта и привилегированные полосы, «узкие места», общие полосы, запрещенные и/или разрешенные повороты налево, ограничения пропускной способности, определяемые пользователем, и степень насыщения по направлениям движения при использовании полностью активной схемы управления.

К другим сферам применения инструмента относятся оценка и имитация «сгруппированных перекрестков» (наподобие ромбовидных или близкорасположенных перекрестков, управляемых одним контроллером), а также перекрестков, регулируемых знаками. Существует возможность импорта или экспорта данных из других программ по моделированию, например TSIS, AIMSUN, ArteryLite, а также возможность осуществления экспорта в различные версии Transyt.

Выполнялась оптимизация беспрепятственного движения между 18 узлами. В качестве функции оптимизации выбирали PROS/DI, в качестве показателя невыгодности выбирали задержки. Выбор функции «PROS/DI» связан с целью избежать перенасыщения на второстепенных направлениях и обеспечить более равномерное распределение времени зеленого сигнала.

Программное средство транспортного моделирования TRANSYT используется во всем мире для проектирования, моделирования и оптимизации дорожного движения – от отдельных изолированных перекрестков до больших и сложных транспортных сетей.

Впервые в г. Гомеле использовалась эта программа для расчета координированного управления на примере проспекта Речицкий. Полученные результаты позволяют значительно снизить расход топлива, транспортные задержки, повысить комфортность поездок и безопасность дорожного движения.

Введение координированного регулирования способствует снижению выбросов загрязняющих веществ транспортными средствами в атмосферу, а также снижению расхода топлива, что улучшит экологическую обстановку на исследуемом участке. Оптимальным является применение координированного регулирования для движения ТС со скоростью 50 км/ч и время цикла для всех перекрестков 84 с. Предложенное мероприятие позволило уменьшить число неоправданных торможений и остановок в потоке, а также уровня транспортных задержек и значительно улучшить экологическую обстановку на исследуемом участке. Определен экономический эффект для скорости движения ТС 50 км/ч, который состоит в значительной годовой экономии, за счет уменьшения экономических и экологических потерь в результате внедрения координированного управления на исследуемом проспекте, полученного в результате оптимизации существующих циклов при помощи лицензированного программного продукта TRANSYT-7FR.

## **ЭФФЕКТИВНАЯ ФИНАНСОВАЯ СИСТЕМА В ОТРАСЛИ – ЗАЛОГ БЕЗОПАСНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ**

*В. Г. ГИЗАТУЛЛИНА, Д. Н. КУШНЕРОВ, Н. В. ЗДАНОВСКАЯ*  
*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Финансовая система железнодорожной отрасли представляет собой совокупность обособленных, но взаимосвязанных сфер и звеньев финансовых отношений, связанных с образованием и использованием денежных средств.

Финансовые отношения, определяющие содержание финансов в отрасли, – это отношения, которые возникают:

– между хозяйствующими субъектами и железной дорогой в процессе оказания им транспортных услуг;

– между железной дорогой (ее подразделениями) и государством, органами местного самоуправления при формировании бюджетов, бюджетных и внебюджетных фондов, а также при финансировании из них ряда затрат;

– между хозяйствующими субъектами и банковской системой при получении и погашении кредитов, а также процентов за пользование указанными кредитами;

– внутри железной дороги при распределении централизованно сформированной суммы денежных средств за перевозки грузов и пассажиров между подразделениями и др.

Если три первые группы финансовых отношений регулируются соответствующими нормативными документами для всех хозяйствующих субъектов, то последняя приведенная группа зависит от эффективности разрабатываемого финансового механизма, представляющего собой систему форм, видов, методов организации финансовых отношений.

Железнодорожный транспорт отличается от других отраслей экономики организацией и технологией процесса перевозок, взаимодействием подразделений и системой финансово-экономических отношений в отрасли. Согласно Закону Республики Беларусь «О железнодорожном транспорте» от 31 декабря 2014 г. № 227-З, доходы организаций, входящих в состав Белорусской железной дороги, от оказания услуг железнодорожного транспорта общего пользования и иных услуг, определяемых Белорусской железной дорогой, формируются через единую (централизованную) систему расчетов Белорусской железной дороги.

Необходимость централизованной системы расчетов за оказанные услуги по перевозкам определена единой технологией перевозочного процесса (ЕТПП), которая представляет собой совокупность вертикальных и горизонтальных взаимосвязанных операций, осуществляемых подразделениями железной дороги, результатом которых является выполненная перевозка и полученная сумма выручка.

Сформированная на уровне Управления железной дороги (УБЖД) общая сумма доходов от перевозки является источником финансирования всех подразделений. Прежде всего полученная величина доходов идет на погашение эксплуатационных расходов всех подразделений железной дороги, вызванные технологией перевозок и требованиями обеспечения безопасности перевозок грузов и пассажиров, а также расходов, связанных с дополнительными услугами,

Величина доходов от перевозок подвергается распределению по уровням управления между участниками ЕТПП и определяет формирование доходов от перевозок соответствующего подразделения железной дороги с использованием разработанных финансовых инструментов и механизмов. Необходимым условием и принципом, который должен соблюдаться при последующем распределении доходов по уровням управления, должно быть соблюдение качества выполняемых операций и эффективность используемых ресурсов соответствующим подразделением.

Сегодня в практике работы железной дороги при (распределении) формировании доходов от перевозок по уровням управления используются следующие инструменты и механизмы:

– расчетные цены на соответствующие измерители, количественно отражающие выполняемые операции подразделениями в единой технологии;

– возмещение фактически произведенных расходов.

Опыт применения данных финансовых элементов показывает:

– с одной стороны, их состоятельность и возможность применения;

– с другой стороны, появление негативной тенденции – уход от стремления к повышению эффективности хозяйственной деятельности и отсутствие желания на сокращение расходов. Проявление данной тенденции определено тем, что при финансировании используется вариант, на практике реализуемый как затратный метод.

Развитие новых подходов к системе финансирования в железнодорожной отрасли будут способствовать повышению эффективности использования всех видов ресурсов, снижению транспортной составляющей для перевозимых грузов. При этом достаточность финансовых ресурсов в каждом подразделении железной дороги будет способствовать качественному выполнению ими своих функций и безопасности процесса перевозок.

#### Список литературы

1 Гизатуллина, В. Г. Некоторые вопросы прогнозирования финансового механизма функционирования железной дороги / В. Г. Гизатуллина, Д. Н. Кушнеров, О. В. Липатова // Бухгалтерский учет и анализ. – 2002. – № 8.

2 Кушнеров, Д. Н. Доходы Белорусской железной дороги от перевозок: порядок формирования и налогообложения : учеб.-метод. пособие / Д. Н. Кушнеров. – Гомель : БелГУТ, 2010. – 54 с.

3 О железнодорожном транспорте : Закон Респ. Беларусь от 31 дек. 2014 г. № 227-3 : // Консультант Плюс : Беларусь. Технология 3000 [Электронный ресурс] / ООО «ЮрСпектр», Нац. Центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2015.

4 Положение о централизованном формировании доходов от перевозок пассажиров, грузов и багажа и других транспортных работ и услуг Белорусской железной дороги : утв. приказом 01.11.2012 № 387Н : с доп. и изм. / Белорусская железная дорога. – Минск, 2006. – 42 с.

УДК 656.2.08

### РАЗВИТИЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ПРИ СОЗДАНИИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СОСТОЯНИЕМ ИНФРАСТРУКТУРЫ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

*Г. В. ГЛЕВИЦКИЙ, М. В. ФЕДОРЦОВ*

*Белорусская железная дорога, г. Минск*

*А. А. ЕРОФЕЕВ, В. Г. КУЗНЕЦОВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Надежность функционирования объектов инфраструктуры железной дороги является важным фактором, определяющим наличную пропускную способность железнодорожных участков и станций и соответственно возможность в полном объеме и качественно осуществлять поездную и маневровую деятельность и осваивать потребные объемы перевозок грузов и пассажиров.

Применение мониторинга в системе управления состоянием инфраструктуры дает возможность оценить состояние объектов, используя информацию о зафиксированных отказах, предотказных состояниях устройств и отклонениях от норм содержания, а также данных выполнения на объектах инфраструктуры плановых и внеплановых работ.

При реализации функций управления состоянием инфраструктуры железнодорожного транспорта (технологической, аналитической, диспетчерской) необходимо иметь достоверную, полную, точную и своевременную информацию для принятия управленческих решений по производству различных видов ремонта, технического обслуживания, замены, модернизации и других инженерно-производственных действий.

Модель управления содержанием инфраструктуры включает три взаимодействующих блока: 1 – систему мониторинга состояния объектов инфраструктуры; 2 – систему планирования проведения работ на объектах инфраструктуры; 3 – систему проведения работ на объектах инфраструктуры (рисунок 1).

Система мониторинга состояния объектов инфраструктуры основана на оперативной и нормативно-справочной информации об объектах инфраструктуры и ее элементах. Оперативная информация устанавливается посредством технической диагностики, технологических осмотров, контроля соблюдения технологии содержания устройств инфраструктуры, идентификацией отказов и сбоев в функционировании устройств и нарушения технологического процесса. Наиболее важной структурной частью первого блока являются аналитические модели, посредством которых производится обработка оперативных данных и формирование собственных баз данных, устанавливающих

поведение устройств в жизненном цикле. Наличие обработанной базы позволяет проводить комплексный анализ функционирования объектов, устанавливающий факторный анализ состояния объектов и прогнозирующий его дальнейшее поведение в жизненном цикле.

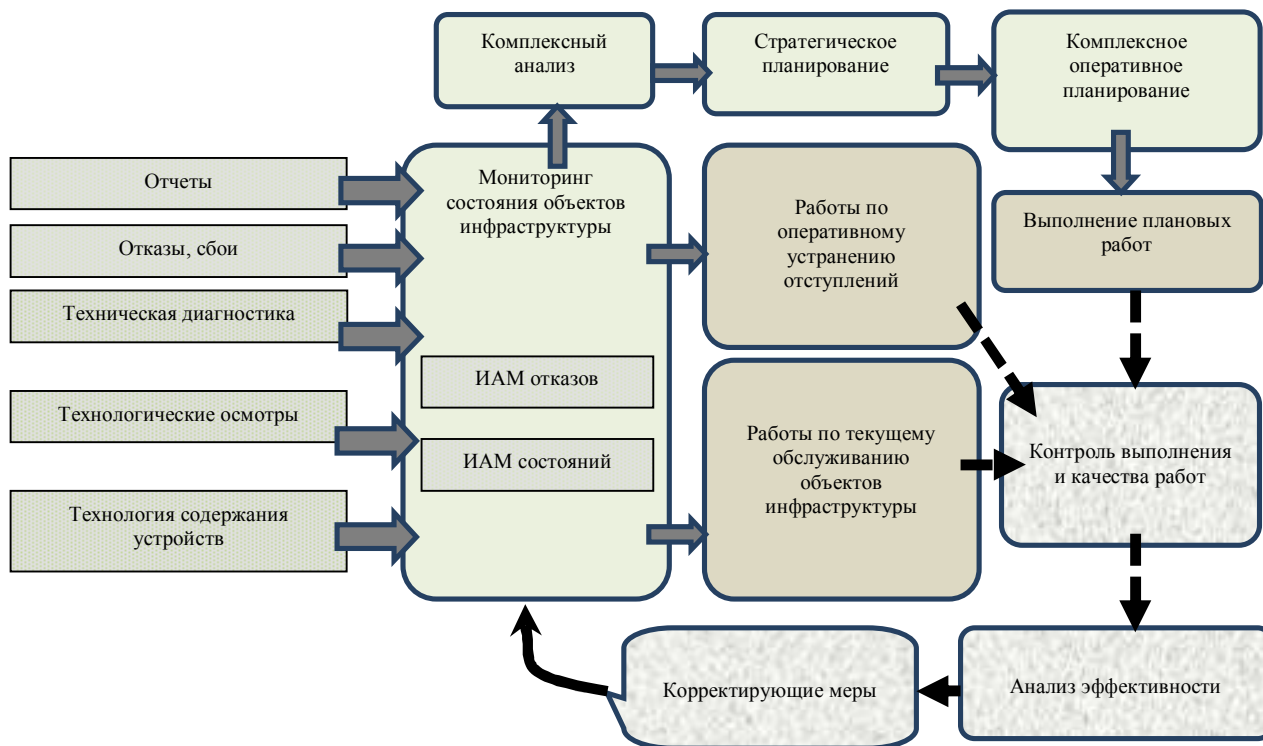


Рисунок 1 – Модель управления содержанием инфраструктуры

Важной частью процесса планирования работ по содержанию инфраструктуры является анализ эффективности проведения плановых и текущих работ и внесение корректирующих действий как в информационно-аналитические модели мониторинга, так и в планы проведения ремонтных работ в жизненном цикле объекта. Исполнительской частью модели управления является система проведения плановых и внеплановых работ для обеспечения требуемого уровня работоспособности объектов инфраструктуры и ее элементов. Данные этой части модели позволяют скорректировать базу данных о состоянии объектов и актуализировать ее с учетом проведенных работ на этапах жизненного цикла.

В системе мониторинга необходимо создать информационно-аналитические модели оценки интенсивности отказов элементов (ИАМ отказов) инфраструктуры и их влияния на перевозочный процесс (достижение пороговых значений) и оценки функционирования объектов инфраструктуры в жизненном цикле (ИАМ состояний) и их влияния на перевозочный процесс (достижение неприемлемого параметрического состояния). Для функционирования первой модели требуется создание достоверной и полной системы идентификации отказов и сбоев, которые возникают по всем элементам объектов инфраструктуры, для второй – создание по ответственным объектам инфраструктуры детального отображения изменения состояния на протяжении всего жизненного цикла с учетом его продления и проведения всех видов ремонта и обслуживания.

Второй важной частью формирования информационно-аналитических моделей является идентификация эксплуатационной нагрузки на объекты инфраструктуры (грузопоток, грузооборот, пассажирооборот, поездопоток, грузонапряженность, маневровые и поездные операции и другие), а также технологическая база объектов инфраструктуры. Такая база позволяет получить параметры потока отказов объектов и их элементов, установить тенденции на любом периоде времени и влияние мер управления на состояние инфраструктуры и ее объекты.

Функционал экономической эффективности устойчивого состояния объектов инфраструктуры определяется параметрами эффективности перевозочной деятельности на железнодорожном транспорте с учетом оптимизации соотношения показателей RAMS (безотказность, готовность, ремонтнопригодность, безопасность) и LCC (стоимость жизненного цикла).



## ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ ОБЪЕКТОВ В УСЛОВИЯХ ТЕРРОРИСТИЧЕСКИХ УГРОЗ

*А. К. ГОЛОВНИЧ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Современный уровень развития техники в значительной степени характеризуется высокой сложностью конструкций, интеллектуальностью узлов обратных связей с принятием управленческих решений на основе многофакторных критериев. Управление техническими объектами системы в условиях программного контроля превращается в многоэтапную техническую процедуру, определенную регламентом. При этом высокая чувствительность подобных систем к различным влияниям приводит к опасной зависимости от внешних воздействий, которые могут иметь негативный аспект и предполагать деструктивный характер.

Транспорт является важной сферой жизнеобеспечения любого крупного города и промышленного узла, способной подвергаться террористической угрозе. Специфической особенностью транспорта является принципиальная невозможность ограничить к нему доступ физических лиц, так как услугой перевозки пользуется почти всё более чем 7-миллиардное население Земли. По причине такой всеобщности транспортной услуги и высокой концентрации количества людей на ограниченной площади территории железнодорожной станции, аэропорта, метро, поезда, самолета эти объекты становятся достаточно опасными с точки зрения совершения террористических актов, которые преследуют различные цели дестабилизации обстановки в городе, государстве и целом регионе.

Существующие реалии нашей жизни указывают на высокую зависимость безопасного функционирования транспортных объектов, обеспечивающих нашу жизнедеятельность, от поведения человека. Человеческий фактор становится такой же причиной отказа, какой является любой другой фактор технического характера. Деструктивное поведение отдельных индивидуумов общества по результатам нанесенного ущерба на транспорте ничем не отличается (а чаще – превосходит) негативное влияние от разрушения объекта под действием критичных нагрузок подвижного состава или внутренних напряжений железнодорожного пути.

Осознание возникшей проблемы глобальной защиты человеческого общества от опасного влияния отдельных индивидуумов непосредственно связано с общим повышением безопасности эксплуатации транспортных систем, так как последние оказываются легко управляемыми в силу своей техногенности с достаточно широким диапазоном функциональности, а следовательно, с возможностью перехвата и обхода управления, использования большого числа вариаций программного контроля и достижения неопознаваемых системой деструктивных результатов. В итоге может возникнуть своеобразное состояние неуправляемости гигантским потенциалом, например, такой технической системы, как железнодорожный узел, которая, обладая широкими возможностями подстройки к изменяющимся внешним условиям, становится заложником своих возможностей, предоставляя асоциальным элементам искомый для них инструмент разрушения.

В настоящее время выход из строя определенных цепей управления рассматривается в большинстве случаев как некоторая обусловленная объективными причинами наработка на отказ. Зона надежного функционирования транспортных объектов часто ограничивается действующими методологическими установками, привитыми нашим «техническим сознанием», и однозначно связывается с техническими причинами возникающих неполадок, а следовательно, и с техническими способами их устранения. Лишь для самых уязвимых систем, выход из работоспособного состояния которых может иметь катастрофические последствия (например, для атомной станции, аэропорта, метро, вокзала, газопровода), мы проектируем соответствующие многоуровневые контуры защиты. Однако эта защита связывается прежде всего с предупреждением и исключением вероятных отклонений в процессе эксплуатации, возникающих по целому ряду причин (в том числе и человеческого фактора).

Гарантированная защита объектов жизнедеятельности должна определяться системой мер, направленных на предотвращение и полное исключение опасных состояний, в которые могут перейти объекты в результате любых негативных воздействий технического и иного характера. Уже на стадии проектирования, «проигрывая» будущее создаваемого технического объекта, мы в пол-

ной мере формируем его свойства устойчивого поведения при эксплуатации. Вместе с характеристиками безотказности и надежности, обеспечивающими эффективное функционирование, следует закладывать определенные резервные возможности, активизирующиеся при наступлении нестандартных ситуаций, генерируемых антропогенным фактором. Причем активация данного потенциала должна обеспечиваться автоматически без участия человека. Такие технические решения, повышающие безопасность системы в целом, следует предусматривать на уровне проекта в виде отдельных стадийных регламентированных решений.

Для транспортных объектов создание подобных защитных контуров имеет определяющее значение. Транспортные артерии крупного города и промышленного центра наиболее уязвимы и чувствительны к резкому изменению выверенной и точной технологии процессов перевозки грузов и пассажиров. До 70 % террористических актов совершается на транспорте или через его использование. Экстремистские действия такого рода рассматриваются как мегатерракты, способные привести к гигантским негативным последствиям в масштабе экономики всей страны. В Российской Федерации создана и функционирует соответствующая правовая база, устанавливающая определенные способы и методы борьбы с терроризмом. В соответствии с Указом Президента РФ опасность объектов по степени поражения в результате террористических актов классифицируется по трем категориям. Транспорт, естественно, входит в категорию наивысшей опасности. Определено семь типов угроз, способных привести к теракту: захвата, взрыва, размещения или попытки размещения взрывных устройств и взрывчатых веществ, поражения опасными веществами, блокирования, хищения, технического воздействия. Все эти угрозы в полном объеме могут быть реализуемы на транспорте, что подчеркивает особый его статус в общем перечне территорий, потенциально подверженных террористической атаке. Регламентированная нормативными документами система мер защиты транспортных объектов должна функционировать наравне с типовым технологическим процессом, обеспечивающим нормальную деятельность железнодорожных станций, аэропортов и других жизненно важных структур. Непроницаемая защита от деструктивных действий асоциальных субъектов должна стать органичной частью общей технологии работы транспортных объектов на всех его этапах и уровнях. Техническая система должна быть насыщена внутренними элементами защиты при выполнении любых технологических операций. В таком случае можно ожидать появления дополнительного звена безопасности в виде общей, качественно возросшей, сопротивляемости самой транспортной системы нетехнологичным воздействиям, нейтрализуемым в самом зародыше, исключая тем самым их дальнейшее развитие с высокой опасностью получения негативных экономических и социальных последствий.

УДК 656.08

## СИСТЕМА АКТИВНОЙ И ПАССИВНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

*Р. Ю. ДОЛОМАНЮК*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Согласно статистике, порядка 80–85 % всех дорожно-транспортных происшествий (ДТП) приходятся на долю автомобилей. Сравнительная статистика ДТП за 2016 представлена в таблице 1.

*Таблица 1 – Сравнительная статистика ДТП за 2016*

Страна	Количество ДТП, случаев	Число погибших, человек	Число раненых, человек
Беларусь	3635	581	3900
Россия	173694	20308	153386
Украина	154556	3187	151369
Германия	2600000	3214	221140

Анализ статистики показывает, что в Европе количество ДТП больше, а погибших на дороге меньше. Успехи обеспечения безопасности в Европе объясняются культурой вождения и все воз-

растающем уровне систем активной/пассивной безопасности автомобилей. Эти системы стали широко внедряться во все комплектации автомобилей конца 90-х годов XX в. За 10 лет в Европе количество автомобилей увеличилось 1,5 раза, количество же ДТП осталось на прежнем уровне (заслуга систем активной безопасности), количество погибших уменьшилось в 2 раза (заслуга систем пассивной безопасности). Печальная для Восточной Европы статистика объясняется низкой дисциплиной участников движения, «старостью» автопарка, слабой просвещенностью населения о средствах безопасности эксплуатации автомобилей.

При выборе автомобиля наш покупатель часто на первое место ставит мощность двигателя, наличие климатической установки, качество «музыки», красивые диски, а не системы безопасности автомобиля.

Во многих странах система курсовой стабилизации является обязательной для всех легковых автомобилей во всех комплектациях, до сих пор не является обязательной даже антиблокировочная система тормозов. Именно поэтому проблема разработки средств обеспечения пассивной безопасности автомобилей в нашей стране чрезвычайно актуальна.

Современные системы безопасности предусматривают как активную, так и пассивную безопасность автомобиля и включают в себя целый ряд устройств: подушки безопасности автомобиля, антиблокировочную систему колес (АБС), противобуксовочные и противозаносные системы и многие другие средства. Надежность конструкции автомобиля поможет водителю не попасть в беду и обезопасить свою жизнь и жизнь пассажиров в непростых условиях современных дорог.

В целом безопасность транспортного средства подразделяют на активную и пассивную. Что же обозначают эти термины? Активная безопасность включает в себя все те свойства конструкции автомобиля, при помощи которых предотвращается или снижается сама вероятность ДТП. Благодаря таким свойствам, водитель может менять характер движения, другими словами, автомобиль не станет неуправляемым в экстренной ситуации. Рациональная конструкция машины является залогом ее активной безопасности. Здесь большую роль играют так называемые «анатомические» сидения, повторяющие форму человеческого тела, обогрев ветрового стекла и зеркал заднего вида во избежание их замерзания, стеклоочистители на фарах, противосолнечные козырьки. Кроме того, активной безопасности способствуют различные современные системы – противоблокировочные, контролирующие скорость движения автомобиля в целом и работу его отдельных механизмов, сигнализирующие о неисправностях и т. д. Кстати, цвет кузова также имеет большое значение для активной безопасности авто. Наиболее безопасными в этом плане считаются оттенки теплого спектра – желтый, оранжевый, красный, а также белый цвет кузова. Повышение заметности автомобиля в ночное время достигается и другими способами, например, на номерные знаки и бампер наносится специальная световозвращающая краска. Также в целях повышения активной безопасности необходимо хорошо продуманное расположение приборов на приборной панели и качественный обзор с водительского места. Следует помнить, что, согласно дорожной статистике, при авариях чаще всего повреждается рулевое управление, двери, ветровое стекло и приборная панель. В случае, если авария все-таки происходит, ведущая роль в ситуации переходит к приемам пассивной безопасности.

В понятие пассивной безопасности входят такие свойства конструкции транспортного средства, которые помогают уменьшить степень тяжести ДТП, если таковое случится. Пассивная безопасность проявляет себя, когда водитель все же не в силах изменить характер движения машины для предотвращения аварии, несмотря на принятые меры активной безопасности. Зависит пассивная безопасность, как и активная, от множества нюансов конструкции. Сюда можно отнести, например, устройство бампера, наличие дуг, ремней и подушек безопасности, уровень жесткости кабины и прочие условия.

Безусловно, важнейшим определяющим фактором активной и пассивной безопасности автомобиля, является безотказность всех его жизненно важных систем, агрегатов и узлов. Наиболее серьезные требования предъявляются к безотказности тех элементов машины, которые позволяют ей осуществлять разнообразные маневры. К таким устройствам относятся системы тормозов и рулевого управления, трансмиссия, подвеска, двигатель и т. д. Чтобы повысить показатели безотказности всех систем современных автомобилей, с каждым годом применяются все новые и новые технологии, используются неиспользуемые ранее материалы и совершенствуется конструкция автомобилей всех марок.

## ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ СОРТИРОВОЧНОЙ РАБОТЫ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТАНЦИЯХ

*С. В. ДОРОШКО*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

При роспуске вагонов с сортировочных горок на ряде железнодорожных станций скорости соударения вагонов в большинстве своем не соответствуют требованиям ПТЭ. Фактически на станциях, и особенно при роспуске с сортировочных горок, вагонов повреждается значительно больше фиксируемого, но из-за недостаточного контроля эти случаи не выявляются и, соответственно, не учитываются.

Факты скрытия от учета поврежденных вагонов выявлены МПС России на многих станциях Куйбышевской, Горьковской, Северной, Восточно-Сибирской, Московской и ряде других железных дорог. Наибольшее количество случаев повреждений вагонов по вине работников станций, предприятий и организаций железнодорожного транспорта допущено на станциях Новокуйбышевская Куйбышевской железной дороги, Хабаровск-2, Комсомольск, Владивосток, Облучье, Находка Дальневосточной железной дороги, Баженово Свердловской железной дороги, Поворино Юго-Восточной железной дороги, Челябинск-Главный Южно-Уральской железной дороги, Тайшет Восточно-Сибирской железной дороги и некоторых других железных дорогах. На вышеприведенных железнодорожных станциях в 1998 г. было повреждено 32 % вагонов от всех случаев их повреждений, имевших место на станциях сети железных дорог, причем более 70 % от всех случаев повреждений вагонов приходится на Дальневосточную железную дорогу.

Анализ работы станций АОО «РЖД» Юго-Восточной, Северо-Кавказской, Северной и других дорог показывает, что на сортировочных горках малой мощности сложилась особенно тяжелая ситуация из-за резкого возрастания числа случаев образования односторонних «ползунов» на колесах после башмачного торможения вагонов. Проведенные обследования показали, что ежемесячно в текущий ремонт поступает более 130 вагонов с «ползунами» колес размером более 1 мм. Суммарные затраты, связанные с ремонтом поврежденных колесных пар, включая затраты на выявление дефектов, перегрузку вагонов, выкатку колесных пар и их доставку в депо, обточку дефектных колесных пар, последующую сборку и подкатку под вагон тележки, составляют более 20 тыс. руб. на вагон.

Аналогичная ситуация имеет место и на железных дорогах Украины. Например, за 9 месяцев 2010 г. на Одесской железной дороге выявлено 888 поврежденных вагонов, требующих ремонта, что на 54 вагона больше, чем за соответствующий период прошлого года. Стоимость поврежденных деталей составляет более 739,4 тыс. грн. Больше всего поврежденных вагонов при погрузке, выгрузке и маневровой работе в портах. На станции Химическая ООО «ТИС» повреждено 255 вагонов на сумму 286,822 тыс. грн., на ЗАО «Ника-Тера» повреждено 104 вагона на сумму 53,395 тыс. грн. В морских портах в целом повреждено 797 вагонов на общую сумму 854,874 тыс. грн., в частности, в Одесском и Ильичевском повреждено соответственно 102 и 101 вагон соответственно.

Обработка статистического материала по горочным станциям Белорусской дороги за период с 1998 по 2014 гг. показала, что за год повреждается в среднем от 800 до 9000 вагонов, т. е. темп повреждения – от 2 до 24 вагонов в сутки, при этом затраты на восстановление одного вагона колеблются в пределах от 450 долларов США (рисунок 1). Ущерб, связанный с повреждением подвижного состава, порчи грузов на Белорусской железной дороге в различные годы, находится в диапазоне 0,5–16 млн долларов США. Кроме того, учитывая задержки в переработке вагонопотока, повышение простоя вагонов, повторную сортировку и др., полный ущерб достигает 22,9 млн долларов США в год.

В принятой на сегодняшний период концепции организации сортировочной работы и расчете плана формирования поездов не учитываются расходы, связанные с повреждением подвижного состава на сортировочных горках и выполнении маневровой работы на станциях, т. е. в моделях выбора оптимального плана формирования поездов игнорируются вопросы, связанные с оценкой фактора безопасности. Притом, что план формирования поездов является основой для распределения сортировочной работы между станциями сети железной дороги и определяет степень загрузки их сортировочных устройств, затраты на переработку вагонов, оказывает влияние на сроки доставки и себестоимость перевозки грузов.

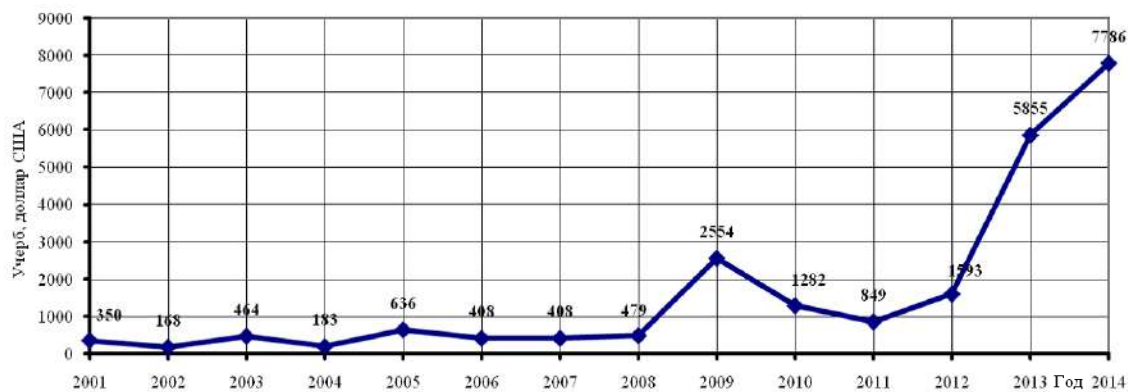


Рисунок 1 – Ущерб от повреждений вагонов на горочных станциях Белорусской железной дороги

Исследования по данному вопросу позволяют утверждать, что повреждения вагонов в конечном итоге приводят к возрастанию времени нахождения вагона на станции, увеличению затрат на маневровую работу, повышению загрузки локомотивов, горловин, станционного персонала.

Предлагается методика, позволяющая учесть вопросы безопасности, связанные с возможными потерями от повреждения вагонов и порче грузов на сортировочных станциях в моделях распределения сортировочной работы, т.е. расчет эквивалента переработки вагонов рекомендуется вести с учетом удельных, зависящих от уровня безопасности процесса роспуска составов на горках, расходов, связанных с повреждением подвижного состава. Учет потерь от повреждений подвижного состава позволит повысить точность при расчете нормативов плана формирования поездов на 6–10 %.

УДК 519.1

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОГО КОНТУРА БЕЗОПАСНОСТИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ СТАНЦИИ

О. И. ДУГИНОВ

*Белорусский государственный университет, г. Минск*

Железнодорожная станция является важной технической системой, обеспечивающей безопасное функционирование всех устройств. Исключение несанкционированных проникновений на режимную территорию достигается созданием соответствующего контура безопасности, развертывание которого состоит из фаз выбора технических средств, которые будут обеспечивать контроль и защиту, и последующего размещения данных средств на территории охраняемой зоны.

С точки зрения математической постановки, первая фаза может быть сформулирована в виде комбинаторной оптимизационной задачи о рюкзаке [1]. Пусть имеется  $N$  аппаратных средств (видеокамеры, датчики движения с различными характеристиками и др.), которые потенциально могут быть использованы для формирования контура безопасности. Обозначим через  $c_i$  стоимость  $i$ -го средства. Далее необходимо ранжировать средства по их важности, и ценность каждого средства оценить количественно (например, видеокамера с большим углом зрения имеет большую ценность, чем видеокамера с меньшим углом зрения). Обозначим через  $v_i$  ценность  $i$ -го средства. Пусть  $a$  – бюджет, выделенный на приобретение оборудования. Задача состоит в том, чтобы выбрать комплекс технических средств из имеющихся таким образом, чтобы суммарная стоимость выбранных единиц не превосходила бюджет  $a$ , и их суммарная ценность была максимальна. Общая целевая функция имеет вид

$$v_1x_1 + v_2x_2 + \dots + v_Nx_N \rightarrow \max, \quad c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_Nx_N \leq a, \quad x_1, x_2, \dots, x_N \in \{0,1\}.$$

Для данной комбинаторной задачи существует ряд известных и глубоко изученных методов решения [1].

На второй фазе решается задача размещения выбранных  $n$  средств на выбранном пространственном полигоне. Здесь могут возникнуть различные ситуации. Например, два выбранных технических

средства могут конфликтовать, находясь на близком расстоянии. Поэтому задача состоит в том, чтобы, во-первых, выяснить, можно ли расположить все соответствующие технические средства внутри контура безопасности так, чтобы среди них не было двух конфликтующих, а, во-вторых, разместить выбранные объекты таким образом, чтобы суммарная площадь, которая попадает под области видимости хотя бы двух объектов, была минимальна. Расчетная схема приведена на рисунке 1.

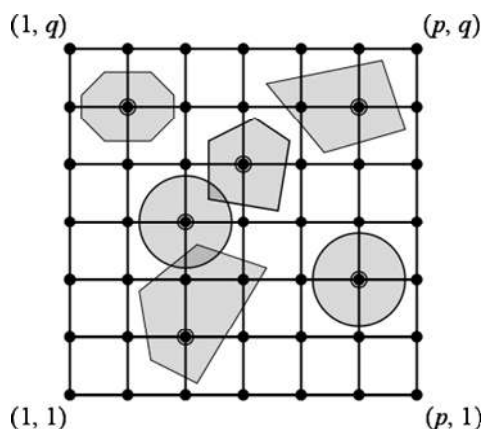


Рисунок 1 – Решётка, покрывающая территорию объекта

Согласно приведенному рисунку в некоторых узлах размещены технические средства, обеспечивающие контроль и защиту режимного объекта. Затемненные области – это области действия (видимости) средств. Пересечение областей действий двух объектов означает, что объекты конфликтуют друг с другом.

Рассмотрим модельную ситуацию, в которой вся зона покрыта решёткой размера  $p \times q$ , в узлах которой можно размещать выбранное на первой фазе оборудование (см. рисунок 1). Данную ситуационную задачу можно сформулировать в виде задачи целочисленного квадратичного программирования (ЗЦКП [2]). Пусть  $x_{i,j,k} \in \{0,1\}$  – переменная, которая принимает значение 1, если  $k$ -е выбранное средство помещено в узел с координатами  $(i, j)$  и 0 в противном случае. Так как  $k$ -е средство может быть помещено только в один узел, то необходимо потребовать, чтобы для любого  $k = 1, 2, \dots, n$  выполнялось условие

$$\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^q x_{i,j,k} = 1.$$

Так как в любой узел можно поместить не более одного средства, то для любой упорядоченной пары  $(i, j)$ , где  $i \in \{1, 2, \dots, p\}$  и  $j \in \{1, 2, \dots, q\}$ , необходимо потребовать, чтобы

$$\sum_{k=1}^n x_{i,j,k} \leq 1.$$

Рассмотрим целевую функцию следующего вида:

$$\sum_{\substack{i_1 \in \{1, \dots, p\} \\ j_1 \in \{1, \dots, q\} \\ k_1 \in \{1, 2, \dots, n\} \\ i_2 \in \{1, \dots, p\} \\ j_2 \in \{1, \dots, q\} \\ k_2 \in \{1, 2, \dots, n\}}} a_{i_1, j_1, k_1, i_2, j_2, k_2} x_{i_1, j_1, k_1} x_{i_2, j_2, k_2},$$

где  $a_{i_1, j_1, k_1, i_2, j_2, k_2}$  – это число, равное 1, если объекты  $k_1, k_2$ , находясь в узлах  $(i_1, j_1)$  и  $(i_2, j_2)$ , соответственно, конфликтуют друг с другом, и 0, в противном случае;  $a_{i_1, j_1, k_1, i_2, j_2, k_2}$  – площадь области, которая попадает под видимость обоих технических средств  $k_1, k_2$ . Решая получившуюся задачу целочисленного квадратичного программирования на минимум, получим требуемые результаты по набору технических средств контура безопасности и эффективные позиции их размещения на территории железнодорожной станции. В заключение отметим, что существует ряд программных средств для решения ЗЦКП, например TomLab [3].

## Список литературы

- 1 Kellerer H. Knapsack Problems. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 2004.
- 2 Методы оптимизации / Р. Габасов [и др.] – Минск : Четыре четверти, 2011. – 472 с.
- 3 TomLab [electronic resource] / K. Holmström // Mode of access: <https://tomopt.com/> . – Date of access: 10.09.2017.

УДК 656.212.6.073.235

## УЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК НАДЕЖНОСТИ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ МЕСТ ПОГРУЗКИ, ВЫГРУЗКИ

*И. А. ЕЛОВОЙ, Е. Н. ПОТЫЛКИН*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Проблемы безопасности постоянно сопровождаются вопросами обеспечения надежности работы устройств, механизмов, систем. При определении перерабатывающей способности мест погрузки, выгрузки помимо надежности устройств и процессов также должны быть учтены вероятностный характер процессов поступления вагонов и груза к месту выполнения погрузочно-разгрузочных операций. Возможные состояния грузового фронта и соответствующие им вероятности сведены в таблицу 1.

*Таблица 1 – Возможные состояния вагонов и грузового фронта и соответствующие им вероятности*

Объекты	Вероятности состояния грузовых фронтов и выполняемых при этом операций			
Готовая продукция	$P_{пр}$	$P_{пр}$	$1-P_{пр}$	$1-P_{пр}$
	Поступает из производства		Не поступает из производства	
Грузовой фронт и склады	$P_{пр}(1-P_{в})$	$P_{пр}P_{в}$	$(1-P_{пр})P_{в}$	$(1-P_{пр})(1-P_{в})$
	Выгрузка из производства в склад	Перегрузка из производства в вагон	Погрузка из склада в вагон	Погрузочно-разгрузочные механизмы простаивают
Порожние вагоны	$1-P_{в}$	$P_{в}$	$P_{в}$	$1-P_{в}$
	Отсутствуют	Имеются		Отсутствуют

Основываясь на ранее выполненных исследованиях Г. А. Циркунова, В. П. Ярошевича, с учетом того, что

$$P_{оо} = (1 - P_{пр}) (1 - P_{в}); \quad (1)$$

$$P_{ои} = (1 - P_{пр})P_{в}, \quad (2)$$

получена формула расчета перерабатывающей способности грузового фронта для случая, когда часть груза перегружается из производства в складские емкости, а в наличии имеется один путь для выполнения грузовых операций:

$$n_{фр1} = \frac{K_{см}(t_{см} - t_{об} - t_{пр}) \cdot (1 - P_{оо}) \cdot \frac{Q_{сут}^{произ}}{XP_{ст}}}{K_{ин} \left[ \frac{Q_{сут}^{произ}(1 + P_{ои})}{Xzq_{эт}} + t_{под} + t_{уб} + \frac{m_{сут}}{X}(t_{рsv} + t_{сбв}) \right]}, \text{ вагонов,} \quad (3)$$

где  $K_{см}$  – количество смен работы за сутки;  $t_{см}$ ,  $t_{об}$ ,  $t_{пр}$  – продолжительность соответственно смены, обеденного перерыва, приема-сдачи смены, осмотр средств механизации и других технических средств, мин;  $Q_{сут}^{произ}$  – количество груза, поступившего из производства на грузовой фронт за сутки, т/сут;  $X$  – количество подач-уборок вагонов на грузовой фронт;  $P_{ст}$  – статическая нагрузка вагона, т/ваг;  $K_{ин}$  – коэффициент, учитывающий влияние характеристик надёжности;  $z$  – количество погрузочно-разгрузочных механизмов;  $q_{эт}$  – эксплуатационная производительность механизма, т/мин;  $t_{под}$ ,  $t_{уб}$ ,  $t_{рsv}$ ,  $t_{сбв}$  – продолжительность соответственно подачи, уборки, расстановки, сборки вагонов у мест погрузки, выгрузки, мин;  $m_{сут}$  – суточное количество вагонов, поступающих на грузовой фронт, ваг/сут.

Способ расчета перерабатывающей способности фронта погрузки, выгрузки может варьироваться в зависимости от вариантов путевого оснащения и выполнения погрузочно-разгрузочных операций. Возможные варианты определения перерабатывающей способности грузового фронта представлены на рисунке 1.

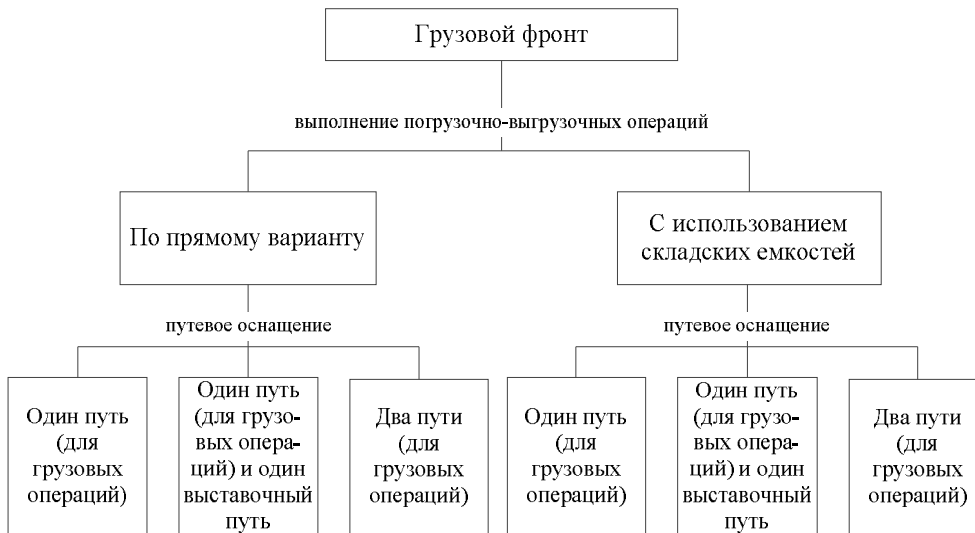


Рисунок 1 – Граф вариантов определения перерабатывающей способности фронта погрузки, выгрузки

Таким образом, получены зависимости, которые, в отличие от существующих способов расчета перерабатывающей способности мест погрузки, выгрузки, учитывают: различия в длительности технологических перерывов в связи с неравномерностью поступления груза и вагонов в местах производства работ; влияния надежности не только на средства механизации, но и процессы подачи-уборки, расстановки-сборки вагонов маневровым локомотивом; возможные варианты путевого оснащения и выполнения погрузочно-разгрузочных работ. Также стоит отметить, что открытым остается вопрос учета фактора погодных условий при расчете перерабатывающей способности грузовых фронтов, где осуществляется погрузка грузов, которые требуют защиты от атмосферных воздействий, в открытый подвижной состав, например, погрузка галита в полувагоны не производится во время дождя.

УДК 656.2.08

## TRAFFIC SAFETY ASPECTS IN SOLUTIONS OF TRAFFIC CALMING

*A. ZALEWSKI, J. KEMPA*

*University of Science and Technology in Bydgoszcz, Poland*

The idea of calming traffic connects the various aspects of the functioning of urban areas, including urban planning, transportation, road safety and social and environmental aspects. The calming of traffic according to authors of Integrated Programme of Improvement of Road Traffic Safety in Poland the GAMBIT (1996) can define as „the solution about organizational, building and legal character, reducing the difficulty of car traffic by sews on him limitations and the change of transportation service of chosen areas. The means of traffic calming can have the character of planning and structural solutions, detailed solutions of elements of roads and the organization of traffic”. Traffic calming in the quest to improve the state of urban traffic safety is often the main criterion for its implementation. Traffic calming solutions significantly reduce the number of accident victims. The key to achieving these effects is reducing speed, adjusting speed to street character and function, and transforming road and street infrastructure, which forces drivers to drive slower and improves the quality of the urban environment. The implementation of the area conception of traffic calming is often linked to the process of urban transformation and revitalization of the area. The paper will cover the following issues: genesis, principles, methods and functional – technical forms of traffic calming, location of road safety problems in transportation services of cities and districts, the impact of methods and means on improving traffic safety, as well as selected examples of traffic calm-



ing solutions in Poland and general conclusions. Solutions of traffic calming in all forms in Poland, including: zone 50, zones 30, inhabitants areas as well as shared space are an important elements of the activities in the aspect of sustainable transportation policy. Analysis of existing solutions in Polish Cities confirms the experiences of developed countries with a high level of motorization, indicates very favorable influence into the decrease of car traffic, improvement of traffic safety, promotion in to the increased of cycling, public transport and pedestrian traffic. They improve the environmental conditions of residence, as well as the aesthetics of the urban landscape.

УДК 006.015.8

## **КЛАССИФИКАЦИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОРГАНА ПО СЕРТИФИКАЦИИ ПРИ ПОДТВЕРЖДЕНИИ СООТВЕТСТВИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ПРОДУКЦИИ**

*В. С. ЗАЙЧИК, А. А. КЕБИКОВ, Н. М. ПЕРЕКРЕСТОВА  
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Орган по сертификации железнодорожной продукции и услуг БелГУТа выполняет работы по подтверждению соответствия: вагонов (грузовых и пассажирских); локомотивов (электровозов и тепловозов); моторвагонного подвижного состава (электропоездов и дизель-поездов); деталей, составных частей и оборудования подвижного состава; элементов верхнего строения пути; аппаратуры автоматики, телемеханики и связи; услуг по ремонту и обслуживанию подвижного состава; услуг, предоставляемых пассажирам на железнодорожном транспорте; услуг, предоставляемых при перевозке грузов железнодорожным транспортом.

В общем случае подтверждение соответствия является процедурой документального удостоверения соответствия продукции требованиям технических регламентов, положениям стандартов, сводам правил или условиям договоров. Вместе с тем деятельность по подтверждению соответствия железнодорожной продукции носит научный характер в связи с наличием большой номенклатуры изделий, в отношении которых проводится постоянное улучшение вплоть до внедрения новых инновационных решений, включая широкое внедрение передового опыта зарубежных изготовителей (Stadler, Knorr-Bremse, Bombardier, CRRC, Siemens, General Electric, Bonatrans и др.). При этом следует отметить, что прямое использование железнодорожной продукции иностранного производства на железнодорожной колее 1520 мм проблематично в связи с иными требованиями к подвижному составу и инфраструктуре. Таким образом, подтверждение соответствия железнодорожной продукции можно определить как оценку генеральной совокупности изделий и технической документации с использованием результатов испытаний на базе репрезентативной выборки и определением необходимых условий для изготовления продукции со стабильными характеристиками.

В определениях Общегосударственного классификатора Республики Беларусь ОКРБ 005-2011 «Виды экономической деятельности» (далее – ОКРБ 005) подтверждение соответствия является основным видом деятельности органа по сертификации, т. к. оно создает наибольшую часть добавленной стоимости. Выполняемые при этом научные прикладные исследования должны классифицироваться как вспомогательный вид деятельности, направленный на поддержку основного вида деятельности, поскольку они отвечают следующим условиям:

- а) обслуживают только деятельность органа по сертификации;
- б) исходные материалы составляют часть расходов органа по сертификации, их получение и обработка включены в общую стоимость договора по сертификации;
- в) полученные результаты не являются частью конечных продуктов (сертификатов) и не участвуют в формировании основного капитала (оформленные установленным образом отчеты о научных исследованиях не формируются и заявителю не предоставляются);
- г) подобная деятельность в подобных масштабах осуществляется в аналогичных органах по сертификации;
- д) научные исследования являются услугами, предоставляемыми исключительно для текущего производственного процесса сертификации.

Таким образом, деятельность органа по сертификации классифицируется в соответствии с ОКРБ 005 (таблица 1).

Таблица 1 – Классификация деятельности органа по сертификации по ОКРБ 005

Секция М Профессиональная, научная и техническая деятельность	
Основная деятельность	Вспомогательная деятельность
Подсекция МА Деятельность в области права, бухгалтерского учета, управления, архитектуры, инженерных изысканий, технических испытаний и анализа	МВ Научные исследования и разработки
Раздел 71 Деятельность в области архитектуры, инженерных изысканий, технических испытаний и анализа	72 Научные исследования и разработки
Группа 712 Технические испытания, исследования, анализ и сертификация	721 Научные исследования и разработки в области естественных и технических наук
Класс 7120 Технические испытания, исследования, анализ и сертификация	7219 Прочие научные исследования и разработки в области естественных и технических наук, кроме биотехнологий
Подкласс 71200 Технические испытания, исследования, анализ и сертификация	72192 Научные исследования и разработки в области технических наук

В связи с вышеизложенным следует четко разграничивать научную и инжиниринговую деятельность при проведении подтверждения соответствия. Представляется целесообразным рассмотреть с этой точки зрения две его формы: декларирование и сертификацию.

Деятельность органа по сертификации при декларировании заключается в проверке полноты представленной заявителем документации и регистрации декларации соответствия в реестре системы без выезда на производство. Данные процедуры выполняются типовым образом для различных видов продукции и различаются только объемом предоставляемой документации. Таким образом, регистрация деклараций относится к инжиниринговой деятельности.

В отличие от декларирования проведение работ по сертификации железнодорожной продукции отвечает большинству критериев прикладных научных работ, таких как актуальность темы, анализ ТНПА и документации на продукцию, изучение отечественного и зарубежного опыта, степень разработанности НПА и технической документации на продукцию, разработка практических решений, оценка новизны (инновационности) продукции, непосредственное внедрение результатов этих решений. Перечисленные работы выполняют эксперты-аудиторы и технические эксперты органа по сертификации. При этом на различных этапах эти специалисты сталкиваются с необходимостью оценки абсолютно новых конструкторских решений, не имеющих аналогов в отечественной и/или зарубежной практике и, как следствие, четких критериев их оценки, что требует научно-практического подхода к формированию перечня требований. Такой порядок особенно актуален при осуществлении подтверждения соответствия требованиям технических регламентов Евразийского экономического союза, когда основополагающим является принцип добровольности применения стандартов любого уровня.

УДК 006.015.8

## **ПРОЦЕДУРА СЕРТИФИКАЦИИ ПРОДУКЦИИ ДЛЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА**

*В. С. ЗАЙЧИК, А. А. КЕБИКОВ, М. А. РОГОВЕНКО*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Обеспечение безопасности функционирования железнодорожного транспорта достигается допуском в эксплуатацию только высококачественной продукции, которая отвечает всем требованиям технических нормативных правовых актов. Ключевым элементом в этом направлении является наличие документов о подтверждении соответствия железнодорожной продукции требованиям технических регламентов Евразийского экономического союза (далее – ЕАЭС) ТР ТС 001/2011 «О безопасности железнодорожного подвижного состава», ТР ТС 002/2011 «О безопасности высоко-

скоростного железнодорожного транспорта», ТР ТС 003/2011 «О безопасности инфраструктуры железнодорожного транспорта». В ряде случаев требуется подтверждение соответствия сопутствующим техническим регламентам (например, ТР ТС 032/2013 «О безопасности оборудования, работающего под избыточным давлением»), однако именно технические регламенты ТР ТС 001/2011, ТР ТС 002/2011, ТР ТС 003/2011 являются основой при подтверждении соответствия железнодорожной продукции, в т. ч. инновационной, поступающей на железнодорожный транспорт государств – членов ЕАЭС.

Работы по оценке соответствия продукции для железнодорожного транспорта установленным в технических регламентах ЕАЭС требованиям осуществляют аккредитованные органы по сертификации, включенные в Единый реестр органов по сертификации и испытательных лабораторий (центров) Таможенного союза.

В соответствии с техническими регламентами ЕАЭС ТР ТС 001/2011, ТР ТС 002/2011, ТР ТС 003/2011 процедура проведения сертификации продукции для железнодорожного транспорта включает: представление заявителем в орган по сертификации заявки на проведение сертификации продукции; оценку заявки на проведение сертификации органом по сертификации, анализ прилагаемых к ней документов, анализ технических нормативных правовых актов на продукцию и методы испытаний, экспертизу документации на продукцию, разработку программы испытаний, выбор схемы сертификации, принятие решения в отношении заявки и его направление заявителю; идентификацию продукции, отбор образцов для испытаний, проведение испытаний продукции в аккредитованной испытательной лаборатории; проверку состояния производства продукции; экспертизу результатов испытаний, экспертизу проверки состояния производства продукции и экспертизу других доказательственных материалов, а также принятие решения о выдаче сертификата соответствия либо обоснование отказа в выдаче сертификата соответствия; оформление, регистрацию и выдачу сертификата соответствия либо направление заявителю отказа в выдаче сертификата соответствия; осуществление согласно схемам сертификации инспекционного контроля, а также применения сертификата соответствия и единого знака обращения продукции на рынке государств – членов ЕАЭС.

Граф взаимодействия участников процесса сертификации железнодорожной продукции представлен на рисунке 1.

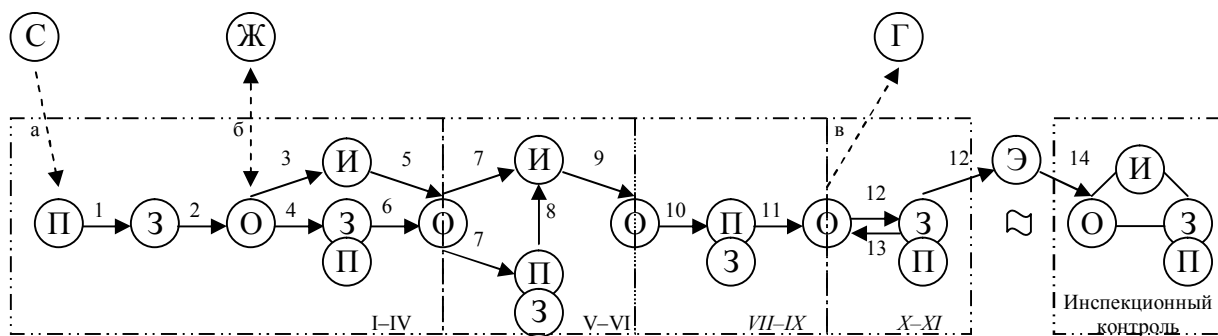


Рисунок 1 – Граф взаимодействия участников процесса сертификации железнодорожной продукции:

*Участки процесса:* П – производитель; З – заявитель; О – орган по сертификации; И – испытательная лаборатория; Ж – железнодорожная администрация; Г – органы управления, отвечающие за внесение изменения в ТНПА; С – орган по сертификации систем менеджмента качества; Э – потребитель железнодорожной продукции (эксплуатант); *Основной документальный поток:* 1 – поручение на сертификацию и договор на выполнение функций иностранного изготовителя (при необходимости); 2 – заявка и пакет документов в соответствии с техническим регламентом; 3 – договор на проведение испытаний и программа испытаний; 4 – решение по заявке и договор на сертификацию; 5 – заключенный договор на проведение испытаний; 6 – заключенный договор на сертификацию; 7 – акт отбора образцов; 8 – акт готовности образцов к испытаниям и сопроводительные документы к образцам; 9 – протокол испытаний; 10 – программа и акт проверки состояния производства; 11 – план корректирующих мероприятий и доказательная документация; 12 – сертификат соответствия и соглашение к сертификату соответствия; 13 – заключенное соглашение к сертификату соответствия; 14 – информация об эксплуатации; *Дополнительный документальный поток:* а – сертификат на систему менеджмента качества; б – согласование с железнодорожной администрацией; в – изменения в ТНПА по итогам сертификации инновационной железнодорожной продукции

Анализ распределения общей продолжительности проведения работ по сертификации между инженеринговыми операциями и операциями, имеющими научную составляющую как вспомогательную деятельность, показал, что доля операций, имеющих научную составляющую, при сертификации является значительной (от 37,2 до 54,2 %), что позволяет говорить о процедуре сертифи-

кации железнодорожной продукции как о научной задаче в целом, направленной на применение новых знаний для достижения практических целей решения конкретных задач.

Перевод данной проблемы в разряд чисто инженерных возможен только после разработки соответствующей системы и инструментария, которые помогут заявителям на сертификацию с минимальными затратами проводить объективную самооценку производства и продукции. Это даст возможность сократить перечень сертифицируемой железнодорожной продукции путем ее перевода в перечень железнодорожной продукции, подлежащей декларированию.

УДК 006.015.8

## **ОСОБЕННОСТИ ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВА ЕВРАЗИЙСКОГО ЭКОНОМИЧЕСКОГО СОЮЗА В ОБЛАСТИ ОЦЕНКИ СООТВЕТСТВИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ПРОДУКЦИИ**

*В. С. ЗАЙЧИК, А. А. КЕБИКОВ, К. В. СВИРИДЕНКО  
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

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

Под техническим регламентом понимается документ, принятый Евразийской экономической комиссией и устанавливающий обязательные для применения и исполнения на территории ЕАЭС требования к объектам технического регулирования, а также правила идентификации продукции, формы, схемы и процедуры оценки соответствия. В качестве основы для разработки технических регламентов применяются соответствующие международные стандарты (правила, директивы, рекомендации и иные документы, принятые международными организациями по стандартизации), за исключением случаев, когда соответствующие документы отсутствуют или не соответствуют целям принятия технических регламентов, в том числе вследствие климатических и географических факторов или технологических и других особенностей. В случае отсутствия необходимых документов применяются региональные документы (регламенты, директивы, решения, стандарты, правила и иные документы), национальные (государственные) стандарты, национальные технические регламенты или их проекты. В технических регламентах также могут содержаться специфические требования, отражающие особенности, связанные с характерными для государств-членов ЕАЭС климатическими и географическими факторами или технологическими особенностями, и действующие только на территориях этих государств. Кроме того, в технических регламентах с учетом степени риска причинения вреда могут содержаться специальные требования к продукции или к производству и связанным с требованиями к продукции процессам проектирования, производства, строительства, монтажа, наладки, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, требования к терминологии, упаковке, маркировке, этикеткам и правилам их нанесения, обеспечивающие защиту отдельных категорий граждан (несовершеннолетних, лиц с ограниченной подвижностью и т. д.).

В области железнодорожного транспорта на настоящий момент действуют технические регламенты ТР ТС 001/2011 «О безопасности железнодорожного подвижного состава», ТР ТС 002/2011 «О безопасности высокоскоростного железнодорожного транспорта», ТР ТС 003/2011 «О безопасности инфраструктуры железнодорожного транспорта» и ТР ТС 032/2013 «О безопасности оборудования, работающего под избыточным давлением». Требования данных технических регламентов распространяются на указанные в них объекты технического регулирования, вне зависимости от страны происхождения. Выпуск в обращение перечисленных в технических регламентах объектов технического регулирования без документов об обязательном подтверждении соответствия не допускается.

Подтверждение соответствия железнодорожной продукции согласно ТР ТС может осуществляться двумя способами: посредством сертификации или декларирования. При этом требования

к размещению производителя (на территории ЕАЭС или вне ее) не устанавливаются. Однако в соответствии с техническими регламентами заявителем на сертификацию или декларирование может быть зарегистрированное в соответствии с законодательством государств-членов ЕАЭС юридическое лицо (или физическое лицо в качестве индивидуального предпринимателя), являющееся изготовителем или продавцом либо выполняющее функции иностранного изготовителя на основании договора, заключаемого с ним в части обеспечения соответствия поставляемой продукции требованиям технического регламента и в части ответственности за несоответствие поставляемой продукции требованиям технического регламента. Следует также отметить, что в законодательной базе ЕАЭС отсутствуют требования по ограничению права заявителя обращаться только в орган того государства-члена ЕАЭС, резидентом которого он является. Заявитель имеет полное право выбирать любой из всех органов по сертификации, внесенных в соответствующий Реестр ЕАЭС и имеющих соответствующую область аккредитации. Так, органом по сертификации УО «Белорусский государственный университет транспорта» в настоящее время выданы сертификаты и зарегистрированы декларации на продукцию производства Швейцарии, Германии, Нидерландов, Великобритании, Франции, Швеции, США, Украины, Российской Федерации, Узбекистана, КНР и ряда других стран, но во всех случаях заявителем и впоследствии держателем документа о подтверждении соответствия являлись организации-резиденты Республики Беларусь, Российской Федерации и Казахстана.

Все документы о подтверждении соответствия вносятся органом по сертификации в соответствующий реестр и находятся в свободном доступе в сети *Internet*. Следует отметить, что при подтверждении соответствия технически сложной продукции, в состав которой входят составные части, подлежащие обязательному подтверждению соответствия, сертификат соответствия на нее может быть выдан только при наличии на них документов о подтверждении соответствия. Продукция, имеющая такую маркировку и сертификат соответствия (декларацию о соответствии) может быть выпущена на рынок ЕАЭС, причем к ней не могут быть предъявлены какие-либо дополнительные требования в части выполнения процедур технического регулирования или в части проведения дополнительных процедур по оценке соответствия.

УДК 159.9

## **КОМПОНЕНТЫ ПСИХОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПЕРСОНАЛА НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ**

*А. Г. ЗЕНКЕВИЧ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В настоящее время психология как наука представляет собой весьма разветвленную систему. В ней выделяется много ветвей (разделы или отрасли), представляющих собой самостоятельные направления научных исследований. Все это складывается в единую систему, которая имеет свои компоненты.

Психологические исследования объясняют малопонятные явления в жизни человека, помогают контролировать события, которые оказывают влияние на него. В связи с этим, изучение психофизиологических компонентов психологического обеспечения персонала железнодорожного транспорта получило признание и является чрезвычайно важным.

В профессии железнодорожника есть определенные риски. Деятельность сотрудников проходит в сложных условиях: при любой погоде, в любое время суток.

Основная причина чрезвычайных ситуаций, возникающих в деятельности железнодорожного транспорта, – это профессиональные ошибки и неудачи в действиях персонала. Успешность работы сотрудников зависит не только от общей и узкопрофессиональной подготовки, но и от степени развития ряда неспецифических профессионально значимых качеств. К ним относятся индивидуально-личностные особенности, эмоциональная устойчивость, особенности интеллектуальной и мотивационной сфер.

Психологическое обеспечение включают в себя профессиональный психофизиологический отбор и психофизиологическое сопровождение профессиональной деятельности работников железнодорожного транспорта.

Профессиональный психофизиологический отбор включает:

- первичный профессиональный психофизиологический отбор;
- периодическое психофизиологическое обследование;
- динамический контроль функционального состояния (определение уровня функционального состояния и индивидуальных психофизиологических норм работника);
- расширенное психофизиологическое обследование (углубленное изучение функционального состояния, профессиональной работоспособности и личностных особенностей работников железнодорожного транспорта);
- психофизиологическое консультирование;
- проведение коррекционных мероприятий.

История профессионального отбора (далее – профотбор) на железнодорожном транспорте своими корнями уходит в XIX век. Тогда этой проблемой занимались такие деятели, как Н.А. Романов, Д.И. Журавский, Э.С. Пентка, И.И. Рихтер и др. Плодотворно работали в области теории и практики отбора в XX веке такие видные ученые-психологи, как К.Н. Гуревич, И.Д. Карцев, К.Э. Павлович, И.Д. Паронян, И.П. Шпильрейн, С.Г. Геллерштейн, Ф.Р. Дунаевский, Н.Д. Левитов, Г.Х. Кекчеев и целый ряд других. Работы этих авторов связаны с деятельностью человека-оператора.

Профотбор является одним из важнейших направлений, которое связано с вопросом безопасности движения на железнодорожном транспорте. Уровень работы железнодорожного транспорта, его экономическая эффективность, сохранность грузов и жизней людей – все это во многом определяется трудом представителей одной из самых массовых профессий железнодорожного транспорта – машинистов магистральных локомотивов.

Установлено, что около 50 % грубых нарушений безопасности движения непосредственно связаны с недостаточной психологической профессиональной пригодностью (далее – профпригодность) работников локомотивных бригад, которые при прохождении профотбора не были допущены к поездной работе.

Внедрение профессионального обучения наглядно продемонстрировало наличие индивидуальных различий между людьми, выявляемых в процессе подготовки. Часть людей оказались малопригодными к выбранным профессиям. Отмечались существенные различия в сроках, необходимых для освоения профессии, значительно варьировала производительность труда, росло число случаев профессиональных заболеваний и травматизма. А так как люди обучаются по достаточно узкому профилю, им трудно найти другую хорошую работу и приходится либо работать слесарями при депо, либо, в лучшем случае, помощниками машинистов без перспективы карьерного роста. Отсюда встает вопрос о необходимости проведения профотбора абитуриентов в профильные учебные заведения, а также создание программы обучения студентов таким образом, чтобы у будущих специалистов сформировался индивидуальный стиль деятельности, способствующий росту их профессиональной успешности.

Психофизиологическое сопровождение включает в себя:

- профилактику расстройств здоровья и профессиональной работоспособности (психологическое консультирование, обучение навыкам саморегуляции, лекции, беседы, психологические тренинги);
- диагностику психологической совместимости;
- психофизиологическую реабилитацию (коррекцию функционального состояния).

В системе мер по повышению качества и эффективности работы на железнодорожном транспорте, обеспечению безопасности движения поездов, снижению производственного травматизма, профессиональной заболеваемости, рациональному использованию трудовых ресурсов важная роль принадлежит системе психофизиологического сопровождения деятельности работников железнодорожного транспорта.

Данная система представляет собой целостный процесс изучения, формирования, развития и коррекции профессионального становления личности. Это система профессиональной деятельности психологов, направленная на создание социально-психологических условий для успешной деятельности и психологического развития личности в процессе профессионального взаимодействия.

## ТЕНДЕНЦИИ, ФОРМИРУЮЩИЕ ИЗМЕНЕНИЯ СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ СУДОХОДСТВА В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

*Н. Н. КАЗАКОВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Традиционно обеспечение транспортной безопасности на предприятиях внутреннего водного транспорта рассматривается в двух аспектах: обеспечение безопасности плавания и обеспечение безопасности судоходства.

Обеспечение безопасности плавания – более узкое понятие, возлагаемое в основном на экипаж и процедуру судовождения. Обеспечение безопасности судоходства – комплексная задача, решаемая персоналом Управления морского и речного транспорта Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь, предприятий водных путей, Белорусского речного пароходства, Белорусской инспекции Речного Регистра и Белорусской инспекции речного судоходства; регламентировано национальными нормативно-правовыми актами: Кодексом внутреннего водного транспорта, Правилами плавания судов по внутренним водным путям, Правилами движения и стоянки судов в бассейнах внутренних водных путей, Правилами пропуска судов и составов через судоходные шлюзы внутренних водных путей и др.

Несмотря на значительный износ подвижного состава, анализ показателей обеспечения безопасности судоходства предприятий внутреннего водного транспорта Республики Беларусь в период с 2006 по 2016 годы показал положительную тенденцию относительно аналогичных показателей судоходных компаний Украины и Российской Федерации (таблица 1).

*Таблица 1 – Удельные показатели обеспечения безопасности судоходства на предприятиях внутреннего водного транспорта*

Удельный показатель, единица измерения		Значение показателя по странам		
		Россия	Украина	Беларусь
Отношение аварийных случаев	к численности флота, аварийных случаев/судно	0,0282	0,0183	0,0029
	к размеру перевозок, аварийных случаев /млн т	3,2681	2,9133	0,4538
	к грузообороту аварийных случаев /млн т·км	0,101	0,189	0,012
Комплексный показатель аварийности, аварийных случаев-тоннаже-сутки/т·км		0,0198	0,0241	0,0002
Тяжесть аварийного случая, тыс. USD/ аварийный случай		2,98	1,10	0,13

При оценке состояния безопасности судоходства в судоходных компаниях используют и иные удельные показатели, приводимые к численности флота или к грузообороту, выполненному водным транспортом. Специфика работы предприятий внутреннего водного транспорта Республики Беларусь определяет положительную тенденцию в их изменении с 2002 года по настоящее время. Она объясняется следующими основными причинами:

– значительный износ флота и перегрузочной техники требует особого контроля за их техническим состоянием, что эффективно реализовано предприятиями внутреннего водного транспорта Республики Беларусь (пароходство, предприятия водных путей, Речной Регистр);

– малые гарантированные габариты судовых ходов требуют особого контроля за их состоянием, что эффективно реализуется предприятиями водных путей;

– преобладание в структуре перевозок строительных грузов, добываемых из русла реки (минимизация количества перегрузочных работ, низкая стоимость груза, отсутствие острой необходимости ускорения транспортных и перегрузочных операций, минимизация издержек по восстановлению технического состояния флота, низкие затраты на складскую инфраструктуру);

– использование для перевозок составов несамоходного флота (минимизация коммерческих убытков вследствие низкой стоимости восстановления баржевого подвижного состава, низкая стоимость восстановления флота, снижение интенсивности движения флота);

- низкая интенсивность судоходства по внутренним водным путям;
- малая протяженность грузового плеча.

Два последних фактора оказывают наибольшее объективное воздействие на показатели обеспечения безопасности судоходства. При этом только первые два фактора являются непосредственным результатом деятельности работников отрасли внутреннего водного транспорта.

Корреляция между размерами транспортной работы, интенсивностью использования подвижного состава, интенсивностью движения флота по водным транспортным путям, объемами перегрузочных работ в отрасли и аварийностью является прямой. Следовательно, при эффективной реализации долгосрочных мероприятий развития внутреннего водного транспорта страны, системы обеспечения безопасности судоходства и гарантированных габаритов водных путей, действующие в настоящее время, потребует кардинальных изменений нормативного, технического, технологического и организационного характера.

УДК 656.13

## **УПРАВЛЕНИЕ ДОСТУПОМ АВТОМОБИЛЕЙ К ПЕШЕХОДНЫМ ПРОСТРАНСТВАМ**

*С. Н. КАРАСЕВИЧ*

*ОАО «Научно-исследовательский институт автомобильного транспорта», г. Москва,  
Российская Федерация*

*А. А. САВИЧЕВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

На сегодняшний день методы управления доступом к уличным пространствам является достаточно эффективным средством повышения качества и безопасности дорожного движения (БДД) и сохранения высоких эксплуатационных показателей улично-дорожной сети (УДС) в городах. Ключевая задача управления доступом заключается в снижении негативного влияния неконтролируемого доступа автотранспортных средств к улично-дорожным пространствам.

С ростом уровня автомобилизации городов особенно актуальным становится применение методов ограничения доступа к территориям пешеходных пространств. В городах наиболее остро обозначилась проблема парковки автомобильного транспорта в городской черте. Вследствие недостатка парковочных благоустроенных пространств владельцы автомобилей зачастую паркуют свои транспортные средства на пешеходных переходах, газонах, детских площадках, тротуарах, вдоль проезжей части, тем самым не только создавая потенциально-опасные условия для других участников дорожного движения, но и нарушая благоустройство и эстетику города.

Многие пешеходные пространства существуют лишь физически, не выполняя своего основного предназначения. Так, нередко дворовые территории зон жилой капитальной застройки можно сравнить с большой автостоянкой. В таких условиях движение автомобилей затруднено, а пешеходам вход и выход из своего подъезда, зачастую, становится практически невозможным. Газоны, спортивные и детские игровые площадки превращаются в место парковки, не взирая на ограждения, бордюрные камни и т.д. В результате ухудшается экологическая обстановка и нарушается эстетический вид придомовой территории. Подобные обстоятельства возникают из-за отсутствия должного контроля за функциональным состоянием и развитием пешеходных пространств. Это снижает интерес населения к их использованию и заставляют искать другой способ передвижения или покидать пределы пешеходного пространства, что повышает риск возникновения ДТП. Фактическая ситуация, складывающаяся на территориях пешеходных пространств, требует принудительного ограничения доступа для автомобилей без ущерба для пешеходов, в особенности для их маломобильных категорий.

Методы управления доступом к пешеходным пространствам реализуются посредством физических мер, направленных на предотвращение случайного или намеренного проникновения автотранспортных средств на территорию пешеходных пространств, и относятся к средне- и долгосрочным методам успокоения движения, применяемым преимущественно на границах территорий пешеходных пространств с узлами, линейными участками УДС, с территориями парковочных пространств и др. При этом возможны различные проектные решения:



1 Применение различных малых архитектурных форм (Цветочницы, шары, призмы, пирамиды, полусферы, вазоны и другие малые формы применяют при достаточной ширине пешеходной части тротуара. Кроме ограничения доступа, архитектурные формы выполняют и эстетическую функцию. Этот аспект требует согласования вида и размеров форм для соответствия дизайну окружающей среды).

2 Ограничители и отбойники. Ограничители устанавливают в зону парковочного кармана или непосредственно на тротуаре. Одно из основных назначений ограничителя – предотвратить попадание свеса автомобиля в зону эффективной ширины тротуара (пешеходной части). Отбойники обладают большей удерживающей способностью и должны применяться при санкционированном размещении парковок на тротуаре.

3 Направляющие и ограждающие устройства. Пешеходные ограждения не только предотвращают выход пешеходов на проезжую часть, но и служат средством ограничения въезда на тротуар. Направляющие устройства могут устанавливаться по кромке тротуара, на проезжей части (вдоль бордюрного камня, по линиям разметки). Для обеспечения пассивной безопасности тротуаров и территорий остановочных пунктов применяют стержневую систему повышенной прочности и устойчивости.

4 Проходы. Их устанавливают в створе пешеходного перехода, тротуара, пешеходной дорожки и др. Кроме функции ограничения доступа, канализируют движения пешеходов и не забирают эффективное пешеходное пространство.

5 Высокий ступенчатый бордюр. Данный способ ограничения доступа следует считать одним из самых эффективных, с высокой степенью удерживающей способности.

6 Зеленая изгородь, насаждения. Зеленые насаждения оказываются достаточно эффективными средствами ограничения доступа. При размещении зеленых насаждений необходимо следить за сохранением эффективной ширины тротуара (пешеходной части). Выбирать следует категории зеленых насаждений, адаптированных к применению в городах.

Таким образом, широкое применение средств ограничения доступа освободит территории пешеходных пространств от автомобилей на УДС городов, обеспечит их привлекательность и устойчивое функционирование, снизит вероятность возникновения ДТП и экономические, экологические и социальные потери в дорожном движении. Вместе с тем, актуально ввести термины «доступ» и «управление доступом» в нормы градостроительного проектирования и функциональную классификацию городских улиц и дорог, в технические нормы проектирования городских улиц и дорог в Республике Беларусь. Является весьма насущной задача разработки методических руководств к действию и рекомендаций по эффективному внедрению в практику методов управления доступом автомобилей к улично-дорожным пространствам в целом.

УДК 656.225.073.436

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТРЕБОВАНИЙ К ПЕРЕВОЗКАМ ОПАСНЫХ ГРУЗОВ В ЕВРОСОЮЗЕ И СНГ**

*А. Н. КИШКУН*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Перевозка опасных грузов представляет собой значительную долю в общей массе перевозки грузов. По статистике, в странах Европы 50–60 % всех перевозимых грузов составляют опасные, в странах же СНГ – только около 15 % от общего объема перевозок. Однако данные цифры свидетельствуют не о низкой доле опасных грузов в грузообороте стран СНГ, а о различной трактовке понятия «опасный груз» в законодательствах этих стран. Очень часто в нашем государстве грузы, не относящиеся в соответствии с нашим законодательством к категории опасных, представляют собой потенциальную угрозу для безопасности жизни и здоровья населения, экологической обстановки, что повышает уже и без того существующий риск возникновения чрезвычайных ситуаций с тяжелыми последствиями на транспортных магистралях. Кроме того, значительное количество транспорта с опасными грузами постоянно находится в непосредственной близости от промышленных предприятий и жилых массивов, что также представляет

собой повышенную угрозу безопасности. Минимизация вышеуказанных рисков напрямую зависит от адекватного правового регулирования в данной области. Именно поэтому тема перевозки опасных грузов представляется актуальной, в особенности при их перевозке железнодорожным транспортом. Связано это с тем, что технические особенности железнодорожного транспорта, а также разветвленная система железнодорожных путей позволяют перевозить большой ассортимент опасных грузов и тем самым являются конкурентоспособными в отношении иных видов транспорта. Исследование зарубежного правового опыта в регулировании перевозки опасных грузов на примере Германии, государства, где железнодорожное сообщение развито в высшей степени, может быть полезным для совершенствования и создания более эффективного отечественного правового регулирования в данной области. Прежде всего необходимо изучить понятие "опасный груз". В законодательстве Беларуси понятие опасного груза при его перевозках закреплено Законом Республики Беларусь от 6 июня 2001 года "О перевозке опасных грузов". Кроме того, понятие "опасный груз" содержится в межгосударственном стандарте ГОСТ 19433–88 "Грузы опасные. Классификация и маркировка" (Постановление Госстандарта СССР от 19 августа 1988 г. № 2957).

В немецком законодательстве нет отдельного четкого понятия опасного груза (*das Gefahrgut*), закрепленного в Германском торговом уложении (*Deutsches Handelsgesetzbuch*). В "Понятиях" Рамочного положения о внутренней и международной перевозке опасных грузов автомобильным, железнодорожным транспортом и внутренними водами указывается, что опасные грузы – это вещества и предметы, запрещенные или разрешенные по предусмотренным условиям ADR/RID/ADN [Торговое уложение Германии (ГТУ)]. В ГТУ содержится только лишь общая статья, посвященная перевозке опасных грузов. Исходя из комментариев к ГТУ, следует сделать вывод, что опасным признается любой груз, который, основываясь на специфике перевозки, может рассматриваться как опасный.

В немецком законодательстве понятие «перевозка опасных грузов» является более комплексным, т. к. оно распространяется на три вида транспорта, а в Беларуси оно дается для каждого вида транспорта в отдельности.

Анализируя и другие положения законодательств стран Евросоюза и СНГ, можно сделать ряд выводов. В частности, они имеют схожую структуру в области регулирования перевозок опасных грузов и подзаконные акты. Однако несмотря на такое сходство, выделяется и ряд отличительных черт.

Совершенствование законодательства в области перевозок опасных грузов с учетом международного законодательства и практики позволит снизить вероятность чрезвычайных ситуаций на территории Республики Беларусь.

УДК 656.222.3

## **ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ДИНАМИКИ ТРАНСПОРТНОЙ НАГРУЗКИ НА БЕЗОПАСНОСТЬ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ ПОЕЗДОВ**

*В. Г. КОЗЛОВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В настоящее время план формирования поездов разрабатывается на основе расчетных вагонопотоков без учета их колебаний в течение периода его действия (года). Как правило, в качестве расчетных вагонопотоков принимается наиболее вероятное значение объемов перевозок, что на практике не соответствует фактическим размерам. Поэтому более 50 % времени в году работа отдельных железнодорожных направлений осуществляется не по оптимальному плану формированию. Даже незначительные колебания мощности корреспонденций изменяют условия выгоды выделения назначений и приводят к изменению оптимального плана формирования, что имеет особое значение в современных условиях динамически изменяемых объемов. При изменении плана формирования изменяется соответственно система распределения сортировочной работы между техническими станциями сети. Происходит перераспределение маневровой работы, что

непосредственно влияет на требуемую пропускную способность элементов инфраструктуры и безопасность транспортного комплекса.

Исследования влияния колебаний вагонопотоков на пропускную способность инфраструктуры железных дорог и использование локомотивов производились многими учеными-эксплуатационниками. На основании их исследований и практики организации вагонопотоков можно сделать вывод, что нельзя оперировать в эксплуатационных расчетах среднесуточными и среднемесячными плановыми и фактически исполненными вагонопотоками как неизменными, стабильными величинами. Во всех организационно-технических формах и схемах, разрабатываемых для рационального осуществления перевозочного процесса, должна обязательно быть учтена динамичность исходных данных, т. е. вагонопотоков.

Для оценки влияния изменения вагонопотоков на оптимальность плана формирования поездов были проанализированы исполненные корреспонденции вагонопотоков на инфраструктуре Белорусской железной дороги с 2010 по 2014 гг. За расчетные были приняты среднесуточные значения размеров вагонопотоков. Произведенный анализ показал, что чаще всего расчетные вагонопотоки резко отличаются от фактических. Отклонения в ту или другую сторону даже средних значений фактических вагонопотоков от расчетных составляют 30–40 %, а в отдельных случаях достигают 100 % и более. Также необходимо отметить, что для ряда корреспонденций (достаточно мощных) даже значительные колебания фактических вагонопотоков от расчетных не оказывают никакого влияния на план формирования поездов. Данное правило относится к расчетным вагонопотокам, для которых встречающиеся минимальные значения их мощности остаются достаточно большими и такими, что не оказывают влияние на оптимальность плана формирования. Выделение их в самостоятельные назначения во всех случаях (на протяжении всего периода действия плана формирования) остается рациональным.

Большинство вагонопотоков в течение года имеет колебания (значительные и незначительные), существенно влияющие на план формирования. Для оценки степени влияния этих колебаний на качество ПФ был произведен анализ вагонопотоков методами математической статистики. Осуществлена группировка данных и составлены таблицы частот появления соответствующих размеров корреспонденций в течение года. Обработка данных позволила установить, что характер распределения величин размеров корреспонденций вагонопотоков относительно их среднего значения (математического ожидания) в общем случае не подчиняется какому-либо закону распределения. Очень редко колебание характеризуется нормальным законом распределения. Чаще всего кривые распределения более сложны. Также на параметры вагонопотоков влияет значительное количество субъективных факторов, зависящих от принятых управленческих решений на всем множестве станций железнодорожной сети. Для задач плана формирования не обязательно иметь теоретическую кривую распределения и проводить исследование чисто аналитическим путем. Достаточно иметь статистические гистограммы интересующих нас вагонопотоков, которые можно исследовать графоаналитическим способом.

На основании выполненного исследования динамического характера размера вагонопотоков можно сделать вывод, что в течение года план формирования поездов должен корректироваться несколько раз (для разных направлений число корректировок может быть разным). Для расчетов и главным образом для прогнозирования вагонопотоков необходимо использовать современные информационные системы, которые позволяют в оперативном режиме моделировать транспортную нагрузку на инфраструктуру железной дороги. Указанные особенности показывают необходимость автоматизации системы организации вагонопотоков и процесса принятия управленческих решений.

Для повышения достоверности и точности данных о вагонопотоках (грузопотоках) необходима реализация в информационных системах железнодорожного транспорта современных методов прогнозирования. Одним из возможных решений предлагается расширить существующую автоматизированную систему «Динамическая карта» вагонопотоков и добавить математическую модель искусственной нейронной сети. После процесса обучения нейронной сети ретроспективными данными об исполненных вагонопотоках (грузопотоках) можно на ее основании производить прогнозирование плановых размеров корреспонденций вагонопотоков с учетом влияющих факторов, и таким образом повысить достоверность исходных данных и решения задач плана формирования, что непосредственно влияет на стабильность и безопасности транспортного комплекса.

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ ОТЦЕПОВ ПРИ ВЫПУСКЕ ИХ НА СВОБОДНЫЙ ПУТЬ

К. И. КОРНИЕНКО

*Сибирский государственный университет путей сообщения, г. Новосибирск, Российская Федерация*

Сортировочные горки являются одним из главных устройств для сортировки вагонов на железных дорогах Российской Федерации. Повышение перерабатывающей способности сортировочных горок приведет к уменьшению простоя грузов и времени на их доставку. При этом необходимо также повышать безопасность отпуска составов.

Большинство коммерческих браков возникают в сортировочном парке, когда отцепы соударяются друг с другом с повышенной скоростью. Одним из факторов, влияющих на скорость движения в сортировочном парке, является профиль парка [1]. При этом в парке в процессе эксплуатации могут возникать как слишком сильные уклоны [3], так и разного рода противоуклоны [4].

В том случае, если отцеп остановится на противоуклоне, то он может начать движение назад в сторону горба горки под действием силы тяжести и ветра [2]. Следовательно, точкой остановки отцепа необходимо считать такую точку, в которой скорость отцепа будет равна нулю и не будет выполняться условие трогания отцепа [6, 5].

На рисунках 1 и 2 представлен результат имитационного моделирования местоположения и скорости двух одиночных отцепов при выпуске их на свободный путь. Точкой прицеливания первого отцепа была выбрана точка 800 м. Точка прицеливания второго отцепа была выбрана с учетом возможной точки остановки первого отцепа, но без учета возможности откатывания отцепа назад. Второй отцеп выпускается на путь через 200 с после первого.

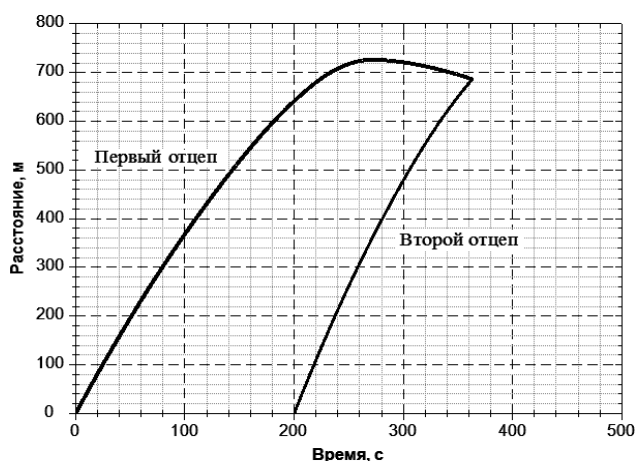


Рисунок 1 – Зависимость местоположения отцепов от времени

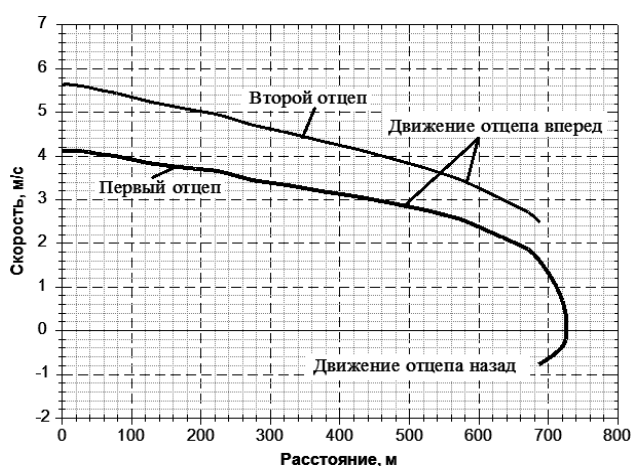


Рисунок 2 – Зависимость скорости отцепа от пройденного расстояния

По рисункам 1 и 2 можно сделать следующие выводы:

- первый отцеп докатился до точки 720 м. После этого из-за наличия на пути противоуклона отцеп остановился и начал движение назад;
- первый и второй отцепы соударились в точке 680 м. При этом их скорость соударения была более 3 м/с при допустимой скорости соударения не более 5 км/ч. Следовательно, скорость соударения была превышена более чем в 2 раза;
- при выпуске отцепа на сортировочный путь необходимо учитывать возможность движения отцепа назад после остановки. В том случае, если данная возможность не будет учитываться, это может привести к бою вагонов и даже к выходу отцепов на спускную часть навстречу движению.

### Список литературы

- 1 Исследование влияния профиля горки на скорость движения отцепов в сортировочном парке при попутном ветре / К.И. Корниенко [и др.] // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. – 2017. – № 1 (40). – С. 13–18.

2 **Корниенко, К.И.** Имитационная модель движения отцепа в сортировочном парке / К.И. Корниенко // 115 лет железнодорожному образованию в Забайкальском крае. – 2017. – С.31–36.

3 **Корниенко, К.И.** Исследование влияния профиля горки на скорость движения отцепа в сортировочном парке / К.И. Корниенко // сборник научных трудов Международной научно-технической конференции студентов и молодых ученых : в 4 ч. – 2017. – Ч.2. – С.44–47.

4 **Корниенко, К.И.** Исследование опасности образования противоуклонов в сортировочном парке / К.И. Корниенко // Транспортная инфраструктура сибирского региона. – 2017. – Т.1. – С.80–83.

5 **Корниенко, К.И.** Программа для имитационного моделирования скорости движения отцепа в сортировочном парке «СортПарк» / К.И. Корниенко // Свидетельство о регистрации электронного ресурса ОФЭРНиО № 22848 от 06.06.2017.

6 **Корниенко, К.И.** Программа для имитационного моделирования скорости движения отцепа в сортировочном парке «СортПарк» / К.И. Корниенко // Хроники объединенного фонда электронных ресурсов "Наука и образование". – 2017. – № 6(97). – С. 30.

УДК 656.22.05

## ОБ ОЦЕНКЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ НАГРУЗКИ ПОЕЗДНОГО ДИСПЕТЧЕРА

*В. Г. КУЗНЕЦОВ, Д. В. ЗАХАРОВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В настоящее время на Белорусской железной дороге осуществляется централизация и концентрация движения поездов и поэтапный перевод диспетчеров в Центр управления процессами перевозок (ЦУП). В связи с изменением специфики работы изменился характер диспетчерского труда, особенностью которого является изменения структуры информационных потоков, перераспределения потока информации между зрительными и слуховыми средствами восприятия информации, необходимость быстрой выработки решений, выдачи команд и проверки их выполнения.

При внеплановом изменении графика движения поездов, возникновении нестандартных экстремальных ситуаций значительно возрастают информационные нагрузки на диспетчера. Необходимость одновременного выполнения нескольких операций требует от диспетчера напряжения зрительного и слухового анализаторов, значительной концентрации внимания, использования оперативной и долговременной памяти.

Автоматизация функций и информационного обеспечения диспетчерского центра привела к изменению информационных потоков, форм представления данных, эмоциональных и психофизических нагрузок на диспетчера. В процессе исследования управленческой деятельности установлены наиболее влиятельные факторы, которые вызывают значительные изменения загрузки диспетчера: динамически изменяемый объем перерабатываемой информации, значительные зрительная и слуховая нагрузка, напряженность в определенные периоды времени. Поэтому актуальной задачей для повышения качества диспетчерского управления являются оценка информационной загрузки, расчет количества и определения качества информации, поступающей и перерабатываемой диспетчером в зависимости от характера выполняемых операций за рабочий период времени.

Существует методика, которая позволяет аналитически определить количество информации, перерабатываемой диспетчером с использованием теории информации, систем управления, статистики и иных теоретических основ.

Оценка информации, поступающая к поезвному диспетчеру, с точки зрения содержательного характера информации базируется на трех основных теориях, рассматривающих информацию с разных сторон: статистической, семантической и структурной. С помощью статистической меры информации связывается вероятность появления каждого информационного сообщения о событии и количество информации в операциях диспетчерского управления. Семантическая теория применяется для расчета количества информации, циркулирующей в системе диспетчерского управления, и дает возможность учесть такое свойство информационного обеспечения оперативного руководства эксплуатационной работой, как ценность представляемой информации. С помощью структурной меры в системе диспетчерского управления можно определить объемы потоков информации, циркулирующие между работниками оперативного персонала.

Однако методика не учитывает неравномерность информационной загрузки диспетчера в различные периоды времени, риски возникновения нестандартных ситуаций различной сложности и с высокой энтропией процессов. Поэтому предлагается количественную оценку информации, перерабатываемой диспетчером, производить с использованием имитационного моделирования.

С целью получения достоверных результатов определения информационной загрузки поездного диспетчера целесообразно иметь модель с достаточно высокой степенью детализации, в которой отражается динамика состояний технологических элементов. При этом необходимо учитывать: размеры движения поездов; неравномерность движения поездов по участку; скорости движения поездов; время стоянок на станциях; возможные задержки при движении поездов; поступление поездов с других участков; технологию работы станций по приему и отправлению поездов и ряд других.

Применение предлагаемой методики для расчета количества информации, перерабатываемой диспетчером, позволит в зависимости от характера выполняемых операций с каждым поездом определить информационную нагрузку диспетчера, т. е. вычислить количество информации, поступающей к диспетчеру в зависимости от характера выполняемых операций за рассматриваемый промежуток времени, определить и прогнозировать его информационную нагрузку, разработать мероприятия по улучшению условий труда.

УДК 656.2.08

## **РАЗВИТИЕ СИСТЕМЫ ГОСУДАРСТВЕННОГО КОНТРОЛЯ БЕЗОПАСНОСТИ ТРАНСПОРТНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ**

*Ю. И. КУЛАЖЕНКО, А. А. ЕРОФЕЕВ, В. Г. КУЗНЕЦОВ*  
*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Активная интеграция железнодорожного транспорта Республики Беларусь в евроазиатское транспортное пространство требует развития соответствующих основ государственного управления безопасностью транспортных процессов. Обеспечение безопасности затрагивает деятельность множества участников перевозочного процесса, которые взаимодействуют на железнодорожном транспорте общего пользования Республики Беларусь.

Участники перевозочного процесса как субъекты транспортной деятельности обязаны иметь разрешения (лицензии) и сертификаты соответствия и (или) декларации о соответствии объектов транспортной деятельности, выполнять транспортные работы и услуги в соответствии с требованиями технических нормативных правовых актов (ТНПА), в том числе требований безопасности транспортной деятельности.

Обеспечение безопасности транспортной деятельности следует рассматривать как организованную систему мер регулирования, управления и контроля, предпринимаемых органами государственной власти, участниками перевозочного процесса и направленных на предотвращение транспортных происшествий и снижение риска причинения вреда жизни или здоровью граждан, вреда окружающей среде, имуществу физических или юридических лиц.

Целью развития системы безопасности является совершенствование контроля безопасности транспортной деятельности в области железнодорожного транспорта, обеспечивающее безопасное и устойчивое функционирование железнодорожной транспортной системы в целом и всех участников перевозочного процесса в частности.

Основой системы контроля безопасности транспортной деятельности в области железнодорожного транспорта является **двухуровневое взаимодействие** орган государственного контроля и орган контроля участников перевозочного процесса.

Государственный орган контроля создается в рамках Министерства транспорта и коммуникаций (МТК) Республики Беларусь. Он должен обеспечивать систематический контроль и аудит системы управления безопасностью (СУБ) участников перевозочного процесса. Основные функции государственного органа контроля безопасности транспортной деятельности в области железнодорожного транспорта:

- контроль за соблюдением участниками перевозочного процесса требований безопасности движения и эксплуатации железнодорожного транспорта, в соответствии с СУБ и требованиями НПА Республики Беларусь, в том числе международных договоров Республики Беларусь;
- контроль за состоянием безопасности транспортной деятельности участников перевозочного процесса в соответствии с требованиями ТНПА;
- участие в расследовании нарушений безопасности транспортной деятельности участников перевозочного процесса в соответствии с требованиями нормативных актов в области предупреждения и ликвидации чрезвычайных и иных ситуаций;
- лицензирование перевозочной и другой деятельности на железнодорожном транспорте в соответствии с компетенциями, возлагаемыми на государственный орган;
- организация и (или) участие в разработке ТНПА в области безопасности.

Контроль за организацией безопасности движения и эксплуатации на железнодорожном транспорте может осуществляться путем проведения плановых и внеплановых проверок, системного мониторинга отказов и состояния объектов участников перевозочного процесса.

Участники перевозочного процесса обеспечивают безопасность путем осуществления комплекса организационных и технических мер, которые должны соответствовать требованиям программ развития транспортного комплекса и НПА Республики Беларусь. Для обеспечения безопасности участники перевозочного процесса должны разработать и внедрить **систему управления безопасностью** перевозочного процесса (СУБ). Область действия СУБ охватывает управленческие и производственные процессы (рисунок 1). СУБ безопасностью создается самими участниками в соответствии с требованиями органа государственного контроля и регламентируется внутренними документами. Соответствие СУБ требованиям по безопасности определяется путем регулярного систематического контроля со стороны государственного органа.

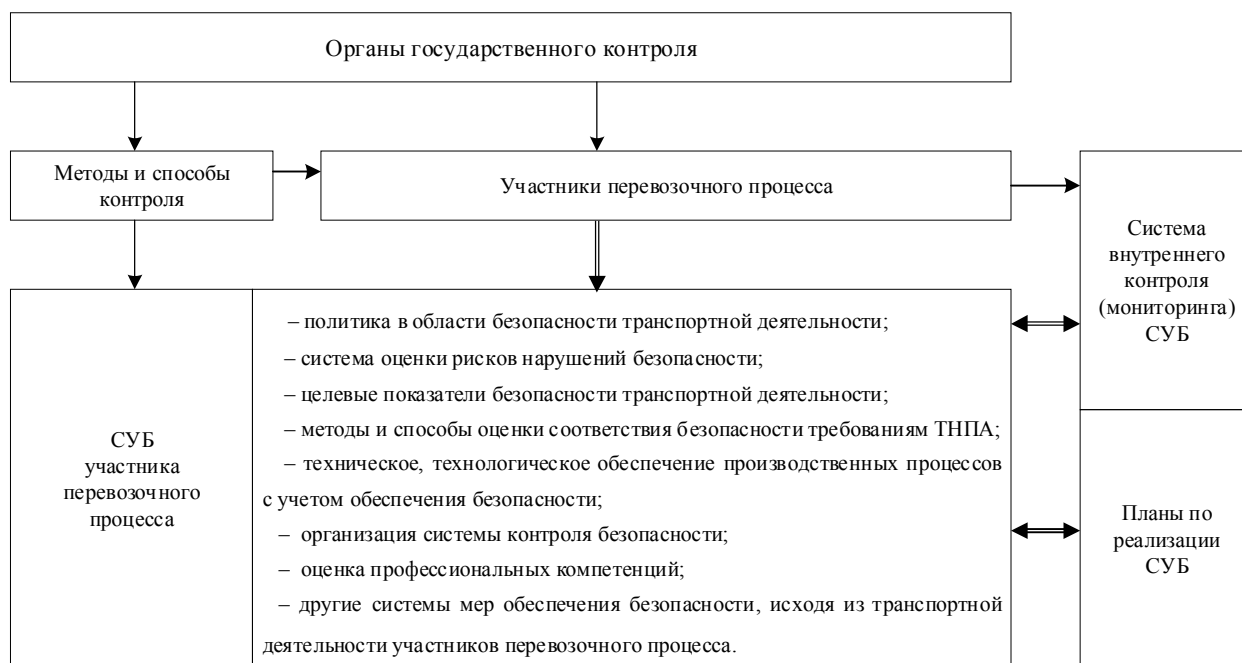


Рисунок 1 – СУБ перевозочного процесса

**Совершенствование системы контроля безопасности транспортной деятельности в области железнодорожного транспорта** предполагает реализацию следующих мероприятий:

- развитие нормативно-правовой среды, касающейся обеспечения контроля безопасности транспортной деятельности, и гармонизация требований государственного контроля к СУБ;
- разработку нормативных документов, регламентирующих структуру, состав, функции и задачи государственного органа контроля безопасности транспортной деятельности;
- формирование государственного органа контроля безопасности транспортной деятельности в области железнодорожного транспорта и определение его уровня ответственности;
- разработку нормативных документов (внесение изменений), регламентирующих систему управления безопасностью участников перевозочного процесса.

## **ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ЛОГИСТИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ГРУЗОПЕРЕВОЗОК В СИСТЕМЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ**

*О. В. ЛИПАТОВА, С. А. МАСЛЮКОВА, Ю. А. ШИНКОРЕНКО  
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Современная отечественная и мировая практика свидетельствуют о возрастающей роли логистического обслуживания для увеличения конкурентоспособности субъектов хозяйствования в борьбе за рынки сбыта, повышение объемов продаж товаров, постоянства клиентуры и пр. В условиях экономической нестабильности перед транспортным комплексом Беларуси ставится цель выйти на новый уровень логистического обслуживания по качеству и ценам, который бы выдерживал конкуренцию и позволял привлечь больше грузов. Повышение качества логистического обслуживания является обязательным условием привлечения большего числа клиентов с целью реализации дополнительных объемов перевозок и, следовательно, увеличения доходов и повышения экономической безопасности предприятий на рынке транспортных услуг.

Рынок чутко реагирует на качество обслуживания, которое существенно влияет на конкурентоспособность фирм, поэтому следует учитывать важные закономерности между спросом на товар и сервисом: хорошее обслуживание расширяет спрос на товар, причем именно в той фирме, которая предоставляет это обслуживание. Различают два основных способа развития бизнеса: привлечение новых клиентов и удержание уже имеющихся. В условиях высокой конкуренции привлекать новых клиентов становится труднее. Исследования показывают, что каждый «удержанный» клиент обходится дешевле, чем привлечение нового. Сохранение постоянных клиентов возможно лишь в том случае, если уровень их обслуживания постоянно повышается.

Ключевыми понятиями, конкретизирующими цели участников транспортного процесса, являются эффективность, качество и надежность. Эти понятия часто употребляются самостоятельно. Однако между ними существует однозначная связь: качество является компонентом системы оценки эффективности, а надежность – компонентом системы оценки качества. Оценка эффективности всегда субъективна и зависит от того, в чьих интересах и с точки зрения какого участника доставки она производится. Субъективность категории эффективности обосновывается тем, что каждый из участников доставки имеет свои собственные цели. Среди них одной из наиболее важных является цель обеспечения собственной устойчивости в конкурентной экономической среде.

Эффективность доставки товара может быть оценена следующими показателями:

– для потребителя транспортной услуги – объем реализации доставленного товара в денежном и натуральном измерении; затраты на доставку, включая ущерб от потерь товара при перевозке; доля затрат на доставку товара в объеме продаж;

– для перевозчика – величина дохода, выручка от оказания транспортных услуг; затраты на оказание транспортных услуг, включая санкции за недостачу или повреждение товара, просрочку в доставке и другие случаи невыполнения перевозчиком своих обязательств; финансовый результат от оказания транспортных услуг; рентабельность перевозок.

При этом неотъемлемым компонентом системы оценки эффективности доставки товара является не только определение степени ее экономичности, но и оценка качества транспортной услуги.

Потребитель при выборе поставщика принимает во внимание возможности последнего в области логистического сервиса, т. е. чем более конкурентоспособен поставщик, тем больше у него шансов, что клиент выберет именно его. Поскольку покупателя транспортных услуг интересует качество конечной услуги, необходимо развивать, совершенствовать и стандартизировать систему показателей качества транспортного обслуживания грузовладельцев и систему оценки эффективности их повышения. Все это осуществимо лишь при четко организованной системе управления качеством на предприятиях транспорта, направленной на интересы потребителей, охватывающей все подразделения предприятий и приемлемой для всего персонала.

Проведенные маркетинговые обследования на железнодорожном транспорте показали, что вопреки установившемуся мнению многие грузовладельцы на первое место по значению ставят не уровень тарифов, а качество обслуживания, т.е. сроки и скорость доставки грузов, их сохранность,



безопасность, комплексность и другие показатели. Управление качеством транспортного обслуживания представляет собой целенаправленное воздействие на качество обслуживания грузопотоков для достижения требуемого уровня. При этом качество транспортного обслуживания как категория может быть представлена как совокупность свойств перевозочного процесса и системы перевозок, обуславливающих соответствие их нормативным требованиям и системе показателей, совокупность которых позволит через призму технических параметров дать экономическую оценку качества и конкурентоспособности.

Показатели качества технических средств характеризуют ее способность выполнять заданный объем работ при сохранении технических параметров, показатели качества эксплуатационной работы – качество использования технических средств железнодорожного транспорта и опосредованно отражают интересы грузовладельцев. В то же время показатели качества транспортного обслуживания напрямую отражают заинтересованность клиентов в их выполнении и повышении.

Учитывая, что в настоящее время на многих транспортных предприятиях наблюдается недостаточный уровень обслуживания грузов на всех его этапах от погрузки до выгрузки, т.е. не соблюдается выполнение принципа «качество, эффективность, надежность», а как следствие – невысокие показатели транспортного обслуживания (сохранность перевозок, уровень соблюдения сроков доставки грузов, удовлетворение спроса на транспортные услуги), целесообразно особое внимание уделить динамике представленных показателей и оценке их совокупного влияния на эффективность хозяйствования транспортных компаний.

УДК 656.2.003

## **ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОСНОВНЫХ СРЕДСТВ В СИСТЕМЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ**

*О. В. ЛИПАТОВА, С. Л. ШАТРОВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

*Е. А. КИРЕНЯ*

*Управление Белорусской железной дороги, г. Минск*

Для осуществления перевозок грузов и пассажиров железнодорожный транспорт должен обладать совокупностью средств производства, необходимых для выполнения перевозочного процесса, погрузо-разгрузочных работ, ремонта и содержания средств труда, рационально их использовать и своевременно пополнять и заменять.

В решении задачи повышения эффективности использования основных средств важную роль играет экономическая оценка результатов этого процесса, которая должна базироваться на системе обобщающих и частных показателей. Обобщающие показатели экономической эффективности определяются по основным средствам в целом и не учитывают их специфику и условия функционирования. В их системе с целью минимизации показателей, позволяющей комплексно оценить эффективность использования основных средств, целесообразно рассчитывать и оценивать следующие:

– фондоотдачу в натуральном и стоимостном выражении в целом по всем основным средствам и по их активной части. С помощью показателя фондоотдачи сопоставляют темпы роста всего объема функционирующих основных средств с темпами роста объема производства. Если темпы роста последнего опережают динамику основных средств, считается, что эффективность их использования увеличилась, если наоборот – снизилась;

– относительную экономию (перерасход) основных средств, рассчитываемую по активной их части. Отрицательное значение показателя свидетельствует об относительной экономии основных средств предприятия, т.е. имеет место тот факт, что больший объем работы предприятие выполнило условно меньшим количеством активной части основных средств, и наоборот. Следовательно, использование основных средств признается эффективным, если относительный прирост объема производства в натуральном выражении превышает относительный прирост стоимости активной части основных средств за анализируемый период;

– амортизационность, которая свидетельствует о величине амортизационных отчислений, приходящейся на рубль выручки от реализации. Положительным считается снижение показателя, которое свидетельствует о том, что эффективность использования основных средств проявляется в превышении величины получаемой выручки суммы амортизационных отчислений, включаемых в себестоимость продукции (работ, услуг);

– фондовооруженность, которая позволяет оценить эффективность использования основных средств только на основании сопоставления темпов роста его изменения с темпами роста производительности труда работников. Если темпы прироста производительности труда опережают темпы прироста фондовооруженности, то будет наблюдаться ускорение темпов НТП, т. е. величина отдачи основных средств (выработка) на одного работника выше, чем величина прироста их стоимости на одного работника.

Система частных показателей должна учитывать особенности отдельных групп основных средств и специфику их функционирования. Так, например, в системе показателей использования локомотивов для целей их экономического анализа выделяют: среднесуточную производительность локомотива, характеризующую эффективность использования локомотива в эксплуатации; среднесуточную фондоотдачу локомотива, отражающую величину доходов от перевозок, приходящуюся в среднем на один локомотив эксплуатируемого парка локомотивов; доходность локомотива-часа, позволяющую оценить величину доходов от перевозок, приходящуюся на затрату времени эксплуатируемого парка локомотивов; доходность тонно-километра брутто, характеризующую динамику доходных поступлений относительно выполненной тонно-километровой работы; коэффициент соотношения темпов роста доходов от перевозок и величины амортизационных отчислений по локомотивам; коэффициент соотношения темпов роста доходов от перевозок и величины затрат по содержанию и текущему ремонту локомотивов.

В системе показателей использования автотранспорта целесообразно рассчитывать: коэффициент технической готовности парка, коэффициент выпуска автомобилей на линию, коэффициент использования пробега, среднесуточную производительность грузового автомобиля, доходность автомобиле-часа, доходность одного тонно-километра, коэффициент соотношения темпов роста доходов от перевозок и величины амортизационных отчислений по автотранспортным средствам и коэффициент соотношения темпов роста доходов от перевозок и величины затрат по содержанию и ремонту автотранспортных средств.

Для оценки эффективности использования оборудования целесообразно рассчитывать следующие показатели: коэффициент использования парка установленного оборудования; коэффициент экстенсивной загрузки (коэффициент планового фонда времени); удельный вес простоев в отработанном времени и удельный вес внеплановых простоев в отработанном времени; коэффициент интенсивной загрузки; коэффициент интегральной загрузки; затраты по содержанию и текущему ремонту оборудования на 1 машино-час.

В заключение следует отметить, что аналогичным образом разрабатывается и оценивается система показателей эффективности использования и по другим группам основных средств. При этом основными критериями выбора показателей являются: возможности существующей информационной базы, простота расчета и применимость показателей, устранение дублирования полученных выводов и минимизация системы показателей, позволяющей комплексно оценить экономическую эффективность использования основных средств, с учетом особенностей их технической эксплуатации.

УДК 658.53: 656.2

## **ОРГАНИЗАЦИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО НОРМИРОВАНИЯ РАБОТЫ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ В СОВРЕМЕННЫХ ЭКОНОМИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ**

*О. Н. ЛИСОГУРСКИЙ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Разработка технических норм эксплуатационной работы является составной частью системы планирования на железнодорожном транспорте. Техническое планирование, в классическом понимании, построено на расчете плановых норм для всего парка вагонов, без его детализации по принадлежно-

сти и собственности. Однако доля собственных вагонов уже достаточно велика и составляет от 30 до 70 % по различным родам подвижного состава. Изменения в законодательной базе, позволяющие грузоотправителю выбирать маршрут следования вагона (не всегда по кратчайшему расстоянию), принадлежность вагонов администрациям-собственникам требует пересмотра алгоритмов расчета показателей, и в первую очередь – для порожних вагонов. Главное изменение в перевозочном процессе – это появление в цепи перевозок новых участников и перераспределение обязанностей по перевозке. Таким образом, в логистической цепи перевозки наблюдается переход от отношений грузоотправитель – железная дорога – грузополучатель к отношениям грузоотправитель – оператор подвижного состава – оператор инфраструктуры железной дороги – грузополучатель. Причем оператор подвижного состава берет на себя все задачи по взаимодействию с грузоотправителем и получателем, а оператор инфраструктуры должен предоставить услуги по использованию инфраструктуры железной дороги. На транспортном рынке наблюдается процесс разделения услуг по использованию подвижного состава и услуг инфраструктуры. Таким образом, изменяется роль технического плана работы железной дороги: он является гарантом обеспечения перевозочного процесса и регулирования отношений участников перевозки на месячный период.

Технический план работы как нормативный документ предлагается разделить на два раздела: технический план работы оператора подвижного состава (далее – Техплан перевозчика) и технический план работы оператора инфраструктуры железной дороги (далее – Техплан оператора инфраструктуры).

Оператор подвижного состава при предоставлении услуг по доступу к инфраструктуре будет осуществлять перевозки по определенным маршрутам следования как груженых, так и порожних вагонопотоков (в соответствии с заключаемыми договорами на доступ к инфраструктуре), поэтому по каждому маршруту следования необходимо установить среднесуточные значения следующих технических плановых норм:

- 1) для станций погрузки и выгрузки – погрузка и выгрузка, время простоя вагона на станции;
- 2) станций формирования-расформирования поездопотока – число формируемых и расформировываемых поездов и вагонов, вес и длина поезда, время простоя на станции;
- 3) транзитных станций – число пропущенных поездов и вагонов, время простоя;
- 4) стыковых станций – число принятых или сданных поездов и вагонов;
- 5) участков – число проследовавших поездов, скорость и время следования по участку.

Для отдельных маршрутов следования могут задаваться и другие плановые технические нормы. Расчет технических плановых норм производится с детализацией, требуемой оператором инфраструктуры.

На основании технических плановых норм по маршрутам следования рассчитывается Техплан перевозчика по объектам инфраструктуры оператора (станциям, участкам, отделениям, районам управления и др.), который состоит из трех разделов:

- 1) плановые показатели эксплуатационной работы на сети оператора инфраструктуры;
- 2) плановые показатели эксплуатационной работы на маршруте (-ах) следования вагонопотока;
- 3) плановые показатели эксплуатационной работы на станциях инфраструктуры.

Планирование показателей использования инфраструктуры железной дороги предназначено для проверки возможности выполнения плановых показателей всех перевозчиков по использованию пропускных и провозных способностей элементов инфраструктуры. Техплан оператора инфраструктуры будет включать следующие разделы: плановые нормы показателей работы станций; плановые нормы показателей работы участков; плановые нормы показателей работы отделений (районов управления); плановые нормы показателей работы и использования инфраструктуры в целом. Очевидно, что основными элементами инфраструктуры будут являться железнодорожные станции и участки.

По всем станциям в зависимости от выполняемых операций рассчитываются следующие группы показателей: плановые нормы выполнения местной работы; нормы выполнения транзитной работы. Для оценки использования инфраструктуры и расчета ее резервов определяются: коэффициент загрузки горки; коэффициент загрузки путей, занятых накоплением составов; производительность маневровых локомотивов.

Плановые нормы работы участков содержат следующие основные показатели: количество проследовавших по участку поездов и вагонов; средний вес поезда; погрузка и выгрузка на станциях участка, число сборных и вывозных поездов; перевезено и грузооборот; участковая и техническая скорость; потребная пропускная способность и коэффициент использования пропускной способности.

Предложенная детализация технического плана позволит обеспечить заданный уровень качества перевозочного процесса, связать между собой план формирования поездов (маршруты следования), график движения и технологию работы станций, а нормирование показателей пропускной способности станций и участков позволит оценить степень использования объектов инфраструктуры и перераспределять нагрузку на эти объекты.

УДК 656.212.5

## **АДАПТИВНЫЕ СИСТЕМЫ В УПРАВЛЕНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ СОРТИРОВОЧНЫХ СТАНЦИЙ**

*В. Я. НЕГРЕЙ, В. В. БУРЧЕНКОВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Современный уровень требований к сортировочным системам ставят новые задачи для повышения эффективности их работы. Поэтому актуально создание единой интегрированной системы автоматизированного управления для сортировочных станций Белорусской железной дороги, обеспечивающей безопасное и эффективное управление на основе данных, поступающих от станционных устройств автоматики в реальном времени.

На многих сортировочных станциях внедрены различные устройства и системы автоматизации и централизации контроля и управления, например, комплексная система автоматического управления сортировочным процессом (КСАУ СП), горочная автоматическая локомотивная сигнализация с использованием радиосвязи (ГАЛС Р), горочная микропроцессорная централизация (ГМЦ-ГТСС), маневровая автоматическая локомотивная централизация (МАЛС), автоматическая система коммерческого осмотра поездов и вагонов (АСКО ПВ), устройства контроля заполнения путей (КЗП), автоматизированная система контроля инвентарных номеров вагонов (АСКИН), система контроля дислокации, анализа работы и регулирования вагонным парком (ДИСПАРК) и контейнерным парком (ДИСКОН), а также ряд других систем контроля и диагностики. Однако к значительному росту безопасности и эффективности железнодорожных перевозок это не привело из-за концентрации усилий большинства разработчиков на создании узкофункциональных систем управления, не интегрированных со смежными устройствами, особенно относящимися к другому хозяйству. Как правило, новые системы управления не меняли сложившуюся технологию работы станции и не расширяли существующую зону автоматизации, ограничиваясь совершенствованием технических средств. При этом ни одна из указанных систем не формирует полноценную адекватную вагонную и поездную модель сортировочного процесса в реальном масштабе времени. Это связано с тем, что они слабо взаимодействуют между собой, не обеспечивают комплексного подхода к перевозочному процессу в целом и тем самым препятствуют дальнейшему росту производительности труда. Очевидно, что эффективная реализация концепции взаимоувязки систем в единый поточный комплекс переработки вагонов зависит от возможности использования идентификаторов вагонов, в качестве которых применимы инвентарные номера подвижного состава.

Существенной etapом совершенствования принципов управления и контроля промышленными предприятиями и производствами является применение перспективной технологии Интернета вещей (Internet of Things – IoT). Указанная технология предполагает объединение нескольких ЭВМ, управляющих и контролирующих некоторый замкнутый производственный процесс, для полной автоматизации этого процесса и выдачи информации о показателях качества процесса. Особенностью этой технологии является способность ЭВМ «общаться» между собой для повышения надежности управления промышленным процессом или его оптимизации без непосредственного участия операторов и представления информации в режиме online, а также удобных сервисов и справочных приложений.

Концептуальная схема IoT для автоматизированной системы управления сортировочной станции (АСУ СС) предполагает организацию самооптимизируемых компьютерных рабочих станций (work station), отдельно решающих определенные задачи и взаимоувязанных между собой для принятия наиболее рациональных решений с учетом всех влияющих факторов. Проект IoT предусматривает последовательную реализацию технологически и информационно увязанных комплексов,

обеспечивающих перевозочный процесс, начиная от плана расформирования и формирования поездов до контроля его исполнения. Использование данной технологии на сортировочных станциях подразумевает непрерывную работу ЭВМ с пакетами данных, передаваемых в локальной вычислительной сети (ЛВС) сортировочного комплекса для реализации перевозочного процесса. Для предоставления адекватного эффекта необходимо в режиме реального времени получать информацию о местонахождении и состоянии каждого вагона и локомотива. Здесь и вступают в действие технологии IoT: детерминированные данные от многочисленных датчиков о каждом конкретном вагоне и локомотиве собираются в единую базу для последующего анализа и работы с ними. Актуально применение дублирующих источников информации для повышения достоверности (использование так называемых «нейронных» сетей).

Типовой подход к организации единого обмена данными предполагает не ограничивать передачу информации между тремя ЭВМ сортировочной станции. Это должно быть сочетание предварительно обработанных результатов измерений и рекомендуемого алгоритма их использования, включающего в том числе и эксплуатацию диалоговых средств контроля при ручном вмешательстве операторов при возникновении нештатных ситуаций. В результате пользователи банка данных всегда смогут адекватно интерпретировать и корректировать полученную информацию в соответствии с особенностями будущих систем контроля, внедряемых в сортировочный процесс, не создавая при этом новых интерфейсов или специфических форматов данных. Технология IoT позволяет эффективно решать эту задачу. Разнообразие возможностей интерпретации данных расширяет перечень реализуемых услуг и будет стимулировать развитие процесса интеграции измерительных и управляющих систем сортировочного комплекса с минимизацией ручного управления.

УДК 656.212.5

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

*В. Я. НЕГРЕЙ, С. А. ПОЖИДАЕВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В настоящее время на Белорусской железной дороге эксплуатируется 27 сортировочных горок разной мощности. Из них 4 – автоматизированных, 7 – механизированных и частично механизированных и 16 – немеханизированных малой мощности. Как видно, значительная часть сортировочных горок на станциях Белорусской железной дороги является немеханизированными горками малой мощности, на каждой из которых перерабатывается в среднем в сутки порядка 400–1400 вагонов. В процессе эксплуатации этим горкам присущи ряд проблемных вопросов, основными из которых являются повреждение колесных пар вагонов, высокие эксплуатационные расходы на переработку вагонопотоков при низком уровне перерабатывающей способности и нарушения безопасности движения. Так, в 2015 году в среднем ежесуточно заменялось около 60 колесных пар вагонов, переработанных на немеханизированных сортировочных горках. Годовые расходы только на их ремонт составили около 1,5 млн BYN. В настоящее время положение продолжает ухудшаться.

Для предотвращения негативного развития ситуации с обеспечением сохранности подвижного состава и перевозимых грузов, безопасности перевозочного процесса принимаются организационные и технические меры. Так, в последнее время механизирована и автоматизирована сортировочная горка станции Калинковичи. Следует отметить, что инвестиции в усиление технического оснащения сортировочных устройств сильно зависят от уровня их переработки вагонопотоков и могут быть эффективными, как правило, при среднесуточной переработке около 1000 вагонов. Однако из перечисленных выше станций с немеханизированными горочными комплексами на 10 из них среднесуточная переработка составляет порядка 400–600 вагонов. Для обеспечения сохранности перерабатываемого на таких горках подвижного состава приказом № 117НЗ от 26.01.2017 г. утверждена Программа развития немеханизированных сортировочных горок на 14 станциях Белорусской железной дороги в течение 2017-2018 гг. Научное обоснование проектных работ обеспечивают в т. ч. специалисты БелГУТа.

Так, в ходе выполненного обследования конструкции и технического оснащения семи немеханизированных сортировочных горок станций Гродно, Волковыск, Лида, Лунинец, Кричев, Осиповичи и Слуцк установлены схожие проблемы эксплуатации и технического состояния этих устройств. На таких станциях применяется роспуск с остановкой по готовности маршрута, длинные и тяжелые отцепы, как правило, осаживаются горочными локомотивами, запрещено автоматическое сцепление вагонов в пределах закрестовинных кривых за последними стрелочными переводами горочных горловин и в S-образных кривых. Недостаточно мощности немеханизированных тормозных позиций, как правило, только парковых. Тормозные позиции на спускной части горок размещены так, что скорости входа на тормозные башмаки, укладываемые на этих позициях, превышают допустимую (4,5 м/с). Высота горки, как правило, завышена, однако на отдельных станциях высоты сортировочных горок недостаточно (Гродно, Лида, Кричев). Значительные отклонения параметров продольных профилей надвижной, перевальной и спускной частей горок, сортировочных и вытяжных путей от нормативных требований, приведение к которым иногда и не представляется возможным из-за значительных расходов на переустройство и особенностей конструкции горловин, связанных с необходимостью отправления сформированных поездов непосредственно с путей сортировочно-отправочных парков. При этом одна из главных задач, решаемых в исследовании, – приведение параметров конструкции и технического оснащения обследуемых горок к нормативным требованиям и безопасным параметрам их эксплуатации с минимальными капитальными вложениями. Эта задача решается с учетом опыта, полученного при переустройстве сортировочной горки станции Жлобин, выполненного осенью 2016 г., в ходе которого высота горки понижена на 0,7 м. Так, большинство рекомендуемых параметров устанавливается на основе моделирования режимов работы горок существующей и индивидуальной проектной конструкций с использованием сплайновых методов анализа и автоматизированного проектирования. Высота горки изменяется до величины, обеспечивающей по результатам моделирования докатывание порожнего отцепа до расчетной точки «трудного» пути, или, по крайней мере, до его парковой тормозной позиции. На горках с одной парковой тормозной позицией рекомендована укладка тормозной позиции на спускной части, при этом расположение всех тормозных позиций установлено в соответствии с результатами моделирования по условию обеспечения допустимой скорости входа на них тяжелых отцепов, выполнена проверка возможности разделения отцепов на разделительных элементах горловин и реализации установленной скорости роспуска и перерабатывающей способности. Параметры элементов профиля выбираются в соответствии с нормативными требованиями, правилами и рекомендациями ВСН-207, но обеспечивают минимум земляных работ. Переустройство затрагивает, как правило, только надвижную часть при изменении высоты горки (от стрелочного перевода примыкания горочного обходного пути), перевальную часть и спускную часть до стрелочного перевода на отправление поездов из парка.

В настоящее время проектно-сметными отделами и группами отделений ведется разработка проектно-сметной документации в соответствии с полученными в ходе исследования рекомендациями (станции Волковыск, Осиповичи и др.). Реализация этих научно обоснованных рекомендаций и решений позволит обеспечить сохранность перерабатываемого на немеханизированных горках подвижного состава, безопасность движения и значительное сокращение эксплуатационных расходов при потребном уровне перерабатывающей способности с учетом необходимого уровня ее резерва.

УДК 656.222.3

## **ОПТИМИЗАЦИЯ ПЛАНА ФОРМИРОВАНИЯ ОДНОГРУППНЫХ ПОЕЗДОВ**

*В. Я. НЕГРЕЙ, К. М. ШКУРИН*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

На протяжении всей истории развития железнодорожного транспорта одной из важнейших задач, стоящих перед железнодорожниками, было сокращение эксплуатационных расходов путем повышения эффективности использования транспортной инфраструктуры и подвижного состава. Совершенствование плана формирования поездов является направлением решения данной задачи, способным за счет правильного распределения сортировочной работы между станциями обеспечить

достижение значительных результатов при минимальных капитальных вложениях: ускорение оборота вагонов и сокращение времени их нахождения на технических станциях, повышение производительности локомотивов и грузовых вагонов.

Основные методы расчета оптимального плана формирования поездов, принципы которых применяются для решения данной задачи и в настоящее время, были разработаны еще в 40–60-е годы XX века: метод абсолютного расчета проф. А. П. Петрова, метод совмещенных аналитических сопоставлений проф. К. А. Бернгарда, метод направленного перебора вариантов канд. техн. наук А. И. Попова и некоторые другие. Общей чертой этих методов является использование критерия минимизации вагоно-часов, затрачиваемых на накопление и переработку вагонов, в качестве критерия оценки целесообразности установления назначений грузовых поездов. В то же время при использовании исключительно вышеуказанного критерия не учитываются расходы, связанные с нахождением вагонов и локомотивов в движении, которые составляют значительную часть эксплуатационных затрат. Так, в соответствии с действующими в настоящее время на Белорусской железной дороге Методическими рекомендациями по расчету экономических параметров, позволяющих оценить эксплуатационные расходы по технологическим операциям услуг железнодорожного транспорта общего пользования, стоимость 1 часа движения локомотива в тепловозной тяге эквивалентна стоимости 375 вагоно-часов, в электровозной – 336 вагоно-часов.

Результаты исследования, выполненного на Белорусской железной дороге в 2015–2017 гг., показали, что даже в пределах одного железнодорожного направления участковые скорости грузовых поездов могут значительно отличаться в зависимости от их категории: средняя участковая скорость сквозных поездов выше, чем у участковых поездов. Например, на исследованных железнодорожных участках в зависимости от интенсивности движения и пропускной способности разница между участковыми скоростями сквозного и участкового поездов составляла в среднем от 2–6 % (на участках с малой интенсивностью движения и большим резервом пропускной способности) до 18 % (на участке с интенсивным движением и малым резервом пропускной способности).

Таким образом, существует взаимосвязь между категорией поезда и его участковой скоростью. В связи с вышеизложенным, при разработке плана формирования предлагается использовать дополнительный параметр – критерий экономии затрат при следовании вагонов и локомотивов в сквозных поездах. План формирования поездов, разработанный с использованием данного критерия, может отличаться от плана формирования, разработанного традиционным способом. Это связано с тем, что в отдельных случаях выделение маломощных струй вагонопотока в самостоятельные назначения может оказаться экономически целесообразным, поскольку позволит, несмотря на увеличение затрат на накопление вагонов, значительно сократить затраты, связанные с нахождением подвижного состава в движении.

Предлагаемый критерий может быть рассчитан и использован при разработке плана формирования поездов при помощи следующего алгоритма:

1 Осуществляется разработка плана формирования поездов с использованием традиционных методов.

2 Для каждого из участков рассматриваемого направления, на которых имеются маломощные сквозные струи, не выделенные в самостоятельные назначения, рассчитывается среднее время их проследования участковым и сквозным поездами и определяется экономия времени, достигаемая при следовании вагонов и локомотивов в составе сквозных поездов.

3 С использованием коэффициента приведения локомотиво-часов к вагоно-часам, а также данных о среднем составе поезда, следующего по участку, для каждого из участков рассчитывается экономия затрат (в приведенных вагоно-часах) при следовании вагонов и локомотивов в сквозных поездах, приходящаяся на один вагон.

4 Для каждой маломощной струи вагонопотока, не выделенной в самостоятельное назначение, осуществляется расчет экономии затрат (в приведенных вагоно-часах) при следовании вагонов и локомотивов в сквозных поездах. На основании выполненных расчетов осуществляется оценка целесообразности выделения таких струй вагонопотока в самостоятельные назначения.

Размеры экономии затрат при следовании вагонов и локомотивов в сквозных поездах возрастают при увеличении мощности струи вагонопотока, а также при увеличении длины участка, по которому следует поезд. В то же время значение данного параметра снижается при увеличении среднего состава обращающихся поездов, поскольку в этом случае для организации пропуска вагонопотока по участку потребуется меньшее число локомотивов.

Выполненные расчеты показали, что использование предлагаемого метода позволяет подтвердить целесообразность выделения в самостоятельные назначения отдельных струй вагонопотока, которые при использовании традиционных методов расчета плана формирования могли быть признаны экономически невыгодными, что, в свою очередь, способно обеспечить значительную экономии эксплуатационных затрат.

УДК 656.25: 625.746.5: 614.862

## **ПОДХОД К ВОПРОСУ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ПРОИСШЕСТВИЙ ПРИ ПЕРЕВОЗКАХ ПассаЖИРОВ НА ОСНОВЕ ЧЕЛОВЕКО-МАШИННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

*А. Н. ПАСИЧНЫЙ, А. В. АНДРЕЙКО*

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

Железнодорожный и автомобильный транспорт являются объектами повышенной опасности как сами по себе, так и при взаимодействии друг с другом. При этом безусловное обеспечение безопасности движения поездов и автотранспорта является критически важным при перевозках пассажиров (в равной степени, как и грузов), и это требование зафиксировано в нормативно-правовых актах, применяемых на видах транспорта.

В современных условиях большую опасность для жизни пассажиров автомобильного транспорта несёт потенциальная возможность столкновения движущегося поезда с автомобилем либо автобусом в местах пересечения железнодорожных путей с автомобильными дорогами в одном уровне. Особенно это касается неохраняемых железнодорожных переездов, а также в условиях ограниченной видимости либо неисправности устройств СЦБ. Столкновения поездов с автотранспортом обусловлены, в основном, т. н. «человеческим фактором» (а именно, игнорированием Правил дорожного движения водителями).

Случаи столкновений поездов с автомобильным транспортом на переездах происходят в течение каждого года неоднократно. Отдельные случаи являлись катастрофами с большим количеством человеческих жертв. Так, в ряде стран мира за прошедшие 5 лет в результате таких происшествий около 100 человек погибло и несколько сотен были травмированы. В Украине только за 7 месяцев текущего года на переездах погибло 14 человек, а рост количества транспортных происшествий с участием автомобильного транспорта составил 37,5 %. При этом абсолютно все эти происшествия в последние годы произошли по вине водителей автомобильного транспорта.

Исходя из вышесказанного, вопрос, которого касается данная работа, был и является актуальным.

Говоря о безопасности движения, её обеспечении и повышении, невозможно не учитывать физику процесса движения поезда – его значительную массу, которая обуславливает и значительную кинетическую энергию, для гашения которой требуется тормозной путь. С целью оценки тормозного пути разных поездов было выполнено моделирование процесса экстренного торможения с помощью человеко-машинной модели – тренажёра машиниста локомотива. Проводились опыты с моделью грузовых поездов разной массы на площадке (порожний состав массой 1250 т, смешанный массой 3000 т, гружёные массой 4000, 4600, 5000 и 6000 т). Также аналогичные эксперименты проводились и с моделями пассажирских и пригородных поездов.

При анализе полученных данных принимается во внимание, что реакция машиниста, равно как и водителя, не является мгновенной. Необходимо время на то, чтобы среагировать на возникшее препятствие и привести тормоза в действие. На основе последней редакции методических рекомендаций "Применение дифференцированного значения времени реакции водителя в экспертной практике", утверждённой научно-методическим советом ВНИИСЭ по судебной автотехнической экспертизе (НМС по САТЭ), принято нормативное значение времени реакции – 1 с. Таким образом, полученное значение тормозного пути для повышения точности моделирования нужно дополнительно увеличить. Так, при скорости 25 км/ч это дополнительное расстояние будет равно всего 7 м, при скорости 80 км/ч – 22 м, а при 120 км/ч – 33 м.



Согласно ПТЭ, видимость заградительных светофоров установлена на расстоянии 1000 м на прямых и 400 м в кривых участках. Таким образом, если автомобиль с пассажирами окажется на железнодорожном переезде и будет своевременно замечен (также – включён заградительный светофор), то поезд может предотвратить столкновение на невысоких скоростях (не выше 50–60 км/ч, а в кривой – порядка 40 км/ч). А значит, максимальная скорость, с которой можно безопасно остановиться и предотвратить транспортное происшествие, мала и в целом зависит от условий видимости объекта. Для полностью безопасного движения с современными скоростями это не является приемлемым.

Таким образом, для повышения безопасности перевозок пассажиров и постепенного сведения рисков их травмирования к нулю основными влияющими факторами являются (и известны):

1) минимизация количества пересечений железных и автомобильных дорог в одном уровне за счёт строительства путепроводов и развязок дорог в разных уровнях;

2) применение технических средств, повышающих безопасность железнодорожных переездов – заградительных устройств, перекрытие переездов автоматическими шлагбаумами по всей ширине, улучшение освещённости переездов с целью увеличения дальности их видимости, а также сокращение неохранных переездов;

3) повышение дисциплины, контроля за работой участников перевозочного процесса и ответственности (в значительной мере) за нарушение законодательства.

Разумеется, именно первый фактор максимально повышает безопасность движения и удобство для участников перевозочного процесса. Однако же именно он требует и значительных капитальных вложений. Капитальных вложений требует и переоборудование неохранных переездов в охраняемые и установка заградительных устройств. Для оценки вероятности транспортного происшествия и целесообразности применения тех или иных мер по повышению безопасности движения поездов и автотранспорта подход на основе человеко-машинного моделирования является достаточно перспективным.

УДК 656:005.932

## **О ФОРМИРОВАНИИ СИСТЕМЫ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОТРЕБИТЕЛЬСКОГО КАЧЕСТВА ТРАНСПОРТНЫХ УСЛУГ И КЛЮЧЕВЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ В ТРАНСПОРТНОЙ ЛОГИСТИКЕ**

*Т. В. ПИЛЬГУН*

*Белорусский национальный технический университет, г. Минск*

*А. А. МИХАЛЬЧЕНКО, О. А. ХОДОСКИНА*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В терминологическом словаре Европейской логистической ассоциации приведено понятие «Logistics key performance indicators» (KPI), которое определяется как «ключевые показатели результативности логистической деятельности». Под системой KPI понимается система финансовых и нефинансовых показателей, влияющих на количественное или качественное изменение результатов по отношению к стратегической цели (или ожидаемому результату).

В мировой практике логистики перевозок сформировалась система показателей, оценивающих ее результативность или эффективность. Эти показатели в литературных источниках встречаются под названием «ключевые, или комплексные показатели эффективности».

В целом KPI имеет следующие основные группы:

- 1) логистические издержки;
- 2) качество логистического сервиса;
- 3) продолжительность логистических циклов;
- 4) производительность;
- 5) возврат на инвестиции в логистическую инфраструктуру.

В транспортных системах кроме показателей результативности (эффективности), оценивая деятельность той или иной компании, принято говорить о качестве транспортных услуг и его показате-

лях. Таким образом фигурируют категории показателей: КРІ и показатели качества. Иногда в роли показателей качества выступают показатели эффективности. Например, транспортными организациями качество транспортных услуг оценивается показателями: скорость маршрутная (но не скорость доставки груза), показатели использования подвижного состава, экспорт и импорт услуг, изменение затрат на реализацию услуг, то есть качество оценивается на основе показателей, отражающих эффективность работы предприятия.

Следует отметить, что в ГОСТ Р 51005–96 «Услуги транспортные. Перевозки грузов. Номенклатура показателей качества» присутствуют показатели, которые фактически являются показателями эффективности. Достаточно рассмотреть структуру показателей «экономические», «срочности», которые не представляют интерес для потребителей транспортных услуг, но характеризуют эксплуатационную работу предприятия.

Учитывая мнение, что «конкурентоспособность услуг, выраженная через качество, является решающим фактором их коммерческого успеха на развитом конкурентном рынке», представляется целесообразным исследовать связи и зависимости категорий показателей КРІ и качества и определить место каждой категории в системе оказания транспортных услуг. Исследование целесообразно потому, что полезным решением совершенствования процесса управления качеством может стать формирование и внедрение системы показателей качества транспортных услуг с учетом ожиданий потребителей.

КРІ являются неизменным элементом оценки технологий, бизнес-процессов, а также систем управления. Вместе с тем анализ содержания КРІ приведенного выше перечня, имеющих место в деятельности транспортных предприятий, показывает, что в общем возможно разделить эти показатели на две группы:

1) показатели производственного качества – измерители (пп. 1, 3–5) эффективности, комплексно оценивающие результативность управления перевозками;

2) показатели потребительского качества – измерители (п. 2), которые основываются на понятии «услуга» и на базе которого должна быть сформирована система показателей качества транспортных услуг.

Для более точного отражения смыслового содержания показателей качества, которое необходимо потребителям транспортных услуг, целесообразно говорить о важности создания системы показателей потребительского качества.

Внедрение системы КРІ проходит этапы: формирование стратегии (концепции); определение важнейших факторов успеха; определение ключевых показателей результативности КРІ. Инструментарием наилучшей практики применения КРІ предусматривается обязательное наличие системы контроля качества. Исходя из того, что качество – важнейшая потребительская характеристика услуги, целесообразно считать, что подразумевается создание системы контроля потребительского качества услуг.

Основываясь на этих размышлениях, можно сделать вывод, что наличие системы показателей потребительского качества услуг должно стать неотъемлемой и заключительной частью внедрения системы КРІ на транспортных предприятиях. Общая идеология внедрения системы КРІ, которая во многих экономических системах сформулирована и занимает определенное место в управлении качеством, находит отражение в рамках внедрения системы менеджмента качества (СМК) в деятельности транспортных предприятий в соответствии с СТБ ISO 9001–2009. Практические исследования СМК отдельных предприятий показали, что оценка результативности СМК в основном строится на оценке производственного качества и не имеет результатов оценки потребительского качества. Модель показывает, что при определении требований к услугам существенную роль играют потребители.

Сложность работ по созданию системы показателей потребительского качества связана также с отсутствием необходимых нормативных и методических документов, которые следует разработать. Ключевой частью является необходимость мониторинга удовлетворенности потребителей. Мониторинг должен строиться на исследовании данных от потребителей о качестве поставленной продукции или услуги, анализе упущенных возможностей, положительных отзывах, претензиях по гарантийным обязательствам и отчетах дилеров. Поэтому система показателей потребительского качества должна включать и подсистему мониторинга результатов предоставления транспортных услуг.

## ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ МЕХАНИЗИРОВАННОМ ЗАКРЕПЛЕНИИ СОСТАВОВ В ПАРКАХ СОРТИРОВОЧНЫХ СТАНЦИЙ

С. А. ПОЖИДАЕВ

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Н. В. ТОКАРЕВСКАЯ, Р. И. ГАМБИЦКИЙ

*Белорусская железная дорога, г. Минск*

Проблема повышения безопасности нахождения подвижного состава на станционных путях путем исключения риска его несанкционированного движения на маршруты приема, отправления поездов или на перегон, снижения трудоемкости и сокращения временных затрат на закрепление вагонов особенно актуальна на крупных железнодорожных станциях, где выполняется большой объем поездной и маневровой работы. К таким станциям относятся сортировочные, а также ряд участковых.

За последнее время произошел ряд случаев самопроизвольного ухода вагонов на станциях Белорусской железной дороги, которые привели к серьезным нарушениям безопасности движения поездов и маневровой работы. Основной причиной ухода вагонов стало несоблюдение норм содержания продольного профиля приемоотправочных путей станций. Согласно нормативным требованиям 130 станций полигона БЖД имеют ненормативный станционный уклон, в их числе и сортировочная станция Орша-Центральная. Проблема закрепления составов поездов на станционных путях особо остро встала после оборудования грузовых вагонов роликовыми подшипниками.

К поиску решений проблемы надежности закрепления вагонов на станции Орша-Центральная приступила специальная комиссия с использованием тяговых и тормозных испытаний. Цель испытаний – усовершенствовать методику расчета норм закрепления подвижного состава и создать на станциях дороги автоматизированные рабочие места.

Одним из наиболее рациональных и прогрессивных технических решений является использование для закрепления составов вместо башмаков специальных удерживающих устройств, а в перспективе – внедрение автоматизированных систем закрепления составов в парках станций, которые позволяют большинство операций этого процесса автоматизировать. К таким устройствам относятся:

– упор тормозной стационарный УТС-380 и его модификации. Предназначено для механизированного закрепления подвижного состава, стоящего на станционных (кроме главных) путях различных парков станции. Он может применяться как сам по себе, так и вместе с дополнительными тормозными башмаками в зависимости от массы брутто поезда и уклона пути;

– балочное заграждающее устройство с дистанционным управлением типа БЗУ-ДУ. Предназначено для торможения и удержания вагонов и отцепов с целью предотвращения несанкционированного выхода подвижного состава за пределы полезной длины сортировочных, станционных, путей необщего пользования и других путей, управление которым может осуществляться автоматически с пульта ДСП при соответствующей доработке комплексов на базе ДЦ «Неман» или систем МПЦ. Устройство БЗУ-ДУ производится концерном «Трансмаш» (в него входит также Молодечненский ЭМЗ) и может устанавливаться как в приемоотправочных, так и в сортировочных парках станций.

Выбор того или иного способа закрепления составов в парках необходимо устанавливать на основе технико-экономических расчетов для конкретных объектов железнодорожных станций. При этом одним из основных вопросов является определение количества закрепляющих устройств. Оно зависит от массы закрепляемых составов, уклона участков пути, величины удерживающей силы устройства, сил сопротивления движению.

В соответствии с аналитическим выражением потребное количество закрепляющих устройств на одном пути парка станции

$$K_{\text{БЗУ}} = \frac{Q_{\text{бр}} g}{\frac{1 + i_{\text{сп}}^2}{i_{\text{сп}}} F_{\text{уд}} \cos(\arctg i_{\text{сп}})} - \frac{F_{\text{сопр}}}{F_{\text{уд}}} \quad \text{или} \quad K_{\text{БЗУ}} \approx \frac{Q_{\text{бр}} g (i_{\text{сп}} - w)}{F_{\text{уд}}},$$

где  $Q_{бр}$  – масса брутто расчетного состава поезда для каждого пути с учетом его специализации и норм на формирование составов, т;  $g$  – ускорение свободного падения,  $g = 9,81 м/с^2$ ;  $i_{спр}$  – спрямленный уклон участка пути, занимаемого расчетным составом, ‰;  $F_{уд}$  – удерживающая сила устройства (нагрузка, воспринимаемая устройством в сторону уклона), Н. При постоянном нажатии балок на боковую поверхность колес с усилием не более 75 кН  $F_{уд} = 600$  кН (или 60 тс) (при фиксации двух осей);  $F_{сопр}$  – сила сопротивления движению состава, Н;  $w$  – суммарное удельное сопротивление движению состава, Н/кН.

На основе аналитического выражения определено количество закрепляющих устройств БЗУ-ДУ на путях сортировочно-отправочного парка станции Орша-Западная и Молодечно, имеющих неблагоприятное очертание профиля, а также наиболее рациональное место их расположения. Результаты расчетов показали, что на сортировочно-отправочных путях станции Орша-Западная на путях № 9 и 16 необходимо по одному устройству, на путях № 10–15, 18 – по два устройства БЗУ, а всего – 16 устройств. На станции Молодечно на путях № 13, 19, 22 – по одному устройству, на путях № 12, 14–18, 20–21 – по два устройства БЗУ, а всего в сортировочно-отправочном парке этой станции – 19 таких устройств. При применяемой на станции Орша-Западная технологии масса переносимых сигнальником тормозных башмаков составляет в среднем в сутки около 3000 кг. Продолжительность закрепления составов поездов, например в приемоотправочном парке станции Орша-Западная, может сократиться на 130 мин в сутки и на 60 мин в сутки – при уборке башмаков и снятии ограждения состава.

Внедрение устройств БЗУ на станциях Орша-Западная и Молодечно позволит обеспечить безопасность движения, снизить эксплуатационные расходы, трудоемкость выполнения технологических операций по закреплению и снятию закрепления составов поездов и устранить влияние на них человеческого фактора.

УДК 656.13.05

## СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫМ ТРАНСПОРТОМ НА ПЕРЕКРЕСТКЕ

*Н. В. РЯЗАНЦЕВА, К. Ф. ИЗМАЙЛОВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Широкое внедрение IT-технологий позволяет решать большой круг актуальных задач. К ним относится, в частности, задача обеспечения безопасности дорожного движения и эффективности автомобильных перевозок, что во многом определяется качеством организации дорожного движения, в основу которой входит управление потоками автотранспорта и пешеходов в местах пересечения различных их потоков на одном уровне. Была поставлена задача разработать систему интеллектуального светофорного регулирования, предназначенную для оптимизации полученных данных в режиме реального времени, что должно привести к увеличению пропускной способности, снижению уровня аварийности, уменьшению загрязнения окружающей среды автомобилями в контролируемой зоне, а также для минимизации расхода топлива и траты времени.

В данной работе моделирование производилось для перекрестка улиц Головацкого и Мазурова города Гомеля (рисунок 1).



Рисунок 1 – Моделируемый перекресток ул. Головацкого и ул. Мазурова

Оптимизация работы указанного перекрестка была проведена в два этапа. На первом этапе было осуществлено имитационное моделирование перекрёстка с использованием специализированного программного обеспечения PTV VISSIM. Эта программа состоит из двух отдельных подпрограмм, которые взаимодействуют друг с другом с помощью интерфейса, в котором происходит обмен данными измерений детекторов и данными о состояниях систем регулирования.

На многополосных проезжих частях водитель в VISSIM-модели учитывает не только впереди идущие транспортные средства, но и транспортные средства на обеих соседних полосах.

Результаты, полученные с использованием VISSIM-модели, могут быть использованы для записи в дорожный контроллер и последующего использования для суточного, недельного либо сезонного регулирования циклов работы светофоров на перекрестке.

Для возможности управления работой светофором в режиме, приближенном к реальному времени, мониторинга локальных заторов, увеличения пропускной способности в форс-мажорных ситуациях была разработана собственная имитационная модель, основывающаяся на показаниях, полученных с датчиков контроля количества и скорости автотранспорта на подъездах и непосредственно на перекрестке. В качестве системы фиксации транспорта на подъезде к перекрестку использовалось готовое устройство Grid Smart. После выполнения необходимых вычислений данные записываются в дорожный контроллер, который непосредственно управляет работой светофоров.

В основу разработанного программного обеспечения были положены две модели: 1) следования за лидером – на подъездах к перекрестку и 2) клеточных автоматов – непосредственно на перекрестке. В качестве языка программирования был использован язык C++. При разработке программного обеспечения по оптимизации светофорного регулирования была построена модель перекрёстка (рисунок 2), которая была разделена на клетки (рисунок 3).

По данным суточного трафика данного перекрёстка, которые были представлены сотрудниками кафедры «Организация дорожного движения» БелГУТа, проведена оптимизация временных фаз работы светофоров, для возможности записи в дорожный контроллер и оптимизации суточной и недельной работы фаз светофором на перекрестке улицы Головацкого и улицы Мазурова города Гомеля. Также разработана система, позволяющая производить регулирование работы светофоров на указанном перекрестке в режиме, приближенном к реальному времени.

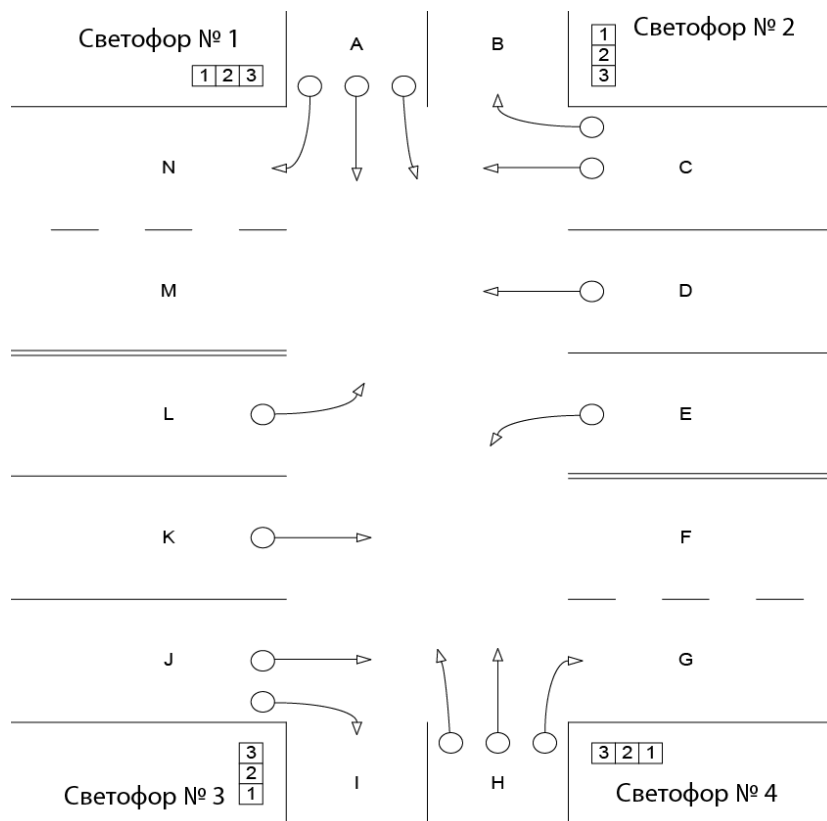


Рисунок 2 – Модель передвижения по полосам на перекрёстке

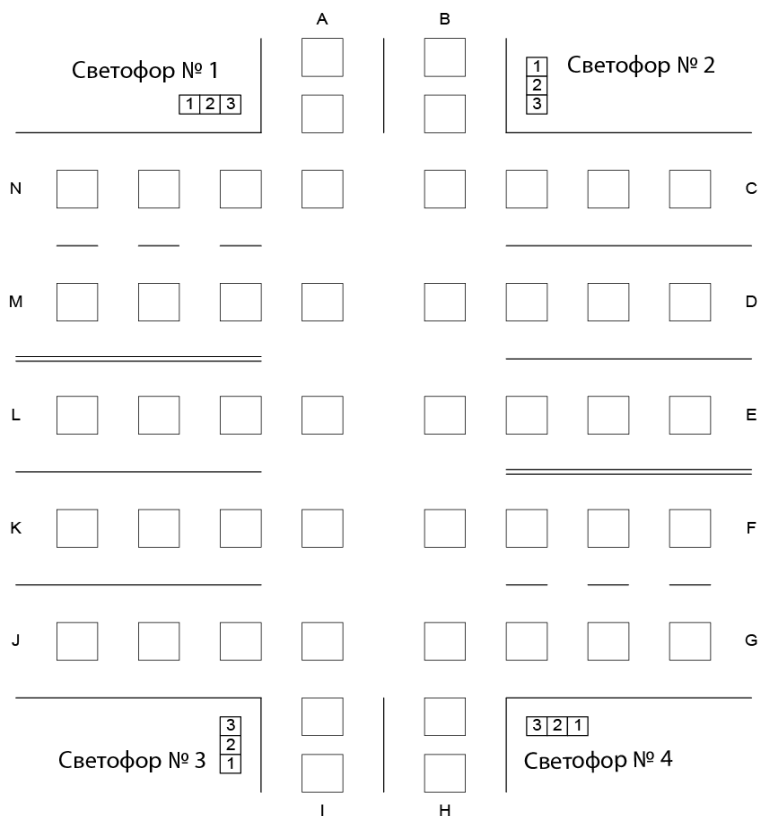


Рисунок 3 – Разбиение модели перекрёстка на клетки

УДК 656.222.4

## ОЦЕНКА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ГРАФИКА ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ НА БЕЛОРУССКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГЕ

Ю. С. СИДОРОВИЧ

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Снижение себестоимости перевозок и повышение их доходности в значительной мере зависят от разработки и внедрения ряда комплексных систем, функционирование которых влияет на улучшение работы сети железной дороги, а также обеспечивает получение высокого качества транспортного обслуживания как грузоотправителей и грузополучателей, так и пассажиров.

График движения поездов как система технологических нормативов позволяет разрабатывать энергоэффективные решения пропуска поездов на участках железнодорожной инфраструктуры. В связи с этим требуется обеспечить в условиях автоматизации комплексный подход к составлению графика движения поездов в целом для полигона железной дороги, предусматривая при этом превращение его в реальный технологический процесс организации работы участков и направлений, с учетом взаимосвязи с графиками работы локомотивов и локомотивных бригад.

На Российских железных дорогах в настоящее время ведется активная работа по внедрению автоматизированного программного комплекса «Эльбрус» (АПК «Эльбрус»). Система осуществляет автоматизированное построение прогнозных энергосберегающих графиков движения поездов с учетом актуальных условий пропуска и поездной обстановки. На основании данных из системы ГИД «Урал-ВНИИЖТ» и нормативного графика движения поездов осуществляется построение вариантного графика в системе АПК «Эльбрус». При этом выполняется энергооптимизация перегонных времен хода движения грузовых поездов. Следует отметить, что энергооптимизация используется только в тех случаях, при которых не снижается пропускная способность участков железных дорог.

Основным программным средством, используемым для разработки нормативных графиков движения поездов на Белорусской железной дороге, является автоматизированная система «Графист» (АС «Графист»). Она дает возможность осуществить автоматизированную разработку и корректировку графика движения поездов (ГДП), а также расчет показателей и формирование выходных форм по ГДП. Однако система не позволяет проводить сравнение ГДП с эталонами, ГДП и отдельные элементы ГДП между собой с позиции их энергоэффективности и энергооптимальности. Эти недостатки препятствуют качественному осуществлению должного контроля энергоэффективности графика движения поездов на Белорусской железной дороге.

Для решения поставленной задачи методом тяговых расчетов определены математические зависимости удельного расхода энергетических ресурсов от технической скорости движения поезда по участку. Так, для каждого эксплуатируемого типа локомотивов рассчитаны значения технической скорости, времени хода и расхода электроэнергии (топлива) в зависимости от максимально разрешенного значения скорости следования по конкретному участку. В качестве параметров исследования были взяты среднестатистические значения длины и массы поездов на Белорусской железной дороге. Также определены затраты энергетических ресурсов на разгон и замедление для каждой серии локомотивов в зависимости от типа профиля пути.

Для последующих расчетов установлены корреляционные модели между влияющими факторами, которые предложено положить в основу алгоритмов автоматизированной подсистемы расчета энергоэффективности графика движения в АС «Графист».

#### Список литературы

- 1 **Усков, А.В.** Движение по расписанию / А.В. Усков // Железнодорожный транспорт. – 2016. – № 6. – С. 52–55.
- 2 **Шаронов, Е.А.** Организация грузового движения по расписанию / Е.А. Шаронов // Железнодорожный транспорт. – 2010. – № 10. – С. 74–77.

УДК 629.42:656.222.4

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ ГРАФИКОВ ОБОРОТА ЛОКОМОТИВОВ ГРУЗОВОГО ДВИЖЕНИЯ И РАСЧЕТА ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТЫ ЛОКОМОТИВНОГО ПАРКА

*А. А. СТРАДОМСКАЯ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Создание графиков оборота локомотивов грузового движения является сложной технологической задачей. Для ее решения необходимы данные о нормативном графике движения поездов, системе эксплуатации локомотивов и другие. На Белорусской железной дороге система эксплуатации локомотивов имеет множество особенностей, которые делают задачу разработки графиков оборота локомотивов грузового движения сложной для её решения традиционными способами. Поэтому организация работы локомотивов в современных условиях может быть эффективной только при условии применения специализированных программных продуктов, которые позволяют учесть всё множество влияющих на работу локомотивов факторов.

Проанализировав существующую систему тягового обслуживания и инфраструктуру по обслуживанию и ремонту локомотивов, используемых в грузовом движении, можно выделить следующие особенности:

- зонная схема обращения тепловозов на полигоне дороги предусматривает возможность выполнения ТО-2 в любом депо, а не только в депо приписки;
- все электровозы приписаны к одному депо, при этом зоной их обращения являются все электрифицированные участки дороги;
- следование локомотивов с поездом может быть организовано как на обычных, так и на удлинённых участках обращения локомотивов;
- на электрифицированных участках допускается организация движения поездов на тепловозной тяге;
- на одних и тех же участках могут обращаться локомотивы различных серий, которые прицепляются к поездам с определенными весовыми параметрами.

Проблема, которая существует на Белорусской железной дороге, связана с зонным способом обслуживания. Она заключается в том, что усложняется процесс оперативного планирования работы локомотивного парка. Отсутствуют устойчивые схемы обращения локомотивов, из-за которых возникают непроизводительные пробеги резервом. Также уменьшается коэффициент оперативной готовности, т.к. ТО-2 может выполняться как в основном депо приписки, так и в депо, к которым они не приписаны. Поэтому организация работы локомотивов в современных условиях может быть эффективной только при условии применения специализированных программных продуктов, которые позволят учесть всё множество влияющих на работу локомотивов факторов.

Кафедрой «Управление эксплуатационной работой» совместно с научно-исследовательской лабораторией «Управление перевозочным процессом» УО «Белорусский государственный университет транспорта» разработано автоматизированное рабочее место (АРМ) для построения графиков оборота локомотивов и расчета показателей локомотивов грузового движения «Увязка локомотивов». Данное АРМ имеет общую базу данных с автоматизированной системой «Графист» для получения нормативных данных о сети дороги и категориях поездов. АРМ «Увязка локомотивов» предназначено для построения и отображения графиков оборота локомотивов грузового движения по участкам обращения локомотивов, а также для расчета показателей работы локомотивного парка Белорусской железной дороги.

Целью его создания является автоматизация основных функций локомотивного диспетчера:

– планирование работы локомотивного парка в пределах полигона обслуживания локомотивного диспетчера, своевременное принятие мер по обеспечению поездов, маневровых работ и хозяйственного движения локомотивами;

– выдача рекомендаций по увязке магистральных локомотивов к ниткам графика движения поездов;

– контроль за своевременной постановкой локомотивов на плановые техническое обслуживание и текущие ремонты в соответствии с разработанными графиками.

В автоматизированном рабочем месте решаются следующие функциональные задачи:

– возможность подвязки локомотивов к ниткам графика движения поездов;

– доступ к информации о состоянии локомотивного парка своего участка;

– формирование справки об использовании локомотивов грузового движения;

– анализ использования локомотивов грузового движения.

Программный комплекс АРМ «Увязка локомотивов» состоит из нескольких взаимосвязанных модулей: листы увязки, участки обращения увязка и др. Один из основных режимов работы – «Листы увязки». Он предоставляет пользователю возможность формировать листы для увязки локомотивов с необходимым количеством участков и станций, отображение необходимых участков и станций участков, отображение нормативного графика движения поездов, наглядное представление осуществляемой увязки локомотивов на графиках движения поездов, а также последующих необходимых изменений и удаления листов увязки. При работе с данным модулем есть возможность сохранить график увязки локомотивов в качестве изображения либо вывести его на печатающее устройство.

Данное автоматизированное рабочее место предназначено для работы локомотивных диспетчеров Центра управления перевозками и отделений дороги, а также в рамках реализации проекта создания Информационно-аналитической системы управления локомотивами и бригадами на Белорусской железной дороге [1].

#### Список литературы

1 Концепция по созданию Информационно-аналитической системы управления локомотивами и бригадами : приказ Нач. Белорусской ж. д., 18 мая 2015 г., № 168Н. – Минск : Белорусская ж. д., 2015. – 45 с.

УДК 656.225

## ОЦЕНКА ФАКТОРОВ И УСЛОВИЙ, ВЛИЯЮЩИХ НА РАСЧЕТ НОРМ ЗАКРЕПЛЕНИЯ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПУТЯХ

*М. Ю. СТРАДОМСКИЙ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В работе железнодорожного транспорта при выполнении перевозок грузов безусловным является обеспечение безопасности движения и маневровой работы. На каждом из этапов доставки гру-



зов, начиная с погрузки и заканчивая выгрузкой, обязательным условием является обеспечение безопасности жизни людей и сохранности грузов. Важной составляющей в системе обеспечения безопасности движения и маневровой работы является обеспечение закрепления подвижного состава на железнодорожных путях.

На станциях Белорусской железной дороги при расчете норм закрепления подвижного состава тормозными башмаками возможно использовать два способа расчета:

- 1) по средней величине уклона на протяжении всей полезной длины пути;
- 2) метод последовательного расчета с учетом различной величины уклонов элементов продольного профиля пути.

Как показал анализ технико-распорядительных актов станций Белорусской железной дороги, при определении необходимого количества тормозных башмаков для закрепления вагонов на станционных путях используется способ расчета норм закрепления по средней величине уклона пути. К факторам, влияющим на нормы закрепления, относятся:

- составляющая сила тяжести вагонов, стоящих на уклоне;
- сила воздействия на вагоны среды и ветра;
- сила воздействия на вагоны от сцепляемого локомотива.

Результаты анализа степени воздействия внешних (переменных) факторов показали, что нормы закрепления подвижного состава тормозными башмаками, рассчитанные согласно Правилам технической эксплуатации железной дороги в Республике Беларусь, обеспечивают, при наихудших составляющих внешнего воздействия на закрепленные вагоны (максимальное воздействие от силы ветра и сцепляемого локомотива), удержание подвижного состава на станционных путях с резервом удерживающих усилий от 0 до 40 % (в зависимости от условий закрепления).

Для учета воздействия на закрепляемый подвижной состав внешних (переменных) факторов при возникновении дополнительной нагрузки от ветра (от 5 до 14 м/с) рассчитанную норму целесообразно увеличить укладкой дополнительно одного тормозного башмака (на каждые 200 осей закрепляемой группы), что позволит обеспечить высокий уровень резерва удерживающих усилий.

Наибольшее влияние на нормы закрепления оказывает структура (род) закрепляемого подвижного состава и размещение вагонов на элементах продольного профиля. Расчеты показали, что нормы закрепления вагонов на одном и том же пути отличаются от рассчитанных в технико-распорядительных актах (по приведенному уклону) в зависимости как от рода подвижного состава, так и от размещения вагонов (в четном и нечетном направлениях) в большую и в меньшую стороны.

На основании полученных результатов установлено:

1) для обеспечения безопасности закрепления составов (групп вагонов) на станционных путях при расчете норм закрепления вагонов можно использовать метод последовательного расчета с учетом типа профиля и различной величины уклонов элементов продольного профиля пути;

2) расчет норм закрепления подвижного состава следует производить с учетом рода подвижного состава;

3) для учета воздействия на нормы закрепления подвижного состава внешних влияющих факторов при возникновении дополнительной нагрузки от ветра (от 5 до 14 м/с), рассчитанную норму целесообразно увеличить укладкой дополнительно одного тормозного башмака (на каждые 200 осей закрепляемой группы).

Для повышения достоверности и точности процедуры расчетов количества тормозных башмаков, необходимых для закрепления подвижного состава и исключения воздействия случайных факторов необходимо:

- расчеты производить для каждого состава (группы вагонов) отдельно, с учетом фактических вагонов, входящих в закрепляемую группу и типа локомотива,
- разработать автоматизированную систему для расчета норм закрепления подвижного состава в оперативном режиме для конкретных условий (род подвижного состава, тип локомотива, путь);
- интегрировать автоматизированную систему по расчету норм закрепления в действующие дорожные автоматизированные системы;

– создать базу данных профилей станций Белорусской железной дороги и поддерживать ее в актуальном состоянии.

Более точный расчет норм закрепления подвижного состава позволит повысить безопасность движения и маневровой работы, в ряде случаев уменьшить количество укладываемых тормозных башмаков и за счет сокращения времени на их установку и снятие ускорить обработку и продвижение вагонопотока.

УДК 656.223.2

## **ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СХЕМЫ РАЗМЕЩЕНИЯ ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ СРЕДСТВ НА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГАХ**

*А. А. СУХОВ*

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

Восстановительные поезда на железнодорожном транспорте относятся к специальным формированиям ОАО «РЖД», которые предназначаются для ликвидации последствий сходов с рельсов и столкновений подвижного состава, оказания помощи при стихийных бедствиях, а также в качестве аварийно-восстановительных сил и средств участвуют в составе единой Российской системы по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций.

Согласно данным информационного фонда ГВЦ ОАО «РЖД», в 2016 году было произведено 434 аварийных выезда, в процессе которых было поднято 619 единиц подвижного состава, при этом количество поднятого подвижного состава уменьшилось на 15 %, а число аварийно-восстановительных выездов увеличилось примерно на 10 % по сравнению с 2015 годом.

В настоящий момент восстановительные поезда расположены по определенной схеме, которая сложилась исторически и достаточно эффективно выполняет свою роль. На чем же основана эта схема? Какие критерии были поставлены во главу угла при ее создании?

Очевидно, при создании этой схемы ориентировались в первую очередь на быструю ликвидацию последствий чрезвычайных ситуаций. Восстановительные поезда должны располагаться на расстоянии не более 200 км друг от друга. Однако на деле поезда располагаются, как правило, на крупных станциях, и расстояние между ними может как превышать, так и быть меньше указанного выше значения. Расчет делается, естественно, на наличие тяговых ресурсов в случае возникновения чрезвычайной ситуации.

Место или шанс возникновения той или иной чрезвычайной ситуации, для устранения которой потребуются вызов восстановительного поезда, невозможно предугадать из-за обширного ряда факторов, в числе которых и человеческий фактор, и неисправности техники, инфраструктуры. Однако важно выяснить, насколько определенная линия уязвима в случае чрезвычайной ситуации, и спланировать, каким образом необходимо действовать в случае крушения или схода.

При возникновении чрезвычайных ситуаций или транспортных происшествий большое значение имеет то, в течение какого срока они будут устранены. Особенно это важно на линиях высокого класса, где необходимо обеспечить восстановление наличной пропускной способности в кратчайшие сроки. Любые перерывы в движении чреваты задержками как пассажирских дальних и пригородных, так и грузовых поездов различных категорий, что приводит к потенциальным убыткам компании. Поэтому к вопросу размещения восстановительных поездов на сети железных дорог необходимо подходить не только с технологической, но и с экономической точки зрения. Решить, что выгодно: ожидать устранения проблемы, тем самым используя для отстоя опаздывающих поездов путевое развитие прилегающих станций, если такое имеется; или рассматривать альтернативные маршруты в случае их невысокой загруженности.

Именно поэтому необходимо разработать рациональные эксплуатационные параметры размещения восстановительных поездов на сети железных дорог России и пересмотреть актуальную схему.

Математическое моделирование схемы размещения восстановительных средств на железных дорогах должно предусматривать исследование железнодорожных полигонов с линиями различ-

ных классов и категорий на сети ОАО «РЖД» на предмет их функциональной уязвимости; чрезвычайных ситуаций и последовательности действий при их возникновении и ликвидации.

Для решения рассматриваемой задачи комплекс математических моделей должен учитывать:

- 1) существующую схему размещения, эффективность ее применения;
- 2) технические возможности железнодорожных направлений и узлов: возможность объезда места аварийно-восстановительных работ, наличие необходимого количества путей для стоянки поездов на смежных станциях, наличие тяговых ресурсов, наличную пропускную способность и размеры движения;
- 3) оснащение восстановительных поездов;
- 4) дифференциацию расстояния между восстановительными поездами на линиях различных классов.

Результатом модельных расчетов должны стать рациональные критерии размещения восстановительных средств на железных дорогах и исходящая из их утверждения новая актуальная схема размещения восстановительных поездов. Эта схема должна быть максимально эффективной как с точки зрения экономики, так и с точки зрения функциональности, т. е. при минимуме затрат она должна давать максимальный эффект. А разработанные критерии позволят периодически актуализировать схему размещения восстановительных средств.

#### **Список литературы**

1 Распоряжение ОАО «РЖД» № 3188р от 31 декабря 2015 года «Об утверждении результатов Классификации железнодорожных линий».

2 Распоряжение ОАО «РЖД» № 2678р от 26 декабря 2016 г. «Об утверждении и вводе в действие Инструктивных указаний по организации аварийно-восстановительных работ на железных дорогах ОАО «Российские железные дороги».

3 Распоряжение ОАО «РЖД» № 1807р от 31 августа 2006 г. «Об утверждении и вводе в действие Положения о восстановительных поездах железных дорог открытого акционерного общества «Российские железные дороги».

УДК 656.212

### **ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОГО И ЭФФЕКТИВНОГО РАСФОРМИРОВАНИЯ ПОЕЗДОВ НА СТАНЦИЯХ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СЕКЦИОНИРОВАННЫХ ПУТЕЙ СОРТИРОВОЧНЫХ ПАРКОВ**

*Е. А. ТЕРЕЩЕНКО*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Одной из приоритетных задач, стоящей перед транспортной системой Республики Беларусь в современных условиях, является оптимизация работы железнодорожной инфраструктуры, функционирующей в условиях регулярного изменения эксплуатационной нагрузки. Расформирование поездов на станциях является одной из важнейших технологических операций, безопасное и качественное выполнение которой способствует быстрому продвижению вагонопотоков и сохранности вагонного парка. Эффективность процесса поездообразования непосредственно зависит от мощности путевого развития сортировочных (сортировочно-отправочных) парков и применяемой технологии их использования. Эффективность использования наличного путевого развития сортировочного парка определяет эксплуатационные показатели работы станции.

В настоящее время на сортировочных станциях Белорусской железной дороги многие сортировочные пути имеют полезную длину, большую потребной, обеспечивающей накопление и формирование составов установленной длины. Наличие на станции многочисленных мелких назначений, обеспечиваемых потоком примыкающих мест общего и необщего пользования, а также прилегающих промежуточных станций, требует сортировочных путей небольшой длины. Поэтому целесообразно рассмотреть проблему повышения эффективности использования существующих сортировочных путей. В этом отношении возможной рациональной мерой является разделение существующих путей сортировочных парков на ряд технически обособленных участков посредством их секционирования с возможностью накопления на одном длинном пути нескольких назначений по плану формирования.

Секционирование сортировочных путей достигается посредством укладки ряда стрелочных переводов в определенной последовательности, что позволит адаптировать технологию переработки вагонопотоков на станции к объему и структуре перерабатываемого вагонопотока. Соответствующие оценки показывают, что при объеме сортируемого вагонопотока свыше 2500 вагонов в сутки часть путей сортировочного парка может быть выделена в группировочный парк для накопления и формирования многогруппных составов. Этот вариант отмечается, как наиболее эффективный при сооружении горки малой мощности, расположенной со стороны хвостовой горловины основного сортировочного парка [1, 2].

Секционирование путей сортировочного парка может быть реализовано как некоторое техническое решение по схеме «елочка» [3, 4]. Данные конструктивные элементы, располагаясь последовательно с сортировочной горкой, позволяют накапливать на определенной секции группы вагонов независимо от другой группы на данном пути. Такой технический прием организации работы на станции позволяет повысить эффективность расформирования при наличии большого числа назначений плана формирования и незначительной мощности потока.

Таким образом, данная мера способна повысить уровень безопасности маневровой работы и сохранность вагонного парка за счет уменьшения повторной переработки вагонов на сортировочной горке.

#### Список литературы

- 1 **Абрамов, А. А.** Оптимизация путевого развития местных сортировочных парков. Вопросы увеличения пропускной способности железных дорог / А. А. Абрамов, Е. Н. Кирьянова. – Ростов-на-Дону : РосИИЖТ, 1985. – 280 с.
- 2 **Длугач, Б. А.** Опыт проектирования и строительства сортировочных станций и узлов за рубежом / Б. А. Длугач. – М. : Транспорт, 1966. – 27 с.
- 3 **Рау, С.** Полугодка с противоуклоном для повторной сортировки – новое эффективное средство формирования многогруппных поездов / С. Рау // Железные дороги мира. – 1976. – № 12. – С. 64–68.
- 4 **Скворон, И. Я.** Совершенствование технологии и технических средств формирования многогруппных составов : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.20 / И. Я. Скворон; Днепропетровский нац. ун-т ж.-д. трансп. им. акад. В. Лазаряна. – Днепропетровск : ДИИЖТ, 2015. – 222 с.

УДК 656.225

### ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ ПРИ АВТОМАТИЗИРОВАННОМ ОПЕРАТИВНОМ ПЛАНИРОВАНИИ МЕСТНОЙ РАБОТЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ УЧАСТКОВ И УЗЛОВ

*О. А. ТЕРЕЩЕНКО*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Оперативное планирование местной работы является важной эксплуатационной задачей, от качества реализации которой напрямую зависят ключевые показатели перевозочного процесса. Это связано с тем, что в структуре оборота вагона относящиеся к местной работе операции, как правило, сопоставимы или превосходят суммарную продолжительность всех остальных операций перевозочного процесса. При этом на Белорусской железной дороге в последние годы наблюдается тенденция к увеличению удельного веса этого показателя, что прежде всего обусловлено увеличением числа участников транспортного процесса.

С развитием информационно-управляющих систем и систем поддержки принятия управленческих решений на железнодорожном транспорте появились новые возможности качественного решения задач оперативного планирования. Однако на сегодняшний день не имеется научно обоснованной методики оперативного планирования местной работы, позволяющей комплексно решать производственные задачи в реальном масштабе времени с одновременной оценкой технологических рисков.

Решение поставленной задачи основано на использовании динамической модели перевозочного процесса, практическое применение которой предполагает ее развертывание на базе существующих информационных систем. Динамическую модель составляют два вида информации:

– условно-постоянная, включающая информационную модель железнодорожной инфраструктуры и взаимосвязанных объектов, нормативно-справочную информацию и формализованное математическое обеспечение функционирования модели;

– переменная, включающая отображение состояния динамических объектов железнодорожного транспорта с целью вычисления (прогнозирования) перспективных состояний перевозочного процесса для использования полученных результатов в качестве исходных данных в системе оперативного планирования местной работы железнодорожных участков и узлов.

Применение динамической модели перевозочного процесса должно обеспечивать:

– прогнозирование с заданной точностью состояния местной работы железнодорожных участков и узлов;

– установление нормативов перевозочного процесса на основе результатов моделирования;

– универсальность используемых подходов для моделирования состояний технологических процессов, связанных с местной работой, для различных железнодорожных участков и узлов;

– возможность автоматизированной реализации разработанных алгоритмов в процессе оперативного планирования;

– возможность адаптации автоматизированных решений в применяемых на железнодорожном транспорте информационных системах при максимальном использовании существующих баз данных, программных и аппаратных средств.

Предлагаемый метод оперативного планирования местной работы железнодорожных участков и узлов на основе динамической модели перевозочного процесса реализован на стыке прогнозной модели прибытия местных вагонов на техническую станцию и прогнозной модели выполнения с вагонами комплекса грузовых операций. Кроме непосредственного установления показателей перевозочного процесса в режиме реального времени, метод предполагает вероятностную оценку реализации различных технологических сценариев для каждого местного вагона с численной оценкой сопутствующих технологических рисков.

Прогнозирование технологических рисков увеличивает надежность и безопасность перевозочного процесса за счет их нейтрализации, сокращения при прочих равных условиях объемов поездной и маневровой работы.

Разработанный метод имеет универсальные научно-практические подходы и может быть использован в качестве основы для решения широкого спектра задач оперативного планирования перевозочного процесса на железнодорожном транспорте на базе существующих информационных систем.

УДК 656.222.4

## **ПРОЦЕССНО-ОБЪЕКТНАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПОЕЗДОПОТОКОВ НА ПОЛИГОНЕ ИНФРАСТРУКТУРЫ В УСЛОВИЯХ МНОЖЕСТВА СУБЪЕКТОВ ПЕРЕВОЗОЧНОГО ПРОЦЕССА**

*Е. А. ФЕДОРОВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Современный рынок участников железнодорожных перевозок, сложившийся с учетом тенденций ограничения естественных монополий и обеспечения равноправного доступа к услугам инфраструктуры железнодорожного транспорта, отличается расширенным составом возможных участников по сравнению с традиционным подходом: грузоотправитель – перевозчик – грузополучатель. В современной концепции произошло разделение участников рынка железнодорожных перевозок в соответствии с располагаемыми материальными ресурсами и (или) реализуемыми функциями по обеспечению перевозочного процесса. Законодательством в сфере железнодорожного транспорта определены основные участники: грузоотправитель, грузополучатель, перевозчик, владелец инфраструктуры, оператор инфраструктуры, оператор железнодорожного подвижного состава.

Идентификация потоков в сложившихся условиях предполагает переход от объектного принципа освоения неструктурированной эксплуатационной нагрузки на объекты инфраструктуры к про-

цессной идентификации поездопотоков перевозчиков на инфраструктуре, определяющей маршрутные назначения поездов и параметры использования объектов инфраструктуры на маршруте их следования.

Предлагаемый подход обеспечивает условия равноправной конкуренции при использовании инфраструктуры железнодорожного транспорта и создает условия возникновения синергетического экономического эффекта взаимодействия участников перевозочного процесса.

Предоставление равноправного доступа к услугам инфраструктуры осложняет процедуру организации движения поездов. Участники перевозочного процесса формируют требования по организации вагонопотоков в поезда, условиям их следования по участкам инфраструктуры и обработке на технических станциях. Возникает множество планов формирования поездов перевозчиков, предъявляемых для равноправной реализации на полигоне инфраструктуры. Это повышает значимость ГДП как важного регулятора взаимоотношений участников рынка услуг железнодорожного транспорта и усложняет задачу его разработки в связи со значительной дифференциацией поездопотоков на инфраструктуре. Решение задачи разработки ГДП традиционными объектно-ориентированными методами становится недостаточным, так как они не могут гарантировать удовлетворение условий продвижения поездопотоков перевозчиков на всем маршруте следования из-за бессистемного характера согласования расписаний следования поездов по железнодорожным участкам и технологии работы технических станций инфраструктуры.

Моделирование процессно-ориентированного ГДП предполагает переход от формирования базы исходных данных по объектному принципу в виде неструктурированной эксплуатационной нагрузки на объекты инфраструктуры, к процессной идентификации поездопотоков перевозчиков на инфраструктуре, определяющей маршрутные назначения поездов и параметры использования объектов инфраструктуры на маршруте их следования:

$$N_{(p_i; q_i)} [s_1(T) \rightarrow s_2(T) \rightarrow \dots \rightarrow s_n(T)]; s_1 = p_i, s_n = q_i. \quad (1)$$

Расписание движения поезда (нитка графика) на направлении характеризуется последовательностью времен прибытия на каждую техническую станцию и времен отправления с каждой технической станции на маршруте следования. Необходимо разработать ГДП так, чтобы минимизировать суммарное взвешенное отклонение времени прибытия всех поездов на станции назначения.

Задача разработки ГДП представляет собой модифицированную оптимальную задачу с гибким расписанием движения поездов при фиксированных маршрутах.

Полигон инфраструктуры задан пространственно-временным направленным графом (*space-time network*)  $\bar{G} = (\bar{V}, \bar{A})$ . Множество поездных заявок обозначим через  $O$ , вес (важность) поездной заявки –  $\omega_{(p; q)_i}$ , директивный срок –  $d_{(p; q)_i}^{o.m.}$ .

При использовании графа  $\bar{G}$  для моделирования процессно-объектного ГДП необходимо использовать ограничения на максимальное число обслуживаемых поездов на объектах инфраструктуры, обусловленные их техническими возможностями.

Число поездов, следующих по участкам инфраструктуры, ограничивается наличной пропускной способностью в рассматриваемый период времени, выраженной в поездах соответствующей категории  $k$  (*группы приоритета*)  $N_{jt}^{nk}$ .

ГДП, удовлетворяющий условию минимума суммарного отклонения времени прибытия поездов на станции назначения  $\min \sum \Delta T_{(p; q)_i}^{\Gamma_{\text{ДП}}}$ , может быть построен методом динамического моделирования продвижения поездопотоков на инфраструктуре при соблюдении принципа обработки поездов на объектах инфраструктуры по возрастанию моментов их предъявления.

Применение данного подхода обеспечивает условия равноправной конкуренции в вопросах предоставления доступа к услугам инфраструктуры железнодорожного транспорта и создает условия возникновения синергетического экономического эффекта взаимодействия участников перевозочного процесса. На его основе в настоящее время разрабатывается методика практической реализации поставленной задачи для замкнутых полигонов железнодорожной инфраструктуры.

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПЕРЕВОЗОЧНОГО ПРОЦЕССА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЭЛЕМЕНТОВ ПЛАНА ПУТЕВОГО РАЗВИТИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТАНЦИЙ

Е. А. ФИЛАТОВ

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Одним из важнейших направлений повышения эффективности перевозочного процесса в последние годы стало широкое внедрение подвижного состава увеличенных габаритов и грузоподъемности. Однако значительные линейные размеры таких вагонов вызывают дополнительные ограничения на геометрические параметры элементов плана путевого развития железнодорожных станций. Так, эксплуатация длиннобазного подвижного состава не гарантирует автоматического сцепления вагонов в зоне криволинейных участков путей: при остановке на стрелочной зоне, расположении грузовых фронтов вблизи кривой, размещении вагонов на закрестовинных кривых в парках путей и т. д. Поэтому при выполнении маневровой работы сцепление вагонов выполняется под контролем причастных работников. Широкое применение ручного труда отрицательно сказывается на безопасности перевозочного процесса на станциях, а также сдерживает внедрение современных систем автоматизации технологических процессов.

Существуют два основных метода определения допустимых, по условию обеспечения автоматического сцепления вагонов, радиусов круговых и  $s$ -образных кривых. Графический метод основан на сравнении суммарного выноса консольных частей вагонов  $b$  и эффективной ширины захвата автосцепок  $B$  [1]. Для определения допустимого радиуса  $R$  необходимо решить систему уравнений

$$\text{при } B = b \text{ [2]:} \quad \begin{cases} B'[1,655 \sin(65 - \beta_0) - 0,5] = B; \\ (n(2l + n) - l_T^2) / (2R) + \lambda = b. \end{cases}$$

Определив величины  $b$  и  $B$  для различных значений радиусов, строятся соответствующие графики [2], в точке пересечения которых находится радиус, обеспечивающий автоматическое сцепление вагонов. Аналогично определяется радиус, обеспечивающий безопасное взаимодействие в  $s$ -образной кривой при условии  $B' \geq 2b$  [2].

Данный метод прост в применении, однако, учитывая близкий к квазистационарному характер изменения функций  $b = f(R)$  и  $B = f(R)$ , точность определения радиусов имеет приближенный характер. Для повышения его точности необходимо подбирать к графикам аппроксимирующие их функции, что усложняет данный способ.

Ко второму методу можно отнести аналитический. Он основан на уже рассмотренных условиях  $B \geq b$  и  $B \geq 2b$  [2]. Так, допустимая величина радиуса при сопряжении круговой кривой и прямого участка пути должна соответствовать условию  $R > (l + n) / \text{tg}\beta_0$  [2].

Допустимые величины радиусов  $s$ -образных кривых при условии  $l_{\text{кр}1} = l_{\text{кр}2}$ ,  $n_1 = n_2$ ,  $2l_1 = 2l_2$ ,  $2l_{T1} = 2l_{T2}$ ,  $R_1 = R_2$ ;  $\beta_0 = 0$  должны соответствовать условию  $R > (n(2l + n) - l_T^2) / (B' - 2\lambda)$  [2].

Представленный аналитический способ определения радиусов кривых обладает достаточной точностью и простотой применения. Однако следует отметить, что оба метода справедливы только в двух частных случаях: в точке сопряжения круговой кривой и прямой; в точке сопряжения кривых, образующих  $s$ -образную кривую. При этом принято, что взаимодействуют два однотипных вагона при условии полного размещения их баз на расчетных элементах.

Анализ существующих схем станций позволил выделить еще 17 расчетных сочетаний и показал, что рассмотренные ранее условия являются достаточно редкими на практике, а множество сочетаний параметров путей ( $R$ ,  $l_{\text{кр}}$ ,  $d$ ) и параметров вагонов ( $2l$ ,  $2l_T$ ,  $n$ ) весьма велико. Таким образом, представленные графический и аналитический методы не охватывают всего многообразия сочетаний элементов пути и конструкций вагонов, что ограничивает их применение для реальных схем станций.

Оценить весь спектр расчетных сочетаний позволяет моделирование положения вагонов на участках пути различной геометрии. Для этого сначала описывается математическая модель исследуемого участка пути. Затем задаются координаты первой тележки ( $X_{1T}$ ,  $Y_{1T}$ ), от которой производится расчет координат второй тележки ( $X_{2T}$ ,  $Y_{2T}$ ). Полученные координаты двух тележек вагона с

учетом смещения осей тележек вагона внутрь кривой и дополнительного смещения  $\lambda$ , определяют положение вагона относительно пути. Далее определяется положение консоли вагона и координаты оси сцепления автосцепки. Аналогично рассчитывается положение второго по ходу движения вагона с учетом совпадения проекций осей сцепления взаимодействующих автосцепок на соответствующий участок пути. Длины этих проекций характеризуют вынос консолей относительно оси пути  $b_1$  и  $b_2$ , разность координат осей сцепления автосцепок вагонов определяет величину  $b$ , а разность углов положения их баз –  $B$ . Таким образом, повторяя расчет с последовательным приращением координаты  $X_{1T}$  первой тележки первого вагона  $\Delta X_{1T}$ , рассчитывается множество значений  $b_{1i}$ ,  $b_{2i}$ ,  $b_i$  и  $B_i$ . Представив полученное множество точек в виде графиков, можно оценить влияние геометрии пути на безопасность маневровой работы на станции (соответственно линии 1, 2, 3 и 4, рисунок 1).

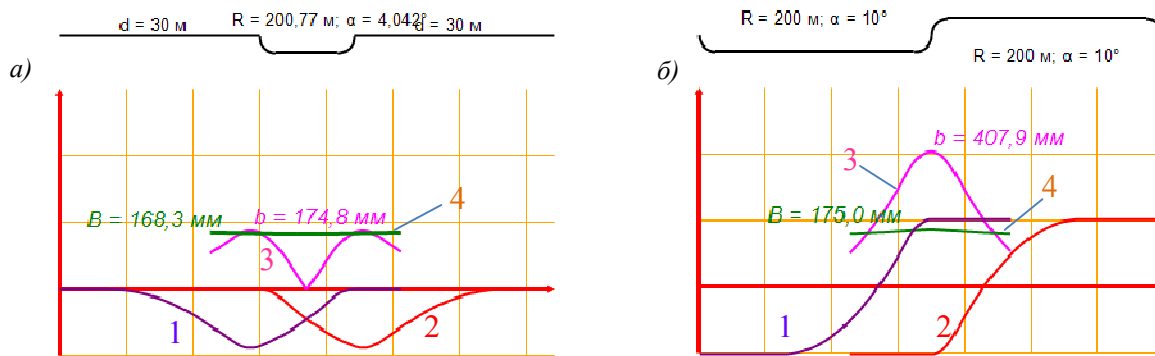


Рисунок 1 – Моделирование процесса взаимодействия длиннобазных вагонов без учета дополнительного смещения:  
 а – в переходной кривой стрелочного перевода 1/6; б – в s-образной кривой

Моделирование процесса взаимодействия вагонов на участках круговых (рисунок 1, а) и s-образных (рисунок 1, б) кривых подтверждает результаты графического и аналитического методов [2]. Проверка конструкций стрелочных горловин существующих станций выявило наличие значительного количества элементов конструкции, создающих неблагоприятные условия для выполнения маневровой работы с вагонами, в том числе длиннобазными. Использование рассмотренных методов при проектировании станций позволит повысить качество конструкций путевого развития, а на существующих станциях локализовать наиболее опасные зоны криволинейных участков путей, существенно повысив тем самым безопасность перевозочного процесса.

#### Список литературы

- 1 Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных) ГосНИИВ – ВНИИЖТ. – М., 1996. – 319 с.
- 2 Филатов, Е.А. Повышение безопасности функционирования железнодорожных станций / Е.А. Филатов // Сборник научных трудов Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна «Транспортные системы и технологии перевозок». Вып. 13. – Д. : ДНУЖТ, 2017. – С. 78–83.

УДК 656.062

## ЛОГИСТИКА КАК ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОИЗВОДСТВЕННО-СБЫТОВОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ

Е. О. ФРОЛЕНКОВА, В. Н. МИТИЛОВИЧ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

В настоящее время, для того чтобы добиться успеха в предпринимательской деятельности, недостаточно использовать маркетинговые подходы, требуется применение современных высокоэффективных способов и методов управления потоковыми процессами, таких как логистика, которая охватывает всю сферу и спектр деятельности предприятия, на всех стадиях развития производства она с помощью совокупности различных видов деятельности, способов и средств стремится сократить затраты и выпустить продукцию заданного количества и качества в установленные сроки и в установленном месте.



Знание некоторых принципов логистики экспертами позволяет легко возмещать неопределенность некоторых факторов внешней среды. Это принципы: рациональности; эмерджентности; системности; иерархии; интеграции; формализации. Принципы логистики позволяют совершенствовать методику и повысить качество организационного проектирования, обеспечить системный подход к проектированию транспортно-складской, производственной, коммуникационной и информационной подсистем.

Значительная часть логистических операций на пути движения материального потока осуществляется с помощью различных транспортных средств. Транспорт – связующее звено между элементами логистических систем. Транспортная логистика оптимизирует процесс доставки грузов.

Конкурентоспособность компании на рынке может достигаться множеством способов, одним из которых является снижение издержек. Затраты на хранение и транспортировку продукции составляют основную долю логистических затрат предприятия. Поэтому оптимизация в системе производства, распределения и доставки продукции с целью снижения затрат приобретает важное значение для предприятия, поскольку это один из низкзатратных способов повышения конкурентоспособности компании.

Сбыт изготовленной на предприятиях продукции является заключительным этапом производства. Планирование сбыта продукции промышленного предприятия является средством достижения целей предприятия, направленное на обеспечение потребностей потребителей. Значимость планирования сбыта продукции заключается и в том, что планируемые объемы сбыта определяют все важнейшие показатели предприятия: величину доходов, прибыль, уровень рентабельности и др. От качественного планирования сбыта зависят производственный процесс и материально-техническое снабжение. Процесс сбыта определяет результаты работы всего предприятия и направлен на расширение рынка сбыта.

Существуют различные способы перевозки грузов, используемых грузоотправителем в настоящее время. Осуществление перевозки одним видом транспорта имеет свои преимущества и недостатки. Поэтому наблюдается тенденция использования смешанных перевозок. Опыт показывает, что самым рентабельным, хотя и наивысшим по сложности, вариантом международной транспортировки продукции со всего мира являются мультимодальные перевозки грузов, осуществляемые силами нескольких транспортных компаний с единым командным центром. По мере дальнейшего развития международных торгово-экономических связей роль и количество мультимодальных грузоперевозок будет неизменно расти, одновременно возрастут и требования к качеству логистических и перевозочных процессов.

Логистика в Республике Беларусь, как и во всем мире, развивается быстрыми темпами. На сегодняшний день она стала неотъемлемой частью для развития многих крупных отечественных предприятий. Логистика позволяет рассмотреть совокупность технического и материального обеспечения деятельности организации как единую систему. Она означает оптимизацию издержек всех функциональных областей предприятия, которые неизбежны на любом производстве.

Логистика как в настоящее время, так и в будущем будет основным фактором в конкурентной борьбе. Оптимизация в системе производства, распределения и доставки продукции с целью снижения затрат приобретает важное значение для предприятия. Исследования, проведенные на предприятиях, доказывают положительную взаимосвязь между эффективной логистикой и успехом в предпринимательской деятельности. Отдел логистики должен являться связующим звеном в работе всех служб предприятия, координирующим центром предприятия.

Тот факт, что прибыль в конечном итоге реализуется в сфере обращения, объясняет пристальное внимание, которое уделяется каждым предприятием организации и совершенствованию своих сбытовых операций. Конкурентоспособность компании напрямую зависит от возможности сбыта готовой продукции на рынке. В связи с этим анализ рынков сбыта имеет ключевое значение в планировании сбыта продукции предприятия.

Уменьшение себестоимости продукции и сокращение издержек на транспортировку позволит повысить конкурентоспособность продукции на мировом рынке. Еще одним из приоритетных направлений совершенствования производственно-сбытовой деятельности предприятия является наращивание объемов экспорта. Самым рентабельным, хотя и наивысшим по сложности, вариантом международной транспортировки продукции со всего мира являются мультимодальные перевозки грузов. Увеличение доли мультимодальных перевозок в общем объеме перевозок способствует увеличению выручки и прибыли предприятия.

Поиск новых рынков сбыта и организация мультимодальной перевозки по доставке груза до потребителя повысит конкурентоспособность продукции и положительно отразится в целом на финансовом состоянии предприятия.

## **СРАВНЕНИЕ ВАРИАНТОВ ТРАНСПОРТИРОВКИ ШТУЧНЫХ ГРУЗОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ ТРАНСПОРТОМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КРЕПЛЕНИЙ РАЗНОГО ТИПА**

*О. С. ЧАГАНОВА*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В последнее время все большие темпы набирают процессы глобализации мировой экономики. Приобретают значительное влияние логистические подходы к управлению производством и товарными потоками, которые являются центральным звеном конкурентоспособности практически любого предприятия, планирующего работать на высоком уровне в Республике Беларусь и в международной сфере. В нашей стране штучные грузы перевозятся как во внутриреспубликанском сообщении, так и в международном. В перевозке участвуют различные виды транспорта – железнодорожный, автомобильный, морской.

В настоящее время все большее значение приобретает обеспечение безопасной, сохранной и своевременной доставки груза. Зачастую стоимость такой перевозки отходит на второй план. Отправитель готов заплатить за дополнительные и более дорогостоящие средства крепления или дополнительные операции с грузом в пути следования (такие как отсутствие роспуска с горки, большее число растяжек, обвязок и т.д.), чтобы обеспечить доставку груза в целости и сохранить деловую репутацию как надежного поставщика.

Было произведено сравнение стоимости доставки 1 тонны груза по железной дороге в вагоне и контейнере в зависимости от расстояния перевозки при применении существующего варианта погрузки и крепления груза с использованием деревянных щитов, брусков и пневмооболочек. При анализе полученных результатов установлено, что, несмотря на более высокую стоимость пневмооболочек, чем обычных средств крепления, стоимость перевозки 1 тонны штучного груза с их помощью ниже, чем при использовании деревянных брусков и щитов. Это достигается за счет того, что при использовании пневмооболочек безопасность транспортировки и сохранность штучных грузов улучшается и, как следствие, снижается уровень потерь груза в пути следования.

Сравнение стоимости перевозки в вагоне и контейнере штучного груза при использовании для его крепления в транспортном средстве пневмооболочек показывает, что при перевозке на расстояние до 850 км использование контейнеров является экономически невыгодным с точки зрения стоимости доставки. Однако использование контейнеров для перевозки штучного груза обеспечивает его лучшую сохранность, облегчает его перегрузку между различными видами транспорта (например, с железнодорожного на морской), а также уменьшает количество грузовых операций непосредственно с ценным штучным грузом.

Также был произведен расчет перевозки 1 тонны штучного груза автотранспортом. Стоимость доставки сравнивалась со стоимостью на железнодорожном транспорте при условии использования для крепления груза пневмооболочек. Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод, что при предлагаемом способе крепления с помощью пневмооболочек использование автотранспорта становится экономически невыгодным, когда расстояние перевозки превысит 150 км. Перевозка же ценного штучного груза в контейнерах по железной дороге с использованием в качестве креплений пневмооболочек является по сравнению с остальными рассмотренными вариантами перевозки наиболее эффективным с точки зрения как стоимости транспортировки, так и сохранности перевозимого груза.

## **ПОДГОТОВКА БУДУЩИХ СПЕЦИАЛИСТОВ ПО ОХРАНЕ ТРУДА И ЕЕ РОЛЬ В ОБЕСПЕЧЕНИИ БЕЗОПАСНОСТИ НА ТРАНСПОРТЕ**

*С. Н. ШАТИЛО, С. В. ДОРОШКО*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Анализ производственного травматизма на Белорусской железной дороге показывает, что одной из основных его причин является невыполнение руководителями и специалистами должностных обязанностей по охране труда и нарушения организации работ в соответствии с действующими

правилами и нормами по безопасности. Действующая на дороге Система управления охраной труда по СТБ 18001 предъявляет высокие требования к компетентности персонала в вопросах безопасности, которая определяется уровнем профессиональной подготовки и практического опыта.

В настоящее время непрерывно повышается технический уровень производства: внедряются новые технологические процессы, новое производственное оборудование и подвижной состав, более совершенные методы и формы организации производства. Поэтому возникают и новые, более сложные, чем раньше, проблемы в области условий труда и его безопасности. Во многих структурных подразделениях Белорусской железной дороги пока еще недостаточно высокий уровень механизации производственных процессов, особенно вспомогательных. Преобладает ручной, монотонный труд, что, конечно же, влияет на производственный травматизм. И если в ходе изучения других специальных дисциплин будущий специалист не всегда отмечает это в силу определенных причин, то при изучении охраны труда в ходе анализа опасных и вредных производственных факторов он обязательно выделяет этот факт, как одну из причин высокого уровня травматизма. Кроме того, конкретноскладывающиеся условия труда на объектах железнодорожного транспорта во многих случаях зависят не только от организации работы по охране труда, но и от решения технических вопросов.

В сложившихся условиях особое значение необходимо уделить вопросам повышения квалификации и компетентности специалистов, которые помимо основных требований и норм по технике безопасности и производственной санитарии должны освоить принципы проектирования безопасной техники и разработки технологий, а также средств защиты работающих. Реализации поставленных задач способствует такая организация учебного процесса по охране труда, при которой обеспечивается его непрерывность в течение всего периода обучения в вузе, постановка и решение в ходе учебных занятий конкретных проблем, стоящих перед отраслью в сфере охраны труда в настоящее время, привлечение студентов к учебно- и научно-исследовательским работам на кафедрах, анализ и решение конкретных производственных ситуаций и инженерных задач по обеспечению безопасных условий труда.

Особая роль в учебном процессе отводится лабораторным и практическим занятиям в форме СУРС, которые позволяют привить навыки пользования нормативными документами по охране труда, выполнения инженерных расчетов средств защиты работающих, проведения технической экспертизы безопасности оборудования и технологии и на этой основе принятия управленческих решений по обеспечению безопасности и улучшению условий труда.

Такие занятия приближают процесс обучения по охране труда к реальным производственным условиям, способствуют развитию творческих способностей. Для выполнения практических задач необходимо иметь определенную теоретическую подготовку. Использование же только материала, полученного на лекциях, во многих случаях оказывается недостаточным. Кроме того, в ходе практических занятий необходимо пользоваться методической, нормативной и справочной литературой. Все это способствует повышению качества самостоятельной работы студентов не только на занятиях, но и в ходе подготовки к ним.

Поскольку лабораторные и практические занятия по охране труда проводятся параллельно лекционным занятиям, то появляется возможность реализации в течение одного учебного семестра логической цепочки в изучении охраны труда: рассмотрение и анализ проблем охраны труда на лекциях, изучение и отработка методов исследования и оценки условий труда, решение практических инженерных задач, направленных на обеспечение безопасности труда. Непременным условием практических занятий в форме СУРС по охране труда является наличие реальных производственных ситуаций, а также необходимое учебно-методическое обеспечение. Поэтому подготовка к организации и проведению таких занятий потребовала существенных изменений в планировании и издании учебно-методических пособий, что способствовало в целом совершенствованию методической работы.

Разработка методики решения задач и выполнение индивидуальных заданий предусматривает использование реальных данных, характеризующих условия труда на конкретных рабочих местах. Известно, что нередко предпринимаемые для улучшения условий труда меры направлены не на устранение причин неблагоприятного воздействия факторов на формирование условий труда, а на борьбу с последствиями этого воздействия. Кроме того, компенсации за работу в неблагоприятных условиях в соответствии с действующим законодательством Республики Беларусь будут полностью и последовательно осуществлять социально-экономические функции только тогда, когда будут ос-

нованы на объективной оценке состояния условий труда, которая является органической частью хозяйственного механизма. Поэтому важно, чтобы будущий специалист получил навыки выполнения комплексного анализа и количественной оценки условий труда с учетом всех основных факторов, воздействующих на их формирование. С учетом этого на конечном этапе изучения охраны труда для студентов всех специальностей проводятся практические занятия по комплексной оценке условий труда и определению компенсаций за работу в опасных и вредных условиях.

УДК 338.24.021.8

## **ОПТИМИЗАЦИЯ СТРУКТУРЫ НЕДВИЖИМОГО ИМУЩЕСТВА КАК ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

*С. Л. ШАТРОВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

*В. Л. ЖИГАЛОВ, В. Я. КРАВЕЦ*

*Белорусская железная дорога, г. Минск*

Объекты недвижимого имущества – категория, являющаяся неотъемлемым компонентом деятельности компании, как сферы производства, так и оказания услуг. Она занимает весомую долю активов и позволяет обеспечить базовые условия труда работников, создает предпосылки эффективной работы, формирует совокупность средств, обеспечивающих экономическую безопасность таких капиталоемких компаний, как железная дорога.

С принятием постановления Совета Министров Республики Беларусь № 957 от 06.11.2013 «О порядке и условиях утверждения перечня неиспользуемых (неэффективно используемых) капитальных строений (зданий, сооружений), их частей и земельных участков (частей земельных участков), на которых они расположены», организации железнодорожного транспорта, наряду с иными субъектами хозяйствования республики, вынуждены искать варианты вовлечения в хозяйственный оборот неиспользуемых (неэффективно используемых) объектов недвижимого имущества либо избавления от лишних. В противном случае для капитальных строений, включенных в перечень по критериям: 1) не используемые более девяти месяцев суммарно в течение двенадцати предшествующих календарных месяцев в хозяйственном обороте, предпринимательской деятельности или 2) величине коэффициента использования которых в хозяйственном обороте, предпринимательской деятельности в течение двенадцати предшествующих календарных месяцев – менее 0,3, размер ежегодной арендной платы за земельные участки устанавливается до 10 раз выше стандартной, что напрямую оказывает влияние на рост затрат и уровень экономической безопасности организации.

Следует отметить, что сложившиеся условия хозяйствования в перспективе не дают надежды на рост объема выполняемых работ и услуг, а значит, и на большее вовлечение в хозяйственный оборот малоэффективных и, вследствие этого, неэффективно используемых объектов недвижимого имущества. В связи с этим следует рассмотреть несколько вариантов распоряжения капитальными строениями не используемыми (неэффективно используемыми) в хозяйственной деятельности, которые нашли отражение в разработанной методике расчета экономического эффекта при распоряжении, списании, вовлечении в хозяйственный оборот объектов недвижимого имущества, земельных участков на Белорусской железной дороге. Руководствуясь нормами, установленными Указом Президента Республики Беларусь № 294 от 04.07.2012 г. «О порядке распоряжения государственным имуществом», направлениями распоряжения объектами недвижимого имущества в методике определены следующие хозяйственные операции:

- безвозмездная передача объектов имущества субъектам государственной формы собственности, а также неиспользуемых земель в коммунальную собственность и др.;
- отчуждение объектов имущества в установленном порядке на аукционе, по конкурсу, без проведения аукциона либо конкурса;
- ликвидация объектов недвижимого имущества;
- использование объектов имущества в собственных целях после проведения реконструкции, капитального ремонта, перепрофилирования и иных мероприятий;

– внесение объектов имущества в уставный капитал (фонд) других организаций;

При обосновании направлений распоряжения капитальными строениями, неэффективно используемыми в хозяйственной деятельности, в качестве базового критерия в предлагаемой методике обоснована динамика роста капитала компании. В настоящее время в Республике Беларусь проблема капитала остро не стоит, так как большинство предприятий находятся в государственной собственности. Государство, ранее вложившее капитал, не отслеживает, что происходит с его величиной впоследствии. Однако путь на привлечение частных инвестиций в государственный сектор экономики и, как следствие, на его разгосударствление, несомненно, изменит существующий подход к оценке эффективности деятельности компании и ее менеджмента.

Первый вариант распоряжения имуществом – его передача Министерству транспорта и коммуникаций как собственнику имущества, однако в этом случае происходит лишь снижение стоимости активов железной дороги, а значит и капитала компании.

Второй – реализация имущества на аукционе. Такая продажа может осуществляться на торгах как способе передачи части активов (ресурсов, имущества) железной дороги частному бизнесу, в том числе малым фирмам. Учитывая, что собственником имущества выступает государство – оно же является и получателем выручки за реализованное имущество. Таким образом, средства, полученные от отчуждения на возмездной основе зданий, сооружений, находившихся в собственности Республики Беларусь, направляются в республиканский бюджет.

Третий – ликвидация по уровню снижения капитализации компании сравнима с двумя вариантами, описанными ранее. Поэтому рекомендовать данный вариант следует лишь в последнюю очередь.

Последующие варианты предполагают либо дополнительные вложения в объекты недвижимости, либо внесение их в качестве уставного фонда в создаваемое совместное предприятие, что, на наш взгляд, является наиболее предпочтительным с позиции сохранения и приумножения капитала. Однако только индивидуальный подход к выбору того или иного варианта распоряжения имуществом, находящимся в собственности железной дороги, может стать верным направлением повышения экономической безопасности компании.

УДК 656.2.08 : 656.2.022.836

## **ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ ПРИ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ГРУЗОВЫХ ПЕРЕВОЗКАХ**

*Д. Н. ШКАНДЫБИН, И. А. ИВАНОВ-ТОЛМАЧЕВ*

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

Развитием ВСМ, помимо пассажирского движения, является внедрение высокоскоростных грузовых поездов на строящихся линиях и скоростных по существующим линиям за счет уменьшения количества обычных пассажирских поездов из-за пересадки пассажиров на высокоскоростные линии. Это позволит во много раз увеличить грузопотоки и оптимизировать:

- скорость доставки;
- регулярность сервиса и стабильность транзитного времени;
- соблюдение фиксированного расписания движения как по времени нахождения поезда в пути, так и по его прибытию на конечный пункт;
- конкурентоспособный тариф по критерию «цена – срок доставки».

Данный вид сообщения очень интересен и в перспективе весьма выгодный, требующий детальной проработки. Пассажирские высокоскоростные поезда будут двигаться с большей скоростью, чем грузовые, во избежание износа верхнего строения пути в связи с разными нагрузками на ось от подвижного состава. На начальных этапах грузового движения на ВСМ это допустимо в связи с отсутствием пассажиро- и грузопотока на линии. Увеличение пассажиропотока приведет к съему грузовых поездов и постепенным вытеснением грузового движения в ночное технологическое окно (на примере зарубежного опыта, все работы по обслуживанию пути проводятся ночью), где движение поездов осуществляется по свободному пути. В случае востребованности высокоскоростных грузовых перевозок придется пересматривать организацию движения на линии или повышать характеристики грузовых поездов для повышения пропускной и провозной способности.

Для перевозки грузов на новых высокоскоростных линиях должен быть создан специальный подвижной состав и разработана новая технология по формированию и обработке этих вагонов в пунктах погрузки и выгрузки, не создающая угрозы безопасности движения. В связи с тем, что новый подвижной состав для скоростного и высокоскоростного движения будет иметь высокую стоимость, то значительные затраты времени на операции, связанные с подготовкой, погрузкой и формированием, неприемлемы. Поэтому необходимо разработать новую технологию обработки грузовых высокоскоростных поездов.

Не все грузы могут перевозиться с высокими скоростями. Неэффективно будет перевозить малостоящие грузы. И совсем недопустимо будет перевозить опасные грузы (легковоспламеняющиеся и взрывчатые).

На наш взгляд, при создании нового подвижного состава особое внимание необходимо будет уделять вагонам для перевозки мелких отправок и грузов в специализированных контейнерах и в рефрижераторных.

Для перевозки грузов вагоны должны иметь очертание, как и вагоны для пассажирских перевозок, поэтому подойдет как переустроенный пассажирский вагон, так и вновь созданный подвижной состав на базе пассажирского вагона. Для погрузки и выгрузки грузов в вагонах необходимо будет иметь раздвижные двери с каждой стороны. Внутри вагона нужны крепления для контейнеров или стеллажей в случае перевозки мелкими отправлениями во избежание перемещения грузов в пути следования.

Так как сеть железнодорожных линий для высокоскоростного и скоростного движения отсутствует, а будут пока построены только несколько линий, то грузовые перевозки будут организованы маршрутами. В случае необходимости выгрузки-снятия с подвижного состава нескольких контейнеров или выгрузки одного «пакета» грузов предлагается не отцеплять эти вагоны от состава, производя маневры, а ставить весь состав к удлинённому грузовому фронту. Составы скоростных и высокоскоростных грузовых поездов будут иметь меньшую длину, чем составы обычных грузовых поездов, поэтому на станциях погрузки-выгрузки необходимо предусмотреть возможность приема и отправления непосредственно на погрузочно-выгрузочные пути, минуя приемо-отправочные пути и не создавая враждебности маршрутов.

Грузовое движение на ВСМ с новой технологией обработки поездов способно создать более гибкий вид услуги на рынке грузоперевозок, которая будет конкурировать с любым видом транспорта в данной сфере.

УДК 656. 222. 3

## **ВЛИЯНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ПЛАНА ФОРМИРОВАНИЯ ПОЕЗДОВ НА ИХ УЧАСТКОВУЮ СКОРОСТЬ**

*К. М. ШКУРИН*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В современных условиях при снижении объемов грузопотоков и возрастании конкуренции между видами транспорта особую важность на железнодорожном транспорте приобрела задача организации перевозочного процесса при минимальных эксплуатационных расходах. Так, в плане организации вагонопотоков на Белорусской железной дороге ежегодно отмечается, что одной из важнейших технологических задач эксплуатационной работы железнодорожного транспорта является обеспечение минимальных расходов на перевозки. Таким образом, критерий минимизации эксплуатационных расходов является одним из определяющих при сравнении различных вариантов пропуска вагонопотока. При этом особую важность имеет задача сокращения времени нахождения поездов в движении. Это связано с тем, что стоимость локомотиво-часа работы значительно превышает стоимость вагоно-часа.

В соответствии с действующими в настоящее время на Белорусской железной дороге Методическими рекомендациями по расчету экономических параметров, позволяющих оценить эксплуатационные расходы по технологическим операциям услуг железнодорожного транспорта общего пользования, укрупненная расходная ставка на 1 час движения одиночного локомотива составляет

499,32 руб. в тепловозной тяге и 447,63 руб. – в электровозной, а стоимость одного вагоно-часа – 1,33 руб. Таким образом, стоимость 1 часа движения локомотива в тепловозной тяге эквивалентна стоимости 375 вагоно-часов, а в электровозной – 336 вагоно-часов.

Приведенные данные показывают, что изменение системы организации вагонопотока даже при увеличении затрат на накопление составов поездов в вагоно-часах может позволить достичь значительного экономического эффекта за счет сокращения времени нахождения вагонов и локомотивов в движении. При этом даже в рамках одного участка железной дороги существуют значительные расхождения в участковой скорости для поездов различных категорий.

В 2015–2017 годах на ряде участков Белорусской железной дороги было выполнено исследование зависимости участковых скоростей грузовых поездов от их категории. Полученные результаты позволили прийти к следующим выводам:

1 В общем случае участковые скорости и времена следования поездов по участкам подчиняются нормальному закону распределения.

2 Участковая скорость сквозных поездов при прочих равных условиях выше, чем у участковых поездов.

3 Разница между участковыми скоростями сквозных и участковых поездов возрастает при увеличении интенсивности движения и сокращении резерва пропускной способности на железнодорожном участке.

Так, например, на двухпутном участке Минск – Орша, нормативные размеры движения по которому согласно графику движения на 2016/2017 годы составляют более 70 пар поездов в сутки, средняя участковая скорость сквозных поездов превышает скорость участковых поездов на 18 %. На однопутном участке Кричев – Могилев с размерами движения, не превышающими 17 пар поездов в сутки, разница между участковыми скоростями сквозных и участковых поездов составляет 5 %.

Таким образом, категория грузового поезда в значительной степени обуславливает его участковую скорость и, соответственно, время его следования по участку. Использование критерия минимизации нахождения грузового вагона в пути (предусматривающего, в том числе, и сокращение потребности в локомотивном парке) является одним из условий совершенствования существующей системы организации вагонопотоков.

УДК 656.2.08.003

## **БЮДЖЕТИРОВАНИЕ КАК ОСНОВНОЙ ЭЛЕМЕНТ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ**

*Т. В. ШОРЕЦ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Экономическая безопасность – основа устойчивого развития экономики республики за счет обеспечения стабильности ее функционирования в режиме расширенного производства, выявления и нейтрализации влияния внешних и внутренних негативных факторов, что обеспечивает социальную, политическую стабильность в обществе. Поддержание экономической безопасности является важнейшим направлением в деятельности как отдельно взятого субъекта хозяйствования, так и государства в целом.

Экономическая безопасность предпринимательской структуры корпоративного типа, какой и является Государственное объединение «Белорусская железная дорога», характеризуется уровнем устойчивости связей между подразделениями данной бизнес-структуры, ее способностью к быстрой и безубыточной адаптации к изменению внешней среды. Помимо этого, экономическая безопасность функционирования железнодорожного транспорта рассматривается как способность к наращиванию конкурентных преимуществ за счет внутренних ресурсов в условиях жесткого законодательного регулирования, с одной стороны, в качестве крупнейшего налогоплательщика в нашей стране, а с другой стороны, в качестве инструмента экономических и финансовых реформ государства. Другими словами, экономическая безопасность ГО «Белорусская железная дорога» – это способность трансформируемой системы внутрикорпоративных финансово-экономических отношений адаптироваться к изменениям внешней среды без дополнительных затрат.

Однако необходимо учитывать, что многоуровневость и громоздкость организационной структуры объединения несет в себе внутреннюю угрозу экономической безопасности, так как при адаптации к постоянным изменениям внешней среды неизбежна потеря эффективности железнодорожного комплекса республики.

Белорусская железная дорога представляет собой многоотраслевое хозяйство, управление которым построено на принципах целостности, единства управления, системности, многомерности, иерархичности и целенаправленности. Как субъект хозяйствования железнодорожный транспорт представляет собой сложную многоуровневую систему, элементы которой взаимодействуют друг с другом на функциональной, территориальной и отраслевой основе.

Элементы каждого уровня данной многоуровневой системы корпоративного типа имеют помимо общих целей свои собственные, выполнение которых не должно противоречить реализации главных целей объединения. Для этого необходима эффективная система управления, координирующая деятельность всего железнодорожного транспорта в целом таким образом, чтобы достигался положительный эффект синергии, выполнение промежуточных целей способствовало бы выполнению стратегических целей развития отрасли, ресурсы, поступающие из внешней среды (основные средства, материалы, труд и т.д.) преобразовывались в транспортные услуги наиболее оптимальным образом. Именно это – основная цель работы системы управления, основной функцией которой является выработка эффективных управленческих решений. Последнее возможно на основе использования современных управленческих технологий, позволяющих оптимизировать корпоративное управление ресурсами объединения «Белорусская железная дорога» в режиме реального времени для обеспечения финансовой устойчивости как компании в целом, так и каждого структурного подразделения в отдельности. Необходимый инструментарий для решения указанной задачи содержит бюджетирование.

Бюджетирование представляет собой процесс управления производственно-хозяйственной деятельностью организации и действует на всех уровнях управления. С его помощью реализуются функции учета, планирования, анализа, стимулирования и контроля.

Система бюджетного управления позволит решать стратегические задачи объединения «Белорусская железная дорога» с помощью технологии планирования взаимоувязанных натуральных и стоимостных показателей, контроля за отклонением фактических параметров бюджетов от утвержденных и принятия обоснованных мер по их выполнению.

На текущий момент в качестве управленческой технологии используется планирование, которое во главу угла ставит планирование только производственных показателей. Его недостатком является отсутствие учета изменений ситуации на рынке и использование в качестве главного «узкого места» производственных ограничений.

Использование системы бюджетирования в ГО «Белорусская железная дорога» позволит:

- изучать рынки сбыта и возможности увеличения доходов от оказания транспортных услуг;
- сбалансировать доходы и расходы, потребности в ресурсах с источниками их получения;
- разделить ответственность за исполнение различных видов бюджетов по всем уровням управления корпоративным объединением, установить жесткий контроль расходов в зависимости от целей, для которых они производятся;
- обеспечить координацию действий управленческих структур и подчинение интересов структурных подразделений задачам объединения в целом.

Постановка системы бюджетирования на железнодорожном транспорте, отвечающей всем современным требованиям к управленческим технологиям, требует детальной и кропотливой работы экономистов и технических работников всех уровней управления, в чем существенную помощь может оказать активное использование всех возможностей Единой корпоративной интегрированной системы управления финансами и ресурсами на базе продуктов компании SAP SE. При этом внедрение бюджетного управления в объединении позволит увеличить устойчивость к внешним и внутренним изменениям технологических, экономических, организационных, региональных и других условий осуществления транспортной работы, обеспечив тем самым рост экономической безопасности как структурных подразделений, так и Белорусской железной дороги в целом.



## 2 БЕЗОПАСНОСТЬ И НАДЕЖНОСТЬ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

УДК 629.432

### ПОДТВЕРЖДЕНИЕ РАСЧЕТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА МЕТРОПОЛИТЕНА

О. С. АНАНЬЕВА

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Многообразие типов электрического подвижного состава (ЭПС) делает затруднительным создание универсальных аналитических методов решения этих задач. Не менее разнообразны схемы и конструкции систем тягового электроснабжения (СТЭ), обеспечивающие передачу электрической энергии от районных источников питания к ЭПС, что приводит к более сложному решению поставленных задач за счет необходимости учета электромагнитных и электромеханических процессов при совместной работе ЭПС и СТЭ. Серьезным препятствием к созданию аналитических методов расчета является случайный характер числа и времени появления поездов в зоне питания, а также уровня потребления электроэнергии ими из контактной сети. Решение этой важной практической задачи возможно путем имитационного моделирования совместной работы ЭПС и СТЭ метрополитена.

На кафедре «Локомотивы» Белорусского государственного университета транспорта была разработана математическая имитационная модель, которая позволяет учитывать начальные условия работы различных узлов СТЭ в зависимости от поездной ситуации на участке. Имитационная модель позволит решить следующие задачи:

- произвести тяговый расчет, результатом которого являются зависимость скорости движения подвижного состава от пути, времени хода поезда от пути и кривые потребляемого тока;
- выполнить электрические расчеты, которые позволят получить график нагрузки различных элементов тяговой сети: фидеров питания контактной сети и тяговых подстанций, значения напряжения между условной нулевой точкой схемы и различными узлами схемы;
- определить расход электроэнергии на тягу, а также потери электроэнергии в тяговых сетях.

Для проверки адекватности имитационной модели проведен эксперимент на первой линии Минского метрополитена по методике, разработанной автором.

Для подтверждения адекватности производства тяговых расчетов было необходимо по разработанной модели произвести математический расчет и сравнить его с данными, полученными в ходе эксперимента для одинаковых участков. Для расчета был взят участок Площадь Ленина – Академия наук, т.к. он является наиболее загруженным.

При проведении экспериментальных исследований были получены данные по интервалам попутного следования поездов, интервалам стоянки на станциях и в тупиках при работе в часы «пик».

По результатам исследований указанных выше времен были построены гистограммы распределения исследуемых величин, рассчитаны характеристики случайных величин и подобраны законы их распределения.

По результатам статистической обработки полученных данных подобраны законы распределения исследуемых случайных величин (таблица 1).

Таблица 1 – Законы распределения исследуемых случайных величин

Наименование случайной величины	Закон распределения	Параметры закона распределения		Критерий Колмогорова–Смирнова ( <i>P-value</i> )
Интервалы попутного следования	Наибольших предельных величин ( <i>Largest Extreme Value</i> )	<i>mode</i> 114,4	<i>scale</i> 16,0	0,33
Время стоянки на промежуточных станциях	Обратное распределение Гаусса ( <i>Inverse Gaussian</i> )	<i>mean</i> 39,5	<i>scale</i> 33,7	0,61
Время стоянки в тупиках		<i>mean</i> 32,7	<i>scale</i> 2,3	0,77

Для проверки адекватности имитационной математической модели расчетов электрических параметров СТЭ метрополитена необходимо сравнить статистические характеристики, полученные при натурном (по результатам измерений) и математическом (по результатам моделирования) экспериментах.

Был взят график токовой нагрузки тяговых агрегатов тяговой подстанции на шинах 825 В в часы «пик». При исследованиях измерялась активная мощность тяговой нагрузки по стороне 10 кВ со временем усреднения 3 с. Мощность была пересчитана на сторону 825 В с учетом потерь холостого хода и нагрузочных потерь тяговых агрегатов.

По результатам сравнения данных при моделировании и в ходе эксперимента можно сделать вывод, что погрешность результатов расчета не превышает 5%, что говорит о адекватности описания процессов.

УДК 621.891

## **ПОВЫШЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ УЗЛОВ ТРЕНИЯ РОЛИКОВОГО ТРАНСПОРТЕРА ЗВЕНЬЕВОГО ПУТЕУКЛАДЧИКА**

*М. В. АНИКЕЕВА, В. И. ВРУБЛЕВСКАЯ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Республика Беларусь располагает мощной транспортной системой, основу которой составляет железнодорожный транспорт. Проблема обеспечения безопасности и надежности подвижного состава на железной дороге всегда актуальна.

При капитальном ремонте пути и строительстве новых железных дорог используется звеньевой путеукладчик (укладочный поезд) – это комплект машин и оборудования для транспортировки и укладки путевых звеньев. Роликовый транспортер звеньевого путеукладчика эксплуатируется на открытом воздухе и при действии высоких динамических нагрузок.

При эксплуатации часто выходят из строя узлы трения роликового транспортера из-за заклинивания шарикоподшипников № 409, что иногда приводит к разрыву тросов лебедки, износу и поломке роликов, вследствие чего происходит несвоевременное окончание работ, изменение графика движения поездов. При переводе узла трения с шарикоподшипников на взаимозаменяемый подшипник скольжения самосмазывающийся, представляющий собой удлиненную втулку из древесины торцово-прессового деформирования (ПСС ТПД), последняя запрессована в корпус 8 и обеспечивает уменьшение давления, позволяет упростить сборку и разборку узла трения, повысить надежность и увеличить в 2–4 раза долговечность по сравнению с подшипниками качения.

Для совершенствования конструкции узла трения роликоопоры предложено использовать ПСС ТПД с внутренним кольцом. При износе внутреннего кольца производится его замена, а ось остается без повреждений. Проблема повышения износостойкости узла трения может быть решена путем изготовления внутреннего кольца из различных марок сталей, упрочненных методами термической и химико-термической обработки. Сочетание различных материалов и видов обработки позволит увеличить твердость контактной поверхности и соответственно износостойкость узла трения. Поэтому рациональный выбор стали и метода упрочнения для изготовления внутреннего кольца снизит затраты на ремонт и восстановление роликоопор звеньевого путеукладчика.

Для испытаний пары трения «сталь – вкладыш ТПД» на износ использовалась машина трения 2070 СМТ-1 при различных давлениях  $p = 1...10$  МПа и скоростях скольжения  $v = 0,25; 0,5$  м/с. Эксперименты проводились по схеме «ролик – частичный вкладыш».

Ролики из стали 45, 45Х обрабатывались объемной закалкой при температуре нагрева  $T_n = 820$  °С с охлаждением в масле и последующим низким отпуском при температуре нагрева  $T_n = 200$  °С в течение  $t = 2$  часов. Ролики из Стали 18ХГТ подвергались цементации при температуре нагрева  $T_n = 940$  °С и времени выдержки  $t = 7$  часов, закалка при температуре нагрева  $T_n = 840$  °С, низкий отпуск при температуре нагрева  $T_n = 200$  °С в течение  $t = 2$  часов.

Определение износа вкладышей ТПД, работающих с роликами из различных марок сталей, производилось весовым методом.

При скорости скольжения  $v = 0,25$  м/с выбранные пары трения способны выдерживать давления  $p$  до 10 МПа. Массовый износ вкладыша из ТПД, контактируемого с роликом из стали 45, составил  $\Delta m = 0,02...0,08$  г., из стали 45Х –  $\Delta m = 0,017...0,071$  г., из стали 18ХГТ –  $\Delta m = 0,012...0,062$  г. (рисунок 1, а).

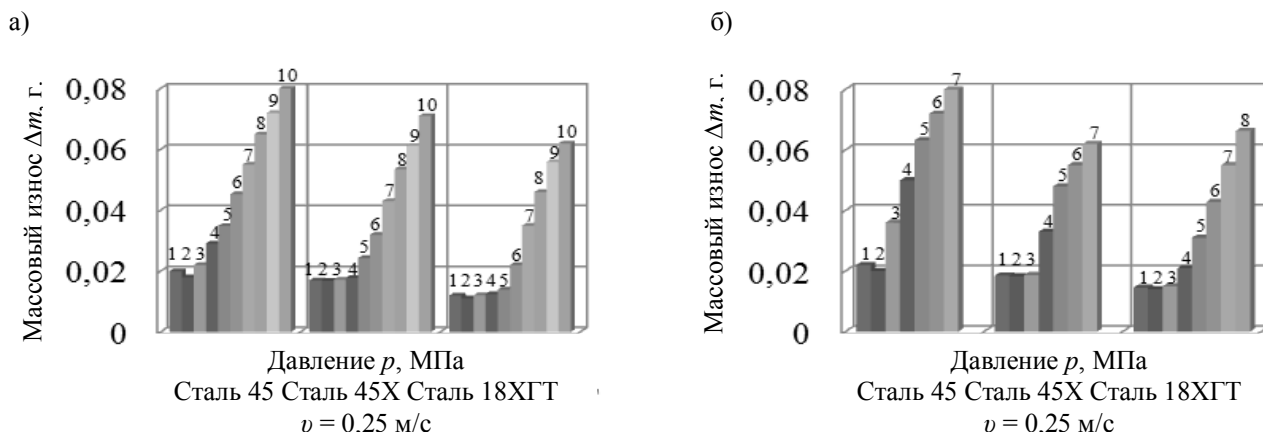


Рисунок 1 – Массовый износ вкладышей, работающих с контртелом из различных марок сталей твердостью 52–57 HRC при скоростях скольжения  $v = 0,25$  м/с (а),  $v = 0,5$  м/с (б) и давлениях от 1 до 10 МПа

С увеличением скорости скольжения до  $v = 0,5$  м/с снижается нагрузочная способность  $p$  до 7 МПа пар трения с роликом из стали 45, 45Х и до  $p = 8$  МПа со сталью 18ХГТ. Массовый износ вкладыша, работающего с образцом из стали 45 –  $\Delta m = 0,022...0,08$  г., с роликом из стали 45Х –  $\Delta m = 0,0185...0,062$  г., с роликом из стали 18ХГТ –  $\Delta m = 0,0145...0,0663$  г. (рисунок 1, б).

Таким образом, результаты испытаний показали, что массовый износ вкладыша при контакте с образцом из стали 18ХГТ имеет меньшие значения по сравнению с роликами из стали 45, 45Х. Такая разница, возможно, обусловлена химическим составом и видом химико-термической обработки, которые повышают поверхностную твердость стали 18ХГТ, снижают массовый износ частично вкладыша и повышают износостойкость узла трения.

#### Список литературы

- 1 Путьевые машины / под общ. ред. С. А. Соломонова. – М. : Транспорт, 1985. – 376 с.
- 2 Врублевская, В. И. Износостойкие самосмазывающиеся антифрикционные материалы и узлы трения из них / В. И. Врублевская, А. Б. Невзорова, В. Б. Врублевский. – Гомель : БелГУТ, 2000. – 324 с.

УДК 621.336

### УВЕЛИЧЕНИЕ РЕСУРСА ПАР ТРЕНИЯ ТОКОСЪЕМА

А. В. АНТОНОВ

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

Сильноточной скользящий контакт «контактный провод – токосъемных элемент» является одним из важнейших элементов звена передачи электрической энергии от тяговой подстанции к электроподвижному составу. При этом он должен соответствовать целой совокупности взаимоисключающих требований, которые обусловлены внешними влияющими факторами, параметрами системы токосъема и собственными физико-механическими, а также электрическими характеристиками пар трения токосъема.

Известно, что основная часть расходов на обслуживание электрифицированных участков железных дорог приходится на систему электроснабжения. Большая доля от этих расходов связана с процессом токосъема и проявляется в виде расходов на замену изношенных контактных проводов. Но не надо забывать о второй составляющей сильноточного контакта – токосъемных элементах, тип которых непосредственно определяет возможный ресурс контактного провода.

Опыт эксплуатации углеродсодержащих токосъемных элементов в течение последних лет показывает, что нормированный интервал значения их твердости является неоправданно высоким. Максимальное значение твердости превышает минимальное в 1,45 раза. Такой значительный интервал разброса приводит к тому, что партии вставок могут отличаться на 45 % друг от друга, а в пределах одной партии могут быть вставки как с минимальным, так и с максимальной твердостью.

Резкая структурная неоднородность и колебания плотности материала по длине токосъемных элементов приводит к появлению неравномерного износа, пропилов и поджогов вставок, особенно при появлении дождей или изморози. Подобная ситуация приводит к нерациональному использованию технического ресурса пар трения

Решением задачи увеличения ресурса пар трения токосъема может послужить использование метода эффективного расположения токосъемных элементов, который совместно с устройством для определения параметров угольных токосъемных элементов позволяет определить параметры последних и предложить оптимальное место их установки на полозе токоприемника. Адекватность предложенного метода проверялась с помощью прогнозной нейросетевой модели, которая была обучена на массиве экспериментальных данных, полученных во время длительных стендовых исследований.

При прогнозировании в качестве влияющих факторов на процесс износа пар трения токосъема использовали твердость вставок, их удельное электрическое сопротивление, кривую нажатия токоприемника вдоль пролета контактной подвески с учетом аэродинамической составляющей, скорость движения электроподвижного состава, силу тока в контакте, влажность окружающей среды.

Анализ полученных результатов исследований показал, что использование метода эффективного расположения токосъемных элементов может увеличить ресурс контактного провода до 10 %, а графитовых токосъемных элементов типа «А» – до 8 %. При этом выравнивается изнашивание контактного провода по длине пролета, что в долгосрочной перспективе позволит избежать необходимости монтажа вставок контактного провода в местах его наиболее интенсивного изнашивания. В то же время эксплуатация полозов токоприемников со специально-размещенными на них токосъемными элементами позволит увеличить их наработку до отказа по нормальному износу и уменьшить количество демонтируемых полозов из-за возникновения пропилов или неравномерного изнашивания по длине. Вышеперечисленное позволит также значительно увеличить производительность труда обслуживающего персонала.

УДК 629.421.2: 62-592

## **СРАБАТЫВАНИЕ ДАТЧИКА СОСТОЯНИЯ ТОРМОЗНОЙ МАГИСТРАЛИ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗРЫВА ГРУЗОВОГО ПОЕЗДА**

*А. А. АРХИПЕНКО, М. Г. ТИХОНОВИЧ*  
*Белорусская железная дорога, г. Минск*

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

На Белорусской железной дороге более 80 % грузовых поездов формируют длиной от 240 до 400 осей и более. В случае обрыва тормозной магистрали, особенно если он произошел в хвостовой части, локомотивная бригада не всегда может своевременно определить этот обрыв по повышенному расходу сжатого воздуха (быстрому снижению давления в главных резервуарах), падению давления в тормозной магистрали, частому включению и более продолжительной работе компрессора. Поэтому магистральные грузовые локомотивы, эксплуатируемые на железных дорогах стран СНГ и Балтии, оборудуют датчиками контроля состояния тормозной магистрали, в отличие от железных дорог Западной Европы, где поезда более короткие.

Датчик контроля позволяет повысить безопасность движения поездов, так как своевременно реагирует на разрыв магистрали, выключая при этом цепь тяги локомотива и зажигая сигнальную лампу «ТМ». Срабатывание датчика происходит и в случае самопроизвольного торможения.

При срабатывании в поезде любого воздухораспределителя на торможение осуществляется дополнительная разрядка тормозной магистрали, которая распространяется по всему поезду благодаря срабатыванию остальных воздухораспределителей. Датчик контроля состояния тормозной магистрали реагирует на повышение давления в канале дополнительной разрядки воздухораспределителя локомотива. Чтобы привести его в исходное состояние, необходимо повысить давление в тормозных цилиндрах локомотива до величины не менее 0,06 МПа, после чего гаснет сигнальная лампа и цепь тяги снова включается.

Таким образом, в эксплуатации возникает необходимость в определении причины срабатывания датчика – либо это случайное самопроизвольное срабатывание тормоза или действительно разрыв тормозной магистрали.

Согласно действующему на Белорусской железной дороге до отмены в 2015 г. стандарта СТП 9150.17.038–2006 при появлении признаков возможного разрыва тормозной магистрали, в том числе срабатывании датчика контроля состояния тормозной магистрали, машинист должен после отключения тяги перевести на 5–7 с ручку крана машиниста в положение перекрыши без питания и наблюдать за изменением давления в тормозной магистрали. Быстрое и непрерывное снижение давления свидетельствует о разрыве, а если через 5–7 с быстрое падение давления прекращается, значит, произошло самопроизвольное срабатывание тормозов без разрыва магистрали. Этот порядок действий позволял четко разделить причины срабатывания датчика контроля.

В новых Правилах технического обслуживания тормозного оборудования и управления тормозами железнодорожного подвижного состава (далее – Правил), утвержденных Советом по железнодорожному транспорту государств-участников Содружества в 2014 г., порядок действий локомотивной бригады был изменен. В соответствии с п. 179 Правил в случае срабатывания датчика контроля состояния тормозной магистрали машинист обязан выполнить служебное торможение с разрядкой тормозной магистрали на величину первой ступени, после чего установить кран машиниста в положение перекрыши без питания и остановить поезд. После остановки помощник машиниста должен осмотреть поезд, проверить целостность и плотность тормозной магистрали и выполнить сокращенное опробование тормозов. При повторении признаков нарушения целостности тормозной магистрали заказывается контрольная проверка тормозов на станции.

После введения в действие новых Правил на Белорусской железной дороге примерно в шесть раз возросло количество остановок и, соответственно, задержек поездов, вызванных срабатыванием датчика контроля состояния тормозной магистрали (в 2017 г. произошло 274 задержки против 48 в 2015 г.). Железная дорога несет большие материальные затраты. В то же время на сопредельных дорогах при наличии практически одинакового подвижного состава такого увеличения остановок не произошло. Это вызывает сомнение в том, что на этих дорогах локомотивные бригады строго соблюдают установленный Правилами порядок действий.

В ОНИЛ «Тормозные системы подвижного состава» БелГУТа проведен экспресс-анализ собранной службой вагонного хозяйства информации по случаям срабатывания датчика контроля состояния тормозной магистрали грузовых поездов в пути следования. Для анализа были представлены сведения о поезде (масса, длина в осях, серия и номер локомотива), плотности тормозной магистрали, режиме движения поезда в момент срабатывания датчика (тяга, выбег), величине падения давления в тормозной магистрали локомотива при срабатывании, профиле пути, результатах осмотра поезда локомотивной бригадой после остановки на перегоне, проверке на ПТО и др. По представленным данным были построены точечные графики. Каких-либо закономерностей в срабатывании датчика с учетом указанных выше параметров не установлено. В большинстве случаев при проведении контрольной проверки тормозов причина срабатывания датчика также не устанавливается. Например, с 1 января по 22 февраля 2017 года зафиксирована 51 задержка поездов из-за однократного срабатывания датчика контроля состояния тормозной магистрали, при этом в 40 случаях причина срабатывания установлена не была.

Белорусская железная дорога вышла на Совет по железнодорожному транспорту с предложением изменить порядок действий машиниста при срабатывании датчика контроля состояния тормозной магистрали.

Возможно, следует поставить вопрос о разработке нового, более совершенного датчика контроля, который должен учитывать работу тормозного оборудования современных локомотивов и тормозных систем вагонов с более плотными тормозными магистралями и срабатывать в случае действительного разрыва тормозной магистрали.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ВЫНУЖДЕННЫХ ЧАСТОТ КОЛЕБАНИЙ РАМЫ И ПОДВАГОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ ВАГОНА-ЦИСТЕРНЫ

*И. И. АРХУТИК, В. В. БЕЛОГУБ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*



Рисунок 1 – Трещины в месте крепления воздухораспределителя к хребтовой балке

Анализ результатов обследования технического состояния вагонов-цистерн в рамках реализации процедуры продления их срока службы показал, что в областях крепления подвагонного оборудования к хребтовой балке достаточно часто встречаются трещины по сварным швам, переходящие на основной металл (рисунок 1).

Одной из возможных причин может быть возникновение резонансных частот. Для анализа частот вынужденных колебаний рамы и подвесного оборудования вагона (тормозного цилиндра, воздухораспределителя) и элементов крепления выполнены экспериментальные исследования, в результате которых получен массив данных временных зависимостей ускорений, подвагонного оборудова-

ния в процессе движения вагона-цистерны. Для определения ускорений использовались акселерометры фирмы PJM LN с диапазоном измерений от 0 до 200g, регистрация и обработка сигналов выполнялась на оборудовании фирмы НВМ.

Для определения частот вынужденных колебаний полученные данные разлагались в ряд Фурье, который может быть записан в следующем виде:

$$f(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{+\infty} A_k \cos\left(2\pi \frac{k}{\tau} x + \theta_k\right),$$

где  $A_k$  – амплитуда  $k$ -го гармонического колебания;  $\pi \frac{k}{\tau} = k\omega$  – круговая частота гармонического колебания;  $\theta_k$  – начальная фаза  $k$ -го колебания.

В результате обработки экспериментальных данных установлено, что наибольшие амплитуды ускорений контрольных областей в груженом состоянии возникают при скоростях 60, 80 и 100 км/ч. Распределение вынужденных частот колебаний в зоне воздухораспределителя при различных скоростях представлено на рисунке 2.

Анализ экспериментальных данных показал, что при дальнейших исследованиях собственных частот колебаний воздухораспределителя с целью выявления возможных резонансных колебаний следует выполнить модальный расчет для следующих диапазонов частот: 0–65; 80–100 Гц, а при дальнейших исследованиях собственных частот колебаний места сочленения шкворневой и хребтовой балок с целью выявления возможных резонансных колебаний следует выполнить модальный расчет для диапазона частот 0–70 Гц.

Распределение вынужденных частот колебаний в зоне сочленения шкворневой и хребтовой балок при различных скоростях представлено на рисунке 3.

Для выявления возможных причин возникновения трещин в областях крепления подвагонного оборудования на следующем этапе работ необходима разработка конечно-элементной модели несущей конструкции вагона-цистерны с учетом крепления подвагонного оборудования.

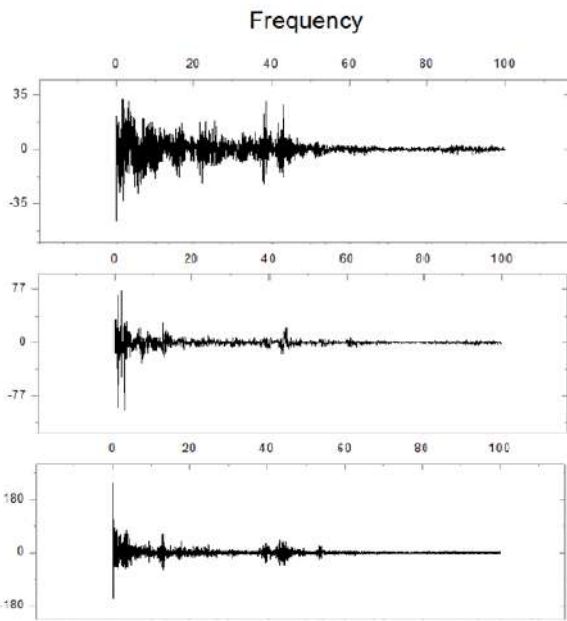


Рисунок 2 – Распределение вынужденных частот колебаний на воздухораспределители вагона-цистерны

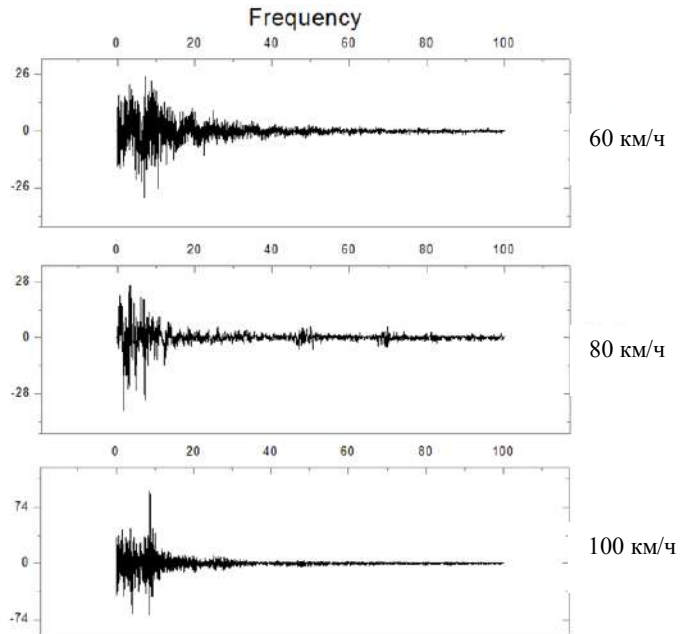


Рисунок 3 – Распределение вынужденных частот колебаний в месте сочленения шкворневой и хребтовой балок вагона-цистерны

УДК 629.4.083:629.45

## **АКУСТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ КОЛЕСНЫХ ПАР КАК СОСТАВЛЯЮЩАЯ ИНТЕГРИРОВАННОЙ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ ПОДДЕРЖКИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ПАССАЖИРСКИХ ВАГОНОВ**

*В. В. БОНДАРЕНКО, Д. И. СКУРИХИН*

*Украинский государственный университет железнодорожного транспорта, г. Харьков*

В структурных подразделениях железнодорожного транспорта Украины принята технология плано-предупредительного технического обслуживания и ремонта (ТО и Р), согласно которой ремонт вагонов проводят в установленные сроки, что является экономически недостаточно эффективно.

Известно, что технология ТО и Р по техническому состоянию, является более привлекательной с экономической точки зрения. Она базируется на знании технического состояния оборудования вагонов в режиме реального времени.

Методологической основой технологии ТО и Р по техническому состоянию является интегрированная логистическая поддержка жизненного цикла технических изделий – ИЛП-технологии. Они ориентированы на обеспечение высокого уровня эксплуатационной готовности вагонов при снижении затрат на эксплуатацию, техническое обслуживание и ремонт.

Главной задачей ИЛП-технологий является определение критериев предотказного состояния и остаточного ресурса. Решение данной задачи позволит перейти от технологии фиксирования отказов оборудования вагонов в периоды проведения ТО и Р к технологии прогнозирования и предупреждения этих отказов, основанной на мониторинге технического состояния с учетом интенсивности эксплуатации вагонов и прогнозировании запаса ресурса, определяя в итоге необходимость и объем ТО и Р.

Учитывая важность поддержания ходовых частей вагонов в исправном состоянии, в докладе рассмотрены наземные и бортовые системы их контроля в пути следования. Отмечена актуальность акустических систем контроля. Недостатком наземных средств, в том числе и акустических, является отсутствие непрерывности контроля и доступа к данным о техническом состоянии ходовых частей в произвольные промежутки времени.

Предлагаемая бортовая система мониторинга технического состояния колесных пар вагонов является составляющей ИЛП-технологий и предназначена для решения следующих задач:

- своевременного изъятия из эксплуатации колесных пар в предотказном состоянии и препятствия развития неравномерного проката при закатывании коротких неровностей;
- уменьшения времени восстановления ходовых частей для повышения эксплуатационной готовности вагонов;
- обеспечения возможности учета влияния условий эксплуатации и количества циклов ударных нагрузок на элементы ходовых частей вагонов для уточнения их остаточного ресурса.

По ссылке <https://youtu.be/hWA4xnJubH0> можно ознакомиться с работой бортовой системы акустического контроля колесных пар вагонов во время движения.

УДК 621.331

## **РАЗРАБОТКА ПРЯМОГО МЕТОДА РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА СИСТЕМ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ В СЛУЧАЕ СТАБИЛИЗАЦИИ МОЩНОСТИ НЕСКОЛЬКИМИ НАГРУЗКАМИ**

*Д. А. БОСЫЙ*

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

Расчет параметров режима систем тягового электроснабжения является важнейшим этапом, который определяет безопасность на этапах проектирования или эксплуатации железных дорог. Результаты этих расчетов непосредственно влияют на капитальные затраты, определяющие стоимость необходимого оборудования. Вместе с общепромышленными нагрузками, системы тягового электроснабжения характеризуются особенностями, которые исключают применение общеизвестных методик расчета проектных параметров. Вследствие недостатков вычислительных мощностей при разработке методов они были значительно упрощены и поэтому не учитывают ряд факторов.

Один из таких факторов дает о себе знать при внедрении интеллектуально-управляемых систем силовой электроники в электроэнергетике и, в частности, на железнодорожном транспорте. К таким устройствам следует отнести, например, современные преобразователи электроподвижного состава, способные поддерживать постоянную тяговую мощность при изменении напряжения на токоприемнике, управляемые устройства усиления тяговой сети, инверторные системы фотоэлектрических источников, которые поддерживают максимально возможную мощность фотоэлемента при изменении интенсивности солнечной радиации.

Системы тягового электроснабжения электрифицированных участков железных дорог являются сложными, кроме того, процессы в них протекают под воздействием большого числа факторов детерминированного и стохастического характера. Нестационарный характер электрических нагрузок и их способность перемещаться в пространстве приводит к зависимости параметров электропотребления от режимов ведения поездов, организации движения и местных особенностей участков. Напряжения на токоприемниках электровазов изменяется в очень широких пределах, что заставляет учитывать эти изменения из-за двух основных причин. Во-первых, скорость электровазов с тяговыми двигателями последовательного возбуждения при фиксированной силе тяги и позиции регулирования изменяется практически пропорционально напряжению, что в результате влияет на выполнение графика движения поездов. Во-вторых, расчет режимов системы тягового электроснабжения, который также базируется и на данных тяговых расчетов, требует тесной увязки процессов распределения и потребления электрической энергии.

В данное время широко известны и применяются итерационные методы, которые позволяют численно рассчитать параметры режима систем тягового электроснабжения при наличии потребителей с функцией стабилизации потребляемой мощности. Но использование самих итерационных методов для оптимизации режимов работы систем электроснабжения на основе интеллектуально управляемых элементов нецелесообразно через увеличение степени свободы, которое приводит к увеличению вычислительной мощности и высокой вероятности несходимости итераций.



Благодаря введению понятия функции сопротивления тяговой сети, которая представляет собой закономерность изменения приведенного сопротивления системы тягового электроснабжения от координаты пути, можно рассчитывать параметры режима системы электроснабжения через аналитическое решение уравнения баланса мощностей для определенного интервала времени. При условии нахождения нескольких нагрузок с функцией стабилизации мощности необходимо учитывать взаимное влияние нагрузок через электрическую сеть и решать систему уравнений второго порядка, количество которых определяется количеством нагрузок на межподстанционной зоне.

УДК 629.424.2:65.015.2

## **НОРМИРОВАНИЕ ТРУДА И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ТО-2 ДИЗЕЛЬ-ПОЕЗДОВ СЕРИЙ ДП-1, ДП-3**

*Г. Е. БРИЛЬКОВ, А. П. ДЕДИНКИН*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Ритмичная и устойчивая работа железнодорожного транспорта во многом обусловлена надежностью тягового подвижного состава и эффективностью его использования. В настоящее время в связи с ростом скоростей, увеличением весовых норм поездов и повышением требований к безопасности движения значительно возросло значение эксплуатационной надежности локомотивов. Надежность в эксплуатации в основном обеспечивается своевременными и качественными техническими обслуживаниями и ремонтами, что во многом зависит от уровня технологической готовности локомотиворемонтного производства.

Одной из актуальных задач в локомотивном хозяйстве Белорусской железной дороги является улучшение технического состояния и надежности тягового подвижного состава в эксплуатации за счет совершенствования и повышения качества технических обслуживаний и ремонтов посредством применения в локомотивных депо прогрессивных технологий и современных средств технологического оснащения, т. е. путем совершенствования технологической готовности производства. Одним из направлений данного процесса является нормирование труда, позволяющее установить нормы трудовых затрат на таком качественном уровне, который обеспечивает рост производительности труда и повышение эффективности работы подразделений железнодорожного транспорта.

С 2011 г. на Белорусской железной дороге началась эксплуатация дизель-поездов (рельсовых автобусов) 620McB, изготавливаемых фирмой PESA Bydgoszcz SA для работы в пассажирском движении в межрегиональном сообщении.

Эксплуатация и техническое обслуживание дизель-поездов осуществляется в соответствии с требованиями техническо-эксплуатационной документацией фирмы-изготовителя. Первоначально техническое обслуживание дизель-поездов осуществлялось фирменным методом предприятием-изготовителем, по окончании гарантийных обязательств – комплексными бригадами локомотивных депо приписки. Переход на периодическое техническое обслуживание работниками локомотивных депо приписки потребовал установления технически обоснованных норм времени с разработкой регламента выполняемых работ в соответствии с требованиями техническо-эксплуатационной документации фирмы-изготовителя.

Установление технически обоснованных норм времени позволяет определить среднюю продолжительность технического обслуживания, т. е. математическое ожидание продолжительности одного технического обслуживания за определенный период эксплуатации. Кроме того, применение обоснованных норм времени позволит предусмотреть оптимальное разделение труда между отдельными работниками комплексных бригад, обеспечит производительный характер работы и оптимальную загрузку, а также надлежащую специализацию.

Сотрудниками кафедры «Локомотивы» БелГУТа выполнена разработка норм времени на техническое обслуживание дизель-поездов серии ДП-1 и ДП-3 в соответствии с техническо-эксплуатационной документацией фирмы-изготовителя, разработанным службой локомотивного хозяйства Белорусской железной дороги перечнем работ на техническое обслуживание и опытом работы в локомотивных депо Калинковичи, Могилев и Минск.

Нормы времени разрабатывались на основе фотохронометражных наблюдений, выполненных сотрудниками кафедры «Локомотивы» БелГУТа. Фотохронометражные наблюдения включали проведение фотографий рабочего времени исполнителей. Фотохронометражные наблюдения проводились индивидуальным методом, предусматривающим наблюдение за работой одного исполнителя, занятого одной работой на одном рабочем месте.

Разработка норм времени выполнена аналитически-исследовательским методом, в соответствии с которым нормы устанавливаются на основе анализа результатов наблюдения (хронометража) за выполнением нормируемой операции.

Цель проведения хронометражных наблюдений – получение исходных данных для проектирования норм времени.

Порядок проведения хронометражных наблюдений, заполнение хронометражных карт ТНУ-5 и анализ полученных результатов выполнялся в соответствии с требованиями Положения об организации нормирования труда на Белорусской железной дороге, утвержденного приказом № 158Н от 26.04.2013, и Инструкцией, утвержденной приказом № 382Н от 08.11.2006.

Норма времени устанавливалась аналитически-исследовательским методом на основе анализа данных, полученных в результате непосредственного наблюдения за выполнением нормируемой операции на рабочем месте, в конкретных производственных условиях.

Таким образом, в результате хронометражных наблюдений, суммарное время на выполнение технического обслуживания дизель-поезда ДП-1 по циклу ТО-2 для слесарей по ремонту подвижного состава составило 5,51 нормо·ч, для мойщиков-уборщиков подвижного состава – 2,41 нормо·ч; дизель-поезда ДП-3 по циклу ТО-2 для слесарей по ремонту подвижного состава – 10,08 нормо·ч, для мойщиков-уборщиков подвижного состава – 4,86 нормо·ч.

Сборник норм времени на техническое обслуживание ТО-2 дизель-поездов ДП-1 и ДП-3, подготовленный сотрудниками кафедры «Локомотивы» БелГУТа и Центром разработки нормативов для организации и нормирования труда Белорусской железной дороги, принят к внедрению на Белорусской железной дороге.

УДК 629.421.4

## **ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ КОЛЕСА МАНЕВРОВОГО ТЕПЛОВОЗА ЧМЭЗ ПРИ ДВИЖЕНИИ В КРИВОЙ МАЛОГО РАДИУСА**

*Г. Е. БРИЛЬКОВ, А. П. ДЕДИНКИН, А. В. ПУТЯТО*  
*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

*М. С. ЗАСТОЛЬСКИЙ*  
*Локомотивное депо Могилев Белорусской железной дороги*

Наиболее распространенным маневровым тепловозом на Белорусской железной дороге является ЧМЭЗ, инвентарный парк которых в настоящее время составляет порядка 260 секций. К одному из наиболее серьезных недостатков, встречающихся при эксплуатации, относится выход из строя колесных пар в результате возникновения трещин в колесных центрах. Анализ характера повреждений, конструктивных особенностей ходовой части и условий эксплуатации локомотива показали, что причиной может быть возникновение высоких значений напряжений в элементах колеса при движении по кривым участкам пути малого радиуса. Поэтому целью работы является оценка прочности колеса маневрового локомотива серии ЧМЭЗ при движении в кривой малого радиуса.

На тепловозах серии ЧМЭЗ применены одноповодковые буксовые узлы с двухрядными сферическими самоустанавливающимися подшипниками, позволяющими передавать осевые силы без специального осевого упора. Однако такая конструкция не дает возможности смещения осей колесных пар вдоль корпуса букс, усложняя вписывание тепловоза в кривые. Вписывание в кривую малого радиуса обеспечивается в большей степени за счет упругого перемещения в осевом направлении на 3–3,5 мм и поворота колесных пар на небольшой угол при смятии резиновых элементов крепления буксовых узлов к раме тележки. Данная особенность конструкции тележки тепловоза

серии ЧМЭЗ отличает его от большинства современных тепловозов, у которых свободный разбег средних колесных пар составляет  $\pm 14$  мм.

Анализ геометрического вписывания колесных пар тепловоза ЧМЭЗ, обточенных по профилю ГОСТ 11018, в кривую радиуса 80 м при изменении ширины колеи зазора от минимального до максимального значения показал [1], что при положении наибольшего перекоса (положение, занимаемое тележкой при малых скоростях движения, при котором первая колесная пара упирается гребнем в наружный рельс, а третья – во внутренний) зазор между средней колесной парой и внутренним рельсом для всех значений ширины колеи зазора отрицателен и может достигать 12 мм при значении ширины колеи зазора 22 мм. В положении высоких скоростей (когда первая и третья колесные пары прижимаются гребнями к наружному рельсу) для значений ширины колеи зазора от 26 до 40 мм зазор между средней колесной парой и внутренним рельсом положителен, а для меньших значений вписывание возможно только за счет осевого смещения второй и третьей колесных пар. На рисунке 1 приведены результаты расчета вписывания тепловоза в кривые различных радиусов при номинальном значении ширины колеи зазора 29 мм.

Отметим, что при выполнении расчетов не учитывалось отжатие рельсов под действием бокового давления, способствующее прохождению кривой. По результатам экспериментальных данных для рельсошпальной решетки с бетонными шпалами поперечное усилие в 30 кН вызывает смещение порядка 6 мм.

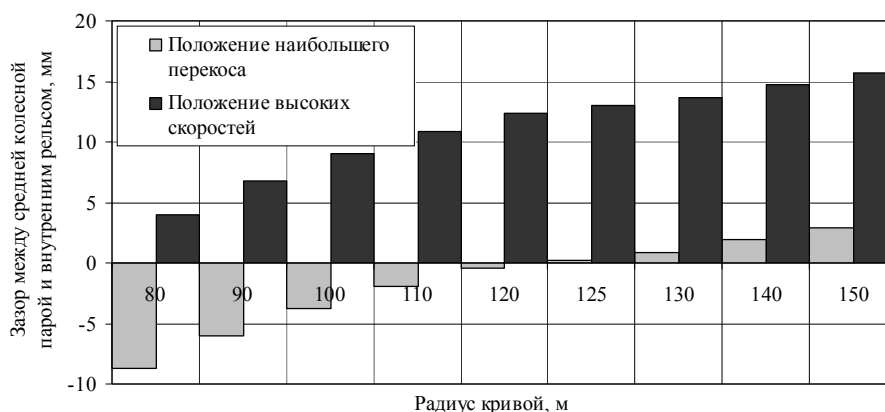


Рисунок 1 – Вписывание тепловоза в кривые при ширине колеи зазора 29 мм

Для оценки прочности колеса при прохождении кривой малого радиуса разработана конечно-элементная модель в программном комплексе ANSYS. На рисунке 2 приведена картина распределения эквивалентных напряжений по Мизесу (в Па) при действии бокового усилия на гребень колеса, равного 43 кН, рассчитанному в соответствии с [2] при ряде осредненных параметров.

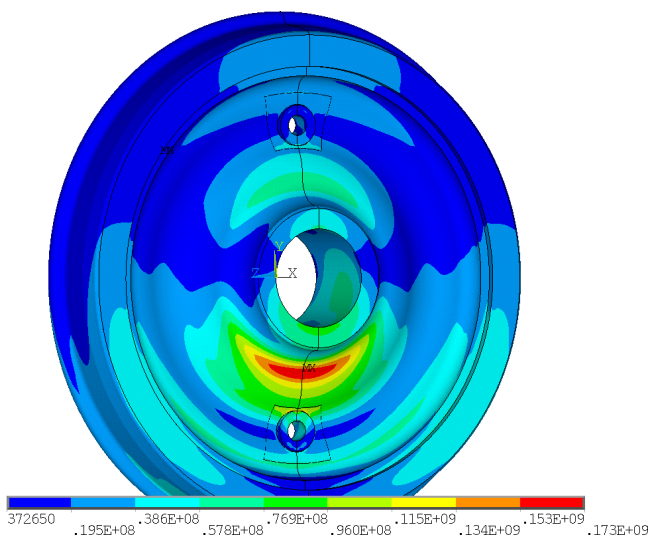


Рисунок 2 – Напряженно-деформированное состояние колеса и фрагмент излома колесного центра

Из приведенного рисунка видно, что конструктивная область колесного центра, где получен максимальный уровень напряжений ( $\approx 80\%$  от предела текучести для стали 20Л), соответствует месту излома в эксплуатации. Учитывая результаты расчетов зазоров при вписывании в кривые малого радиуса средней колесной пары тележки и экспериментально полученное значение поперечной силы при смещении рельса, следует предположить о появлении в эксплуатации достаточно высоких боковых сил, действующих на гребень колеса, которые приведут к существенному увеличению значений напряжений, полученных расчетом. Дополнительно отметим, что в эксплуатации просматривается закономерность появления трещин в бандажах и центрах 2-й и 5-й колесных пар тепловозов, обточенных по профилю ГОСТ 11018 (толщина гребня составляет 33 мм).

К наиболее простому мероприятию, которое позволит облегчить вписывание тепловоза ЧМЭЗ в кривые, следует отнести применение бандажей с гребнями уменьшенной толщины.

#### Список литературы

1 Застольский, М.С. Анализ геометрического вписывания тепловоза серии ЧМЭЗ в кривые малого радиуса / М.С. Застольский, П.А. Сахаров // X международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых : сб. докл. – Губкин, 2017. – С. 106–109.

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

УДК 629.45

## ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ ПАССАЖИРСКИХ ВАГОНОВ

*Е. В. БУГАЕВА*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Безопасность и надежность подвижного состава является важнейшим критерием его эксплуатации для Белорусской железной дороги. Только при соблюдении условия безопасности и надежности подвижного состава возможны перевозки грузов и пассажиров.

Диаграмма распределения пассажирских вагонов приписного парка по типам приведена на рисунке 1.

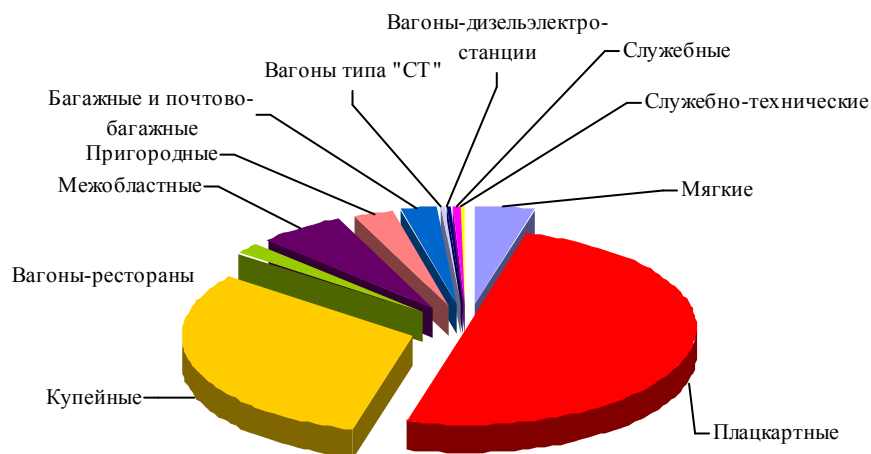


Рисунок 1 – Диаграмма распределения пассажирских вагонов приписного парка по типам

Для оценки показателей надежности вагона приняты такие понятия как работоспособность, безотказность и долговечность. Показателем долговечности является средний ресурс, назначенный гамма-процентный ресурс, средний срок службы.

Анализ среднего возраста основных двух типов пассажирских вагонов показал, что средний возраст пассажирских вагонов Белорусской железной дороги увеличивается (рисунок 2).

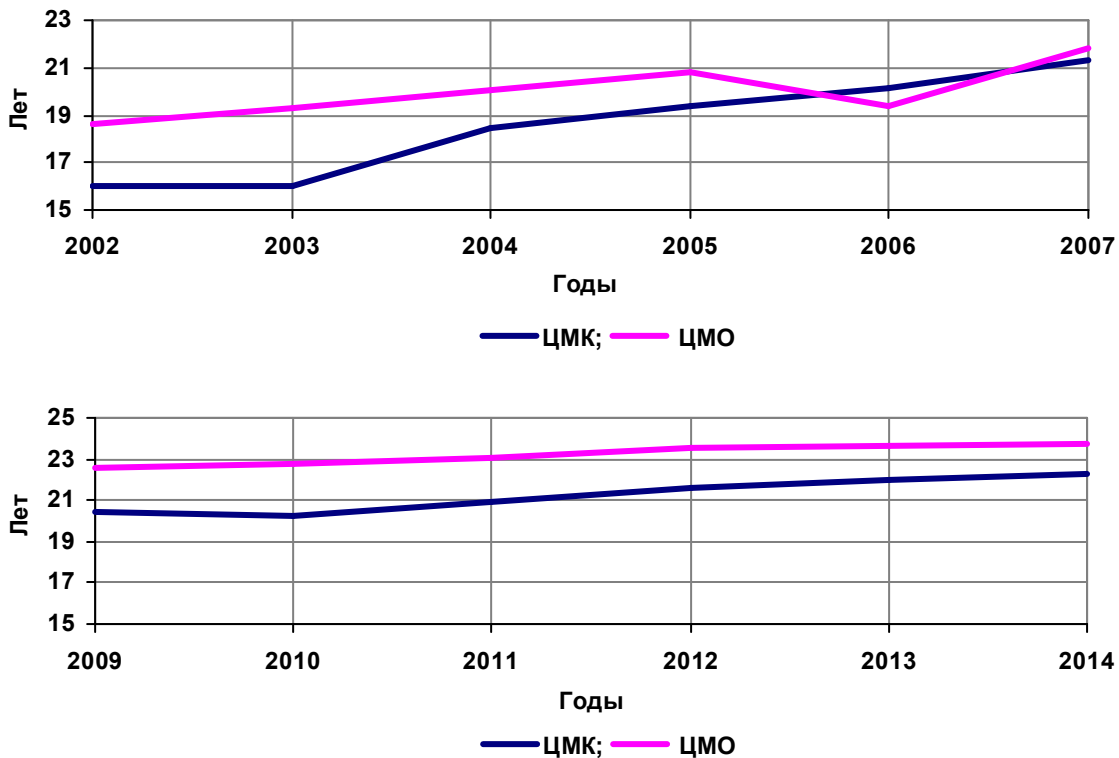


Рисунок 2 – Средний возраст пассажирских вагонов

Пассажирские вагоны, как и все объекты подвижного состава, рассчитаны на определенный период эксплуатации. За время эксплуатации пассажирские вагоны расходуют свой технический ресурс, который необходимо восстанавливать. Чем старше вагон, тем ближе период обновления, т. е. закупки нового вагона. Чем большее количество пассажирских вагонов необходимо приобрести, тем больше требуется финансовых ресурсов.

За последнее десятилетие наблюдается значительное снижение закупки новых пассажирских вагонов Белорусской железной дороги с сотен (264 вагона ЦМК и ЦМО в 2001 г.) до десятков и единиц в последние годы (8 вагонов этих же типов в 2015 г.). Такая картина характерна не только для Белорусской железной дороги, но и для Российских железных дорог. В соответствии со Стратегией развития железнодорожного транспорта ОАО «РЖД» до 2030 г. в перспективном плане Российских железных дорог на 2008–2030 гг. план по приобретению пассажирских вагонов составляет: минимальный вариант – 26 558 единиц, максимальный – 29 558 единиц. Среди поставленных для решения задач особо выделяют две задачи, направленные на обеспечение безопасности и надежности железнодорожного транспорта: снижение совокупных транспортных издержек, в том числе за счет эффективности функционирования железнодорожного транспорта, приведение уровня качества и безопасности перевозок в соответствие с требованиями населения и экономики и лучшими мировыми стандартами на основе технологического и технического развития железнодорожного транспорта [2].

Зарубежный опыт показывает, что железные дороги не стремятся списать вагоны, в том числе и пассажирские, которые отслужили свой срок службы. С целью снижения финансовой нагрузки, опираясь на зарубежный и отечественный опыт, необходимо рассматривать все варианты воспроизводства подвижного состава, в том числе и восстановление технического ресурса пассажирского вагона с применением различных вариантов модернизаций.

#### Список литературы

- 1 Бугаева, Е.В. Интегрированная поддержка жизненного цикла технических средств железнодорожного транспорта : [моногр.] / Е. В. Бугаева. – Гомель : БелГУТ, 2011. – 197 с.
- 2 Оценка стратегий и направлений по обеспечению безопасности и надежности железнодорожного транспорта / А.Н. Головаш, Н.Б. Куршакова, Д.Э. Тиссен // Проблемы современной экономики. – 2010. – № 2. – С. 378–382.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ РЕГИСТРАЦИИ ВЛИЯНИЯ СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА РАБОТУ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ТРАКТОВ АППАРАТУРЫ КТСМ И РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВ ДЛЯ МИНИМИЗАЦИИ ЭТОГО ЯВЛЕНИЯ**

*В. В. БУРЧЕНКОВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

*И. А. БОРОВСКАЯ*

*Управление Белорусской железной дороги, г. Минск*

Приборы, системы и комплексы бесконтактного контроля технического состояния подвижного состава на ходу поезда (КТСМ, АСДК-Б, НОА-400, ДИСК 2, ПОНАБ-3) являются важнейшими диагностическими инструментами для обеспечения безопасности перевозочного процесса. Влияние солнечного излучения на работу аппаратуры контроля буксовых узлов известно еще со времени разработки и начала эксплуатации устройств ПОНАБ-3 и обозначено инструктивно. В инструкции ЦВ-ЦШ-453 пунктом 7.17 установлено, что на время влияния солнечного излучения на работу средств обнаружения перегретых букс, выявленного на практике и зафиксированного в местной инструкции, средства контроля из работы не выключаются, а необоснованные задержки поездов этими средствами из-за влияния солнечного излучения не принимаются в учет при оценке показателей их работы.

Период и время влияния солнечного излучения на работу систем обнаружения перегретых букс определяются расчетом согласно техно-рабочему проекту «Размещение аппаратуры ПОНАБ № 417719» для каждого, подверженного влиянию, комплекса, уточняются по результатам эксплуатации и вносятся в местную инструкцию, утверждаемую начальником отделения дороги. Для уменьшения влияния солнечного излучения каждый такой комплект оснащается солнцезащитными фильтрами. То есть влияние солнечного излучения на работу средств контроля не квалифицируется как отказ устройств контроля подвижного состава, а порядок отнесения задержек поездов, остановленных по солнечной «засветке», также конкретизирован инструктивно.

В документе Р 863 «Рекомендации по размещению, установке, эксплуатации и техническому обслуживанию систем автоматического контроля технического состояния подвижного состава во время движения» утвержденного 26.10.2007 г. Совещанием Комиссии ОСЖД по инфраструктуре и подвижному составу, г. Варшава, в пункте 9.18 отмечено, что задержки поездов из-за воздействия на средства контроля стихийных бедствий (гроза, наводнение), аварийного отключения электрического питания, солнечного излучения (платформы без настила, платформы-лесовозы), горячего груза (налив, битум) относятся к прочим причинам, не учитываемыми за причастными хозяйствами.

Эти положения инструкций указывают на то, что воздействие солнечного излучения на аппаратуру контроля является недостатком самой системы. Со стороны разработчиков ПОНАБ и ДИСК (УО ВНИИЖТ) и КТСМ (ОАО «Инфотекс») были разъяснения о подверженности «засветки» измерительных трактов как аппаратуры ПОНАБ-3, так и КТСМ-01, КТСМ-01(Д) и в меньшей степени КТСМ-02. Применение солнечных фильтров не устраняет полностью влияние солнечного излучения, а лишь частично снижает его по длительности и силе. Полное устранение влияния при помощи светофильтров принципиально невозможно, так как светофильтры устраняют только коротковолновую (< 6 мкм) часть спектра солнечного излучения, а в оставшейся полосе спектра (6–14 мкм) солнце излучает энергию, значительно превышающую энергию излучения корпусов букс.

Известно только одно средство, позволяющее полностью избавиться от влияния солнечного излучения, предложенное Шайдуровым П.С. (УО ВНИИЖТ), – это специальные теньевые щиты, которые необходимо размещать за габаритом приближения строений на оси оптической ориентации напольных камер, подверженных солнечному влиянию. Но подобное техническое решение осложнено тем, что щиты размером 2 × 2 м необходимо устанавливать на высоте не менее 4,5 м, что требует применения специальных опор и согласования с рядом сопричастных служб.

Вместе с тем, согласно Положению о порядке Учета отказов технических средств в рамках комплексной автоматической системы учета контроля устранения отказов технических средств и анализа их надежности (КАСАНТ) случаи остановки поезда из-за воздействия на средства контроля солнечного излучения оперативно относятся на службу автоматики и телемеханики.

Очевидно, что фактическое влияние солнечного излучения следует минимизировать и идентифицировать в режиме реального времени для оперативного сопоставления с конкретными остановками поездов по показаниям аппаратуры контроля. Важным этапом является определение характера статистической связи солнечного излучения и «засветки» измерительного тракта аппаратуры контроля буксовых узлов и выявление способов воздействия на показания результатов контроля. Конечным итогом исследований явится минимизация неподтвержденных задержек поездов из-за солнечного влияния и других тепловых излучений.

В ходе выполнения работы предполагается осуществить:

– сбор и анализ статистических данных о задержках поездов из-за ложных срабатываний на фитинговые платформы, горячий груз, на шкивы пассажирских вагонов, выхлопные трубы ССПС и другой специальной техники, а также из-за солнечной «засветки»;

– исследование косвенного распознавания вероятного влияния солнечного излучения;

– разработку алгоритма согласования результатов измерений инфракрасной энергии буксовых узлов и солнечного излучения;

– разработку, изготовление и испытание в полевых условиях идентификатора солнечного излучения;

Проведения указанных исследований основано на результатах мониторинга теплового контроля подвижного состава, работе по совершенствованию алгоритма для теплового контроля подвижного состава комплексами КТСМ-01(Д) и ряде других. Опыт выполненных работ показал возможность разработки идентификатора солнечного влияния для повышения надежности работы устройств контроля буксовых узлов.

УДК 629.4.:62-69

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АЛГОРИТМА ДЛЯ ТЕПЛООВОГО КОНТРОЛЯ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА**

*В. В. БУРЧЕНКОВ, М. А. ПОНОМАРЕНКО*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Основной целью мониторинга теплового контроля буксовых узлов вагонов является обеспечение безопасного и безостановочного движения поездов. Благодаря использованию высокоскоростных каналов передачи информации, организованных по волоконно-оптическим линиям связи и применению современного компьютерного оборудования, повысилась скорость доставки пакетов данных. Это дало возможность, помимо централизации контроля состояния буксовых узлов в Автоматизированной системе контроля подвижного состава АСК ПС, в режиме реального времени отслеживать параметры аппаратуры нового поколения – микропроцессорных комплексов контроля технического состояния подвижного состава КТСМ-01Д и КТСМ-02. С помощью напольных приемников инфракрасного излучения в поезде определяются перегретые буксы. В зависимости от температуры корпуса буксы аппарата контроля выдает сигналы аварийного состояния: «Тревога 0», «Тревога 1», «Тревога 2». Для повышения безопасности движения поездов важно отслеживать нагрев на ранней стадии (до тревожного уровня), чтобы вовремя предупредить разрушение буксового узла, а также оценить запас хода такой буксы до формирования предаварийного сигнала тревоги.

Эти задачи решаются с помощью централизованного мониторинга нагрева букс. Для обеспечения надежного контроля существующего парка вагонов предлагается использование дополнительных критериев тревожной сигнализации.

Первый критерий «Разность по стороне» – это разность температуры одной буксы и средней температуры остальных букс на одной стороне вагона. С помощью этого критерия можно выявлять буксы, температура которых заметно отличается от остальных букс контролируемого вагона. Также можно предупреждать необоснованные остановки поездов с вагонами на конических подшипниках кассетного типа, так как у таких вагонов большая часть букс (или все) имеет повышенный рабочий нагрев, а разность температур минимальна.

Второй критерий «Разность по оси» оценивает, насколько температура корпуса одной буксы превышает температуру корпуса противоположной буксы на той же оси. Критерий «Разность по оси» позволяет избежать тревожных показаний на отдельные колесные пары вагонов, нагрев букс

которых повышен, но одинаковый с обеих сторон. Это касается так называемой «приработки подшипника» после смены колесной пары и (или) подкатки под вагон колесных пар с разнородными смазками, что не исключено в эксплуатации [1].

Численные значения порогов тревожной сигнализации по критериям «Разность по стороне» и «Разность по оси» следует установить в диапазоне от 20 до 40 °С в зависимости от расстояния между смежными пунктами контроля и их расположения на участке безостановочного следования поездов: минимальные – для технологических пунктов перед ПТО и максимальные – для промежуточных пунктов контроля перед пунктами безопасности. Новые критерии могут органично встраиваться в алгоритм теплового контроля подвижного состава.

Слежение за динамикой нагрева по станциям движения поезда практически исключает влияние посторонних факторов при контроле буксового узла (температура окружающей среды, различные скорости движения, сила и направление ветра, погрешность в настройке аппаратуры). При проверке ходовых частей вагонов сравниваются температуры корпусов соседних букс. При одинаковых внешних условиях значительные температурные отличия свидетельствуют о серьезных изменениях в техническом состоянии механизмов букс. В то же время вероятность одновременного теплового разрушения двух, трех и более буксовых узлов одной стороны вагона ничтожно мала. Таким образом, последовательность значений температур актуальна в качестве дополнительного критерия для оценки уровня аварийности буксового узла.

Для сравнения полученных на смежных пунктах контроля температур необходимо, чтобы условия измерения были одинаковыми. Благодаря практически линейной зависимости температуры корпуса от влияющих факторов, достаточно ограничиться нормировкой значений температур букс, полученных по соседним станциям А и В, на их средние значения  $T_A$  и  $T_B$ , соответственно. Таким образом, техническое состояние  $i$ -го буксового узла характеризуется приведенной температурой  $\theta_i = T_i/T$ , фактически указывающей на долю температуры его корпуса в общем среднем значении температуры корпусов букс по контролируемой стороне поезда.

При условии примерно одинаковой теплоотдачи численные значения  $\theta_i = 0,5$  и  $\theta_j = 2$  означают, что тепловыделение  $i$ -й буксы в два раза выше, чем в среднем по контролируемой стороне поезда. Положительная динамика приведенной температуры одного из корпусов указывает на ухудшение технического состояния буксы.

Использование разработанной методики позволяет осуществлять раннее выявление разрушений букс, в том числе порожних и слабозагруженных вагонов, где процессы разрушения идут относительно вяло.

В режим слежения обычно попадает до 65 % так называемых теплых (с 15 уровнем нагрева) букс, которые еще не вызывают срабатывания тревожной сигнализации «Тревога 1» (обычно в два раза выше). По предупредительной сигнализации «Тревога 0» с признаком (Д) «динамика нагрева букс» на ПТО отцепляется до 35 % неисправных вагонов, которые были выявлены по данным мониторинга на ранней стадии развития повреждения подшипников [2].

#### Список литературы

- 1 **Миронов, А.А.** Перспективные направления совершенствования средств контроля КТСМ и АСК ПС / А.А. Миронов // Автоматика, связь, информатика. – 2009. – № 1. – С 38–41.
- 2 **Миронов А.А.** Новые возможности КТСМ и АСК ПС / А.А. Миронов // Автоматика, связь, информатика. – 2005. – № 12. – С. 64–67.

УДК 629.4.077-592

### УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ТОРМОЗНОЙ РЫЧАЖНОЙ ПЕРЕДАЧИ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ

*Д. И. ВОЛОШИН, И. Н. АФАНАСЕНКО, Я. В. ДЕРЕВЯНЧУК*

*Украинский государственный университет железнодорожного транспорта, г. Харьков*

В практической и теоретической деятельности человека всегда присутствовало стремление к усовершенствованию существующих процессов и конструкций, к созданию новых объектов разно-



го назначения с наиболее лучшими характеристиками. Большинство задач такого типа присущи различным отраслям инженерной практики, в математике такие задачи называются оптимизационными. В настоящее время существует большое количество методов для решения задач данного типа. Такие методы требуют большого количества вычислений и в большей степени реализуются с помощью компьютерных программ.

Конструкция современного подвижного состава постоянно совершенствуется. Используются новые конструкционные материалы, что позволяет повысить прочность, надежность и безопасность железнодорожного транспорта.

Тормозное оборудование вагона – один из важнейших элементов вагона, от технического состояния которого напрямую зависит безопасность движения. В наше время в механической части тормозного оборудования используются фрикционные колодки двух типов: чугунные и композиционные. Стандартные чугунные колодки нашли применения, в основном, на пассажирском подвижном составе, который обращается со скоростями до 120 км/ч, и на локомотивах. К преимуществам использования таких колодок можно отнести высокий коэффициент теплопередачи, низкое воздействие влажности на коэффициент трения. В то же время такие колодки имеют нестабильный коэффициент трения, который снижается при повышении скорости, что обуславливает необходимость использовать на скоростном подвижном составе сложные и дорогостоящие регуляторы сил нажатия колодок в зависимости от скорости движения. К тому же чугунные колодки быстро изнашиваются и требуют значительного объема работ на замену, регулировку тормозной передачи.

Композиционные тормозные колодки используются на всех грузовых вагонах, а также на некоторых пассажирских вагонах. Они в три – пять раз более износостойкие, чем чугунные, что существенно снижает объем работ по замене и регулировке тормозной передачи. Композиционные колодки обладают повышенной стабильностью и величиной коэффициента трения в зависимости от скорости движения. Их использование позволяет увеличить тормозную эффективность поезда, облегчить техническое обслуживание и снизить затраты сжатого воздуха на торможение за счет меньших усилий в тормозной рычажной передаче, а также облегчить управляемость поезда и неистощимость тормозных систем.

Типовая конструкция тормозной рычажной передачи грузового специализированного вагона предусматривает возможность использования как композиционных, так и чугунных колодок, но в последнее время практически все грузовые вагоны используют именно композиционные колодки. Специализация наиболее массивных элементов механической передачи под композиционные колодки, а также оптимизация их формы позволит упростить конструкцию, техническое обслуживание и ремонт, уменьшить их массу и стоимость.

Авторы, используя программные продукты с модулем CAO (Computer – Aided Optimisation) и функционалам программной топологической оптимизации, добились уменьшения массы элементов тормозной передачи на 30 % при обеспечении условий прочности конструкции. Измененная форма элементов передачи может быть технологически реализована с использованием современных методов раскроя стального проката (плазменная, лазерная, гидроабразивная резка и др.).

УДК 656.078.11

## **ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОЙ ПЕРЕВОЗКИ МЕТАЛЛОПРОКАТА НА АВТОМОБИЛЬНОМ ТРАНСПОРТЕ**

*И. А. ВОРОЖУН*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Основным требованием при транспортировке груза в кузове автомобиля является соответствующее его размещение и крепление. Для обеспечения безопасности перевозки груза на автомобильном транспорте в Республике Беларусь введены в действие «Правила безопасного размещения и крепления грузов в кузове автомобильного транспортного средства». Однако при практическом использовании этих правил возникают определенные сложности. Целью данной работы является установление факторов, которые должны приниматься во внимание при разработке средств крепления грузов в кузове автомобиля, удовлетворяющих действующим правилам Республики Беларусь.

Основным фактором, который может привести к смещению груза относительно пола транспортного средства, является действие сил инерции. Наибольшая по величине сила инерции возникает в процессе торможения транспортного средства. Принято считать, что при экстренном торможении ее величина составляет 80 % от собственного веса груза, направлена она по ходу движения транспортного средства. При увеличении скорости движения автотранспортного средства возникает аналогичная, но меньшая по значению сила инерции. Ее величину принято считать равной 50 % веса груза, эта сила противоположна направлению ускорения. При изменении направления движения автотранспортного средства (поворот, смена полосы движения), на автомобиль и находящийся в нем груз действует поперечная центробежная сила инерции, направленная от центра поворота. Согласно общепринятым международным нормам, при расчете крепления груза ее величина считается равной 50 % от веса груза. При расчете сил крепления при перевозке опрокидываемого груза рекомендуется учитывать, что поперечная сила инерции равна  $0,7G$ . При наличии неровностей дорожного покрытия возникает вертикальная сила инерции, действующая на перевозимый груз, значение которой принимают равным 20 % от веса груза. При своей относительно небольшой величине эта сила опасна тем, что уменьшает сцепление между грузом и полом транспортного средства, соответственно, силу трения, противодействующую смещению груза.

Наш опыт разработки креплений металлопроката на автотранспортных средствах показал, что здесь имеются существенные отличия по сравнению с креплением грузов в вагонах. При перевозке грузов предприятия и организации используют различные марки автомобильного транспорта. Оказалось, что даже при одинаковых размерах кузова автомобиля в плане кольца для крепления грузов находятся в разных местах. Поэтому разработать единую схему размещения и крепления грузов, пригодную для применения на различных автомобилях невозможно.

Для крепления грузов в автотранспорте используют способ блокировки, крепление растяжками, прижатие груза к полу автомобиля. При креплении грузов способом блокировки необходимо помнить о прочности бортов. Применение растяжек требует расчетов, гарантирующих прочность крепежных средств и транспортируемого объекта. При прижатии груза к полу кузова следует подобрать количество крепежных ремней таким образом, чтобы силы инерции не смогли сдвинуть груз относительно пола. Непосредственная установка груза на пол приводит к необходимости применения большого числа ремней, поэтому целесообразно использование комбинированного способа, связанного с совместным использованием ремней и ковриков противоскольжения. При этом, если используются специальные ложементы, на которые укладывается металлопрокат, то надо также анализировать возможность смещения транспортируемого груза относительно ложементов.

Таким образом, для обеспечения безопасной транспортировки металлопроката автотранспортом надо тщательно прорабатывать схемы крепления, учитывая особенности динамических нагрузок, действующих на груз при транспортировке.

УДК 629.423.1: 62-592

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ТОРМОЗА ЭЛЕКТРОВОЗА БКГ1**

*Э. И. ГАЛАЙ, П. К. РУДОВ, Е. Э. ГАЛАЙ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Электровозы БКГ1 и БКГ2 в отличие от остальных локомотивов, эксплуатируемых на Белорусской железной дороге, оборудованы композиционными тормозными колодками при одностороннем нажатии на колесо. Особенностью этих колодок является стабильность коэффициента трения при изменении скорости движения. Поэтому они эффективны на больших скоростях. В то же время при стоянке величина тормозной силы, создаваемой вспомогательным тормозом электровоза БКГ1, недостаточна для удержания поездов на уклонах, что было выявлено в эксплуатации. В связи с этим для электровозов БКГ1 принят особый порядок действий при трогании с места после остановки на перегоне.

Целью исследований являлось определение максимальной массы поездов, которые можно удерживать вспомогательным тормозом на участках пути с различными уклонами. При исследованиях тормозную силу определяли расчетом и инструментальными измерениями. Расчеты произво-

дили в соответствии с рекомендованной производителем методикой. Сила нажатия на одну тормозную колодку при давлении в тормозных цилиндрах 0,425–0,455 МПа составляет 41,51–44,57 кН, а тормозная сила электровоза – 166–178,3 кН при значении коэффициента трения 0,25, как для стоячного тормоза.

При экспериментальном определении тормозной силы после выставления на путь одной секции электровоза между автосцепками испытываемого объекта и маневровым тепловозом устанавливали динамометр. На первом этапе испытаний затормаживали вспомогательным тормозом одну тележку. Затем плавно увеличивали силу тяги тепловоза до момента трогания электровоза. В момент начала сдвига фиксировали силу на динамометре. Опыт повторяли три раза. На втором этапе затормаживали вторую тележку, а первую отключали. Испытания проводили аналогичным образом. На третьем этапе испытаний затормаживали обе тележки. Давление в тормозных цилиндрах при торможении устанавливалось равным 0,45 МПа.

На секцию электровоза при испытаниях действовали тормозная сила, силы основного сопротивления движению при трогании с места и сопротивления от уклона пути. Принимая силы основного сопротивления и от уклона пути постоянными, можно записать:

$$F_{т1} = B_{т1} + W_0 + B_i; F_{т2} = B_{т2} + W_0 + B_i; F_{тс} = B_{тс} + W_0 + B_i,$$

где  $F_{т1}, F_{т2}, F_{тс}$  – силы трогания с места секции электровоза при затормаживании соответственно 1-й, 2-й и двух тележек одновременно;  $B_{т1}, B_{т2}, B_{тс}$  – тормозная сила секции электровоза при затормаживании соответственно 1-й, 2-й и двух тележек секции одновременно;  $W_0$  – сила основного сопротивления движению при трогании с места;  $B_i$  – сила от уклона пути (со знаком «плюс» на подъеме, со знаком «минус» – на спуске).

Учитывая, что  $B_{т1} + B_{т2} = B_{тс}$ , из условия баланса сил с учетом указанных выше зависимостей можно записать:  $F_{т1} + F_{т2} - F_{тс} = W_0 + B_i$ . Используя экспериментальные данные, получили  $B_{т1} = 44,3$  кН,  $B_{т2} = 45$  кН,  $B_{тс} = 89,3$  кН. Полная тормозная сила электровоза составила  $B_{тс} = 2B_{т1} = 178,6$  кН. Как видно, результаты эксперимента очень хорошо согласуются с результатами теоретических расчетов.

Также была проверена возможность использования на электровозах серии БКГ-1 чугунных секционных тормозных колодок, применяемых на электровозах серии ЧС-4. Эти колодки после соответствующей обработки посадочных мест прилегания к башмакам были установлены на электровоз БКГ-1 и притерты к колесам. Испытания проводили по той же методике. Тормозная сила электровоза при чугунных колодках составила более 330 кН, что примерно на 90 % больше, чем при композиционных колодках.

Расчет максимальной массы поезда для удержания на месте вспомогательным тормозом производим из условий равенства скатывающих и тормозных сил, действующих на поезд:

$$B_{тс} = 10^{-2} Q_{п} i,$$

где  $Q_{п}$  – масса поезда, т;  $i$  – уклон пути, ‰.

Результаты расчетов приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Максимальная допускаемая масса поезда из условия удержания вспомогательным тормозом на стоянке

Материал колодок	Тормозная сила, кН	Максимальная допускаемая масса поезда $Q_{п}$ , т, при уклоне $i$ , ‰									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Композиция	166*	16600	8300	5500	4150	3300	2750	2350	2050	1850	1650
	178	17800	8900	5900	4450	3550	2950	2550	2200	1950	1800
Чугун	330	33000	16500	11000	8250	6600	5500	4700	4100	3650	3300

\* Значение тормозной силы при минимальном допускаемом давлении в тормозном цилиндре  $p_{мин} = 0,425$  МПа.

При расчете допускаемой массы поезда сопротивлением движению при трогании с места пренебрегали. Несмотря на то, что для удержания поезда на месте более эффективными оказываются чугунные колодки, их применение нецелесообразно, так как это приведет к увеличению длины тормозного пути электровоза при торможении с высоких скоростей движения.

Приказом от 28.01.2016 № 96НЗ таблица со средними значениями допускаемой массы поезда (для давления в тормозных цилиндрах 0,44 МПа) при композиционных колодках внесена в качестве дополнения в Порядок применения отдельных положений Правил технического обслуживания тормозного оборудования и управления тормозами железнодорожного подвижного состава на Белорусской железной дороге. Эти сведения являются справочными для локомотивных бригад. На основании данных таблицы машинист принимает решение о порядке действий при трогании с места после остановки на перегоне: обычном, если поезд удерживается вспомогательным тормозом, и особом, предусмотренным этим же приказом, – если не удерживается.

УДК 629.463.62-592

## НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ТОРМОЗОВ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ В США

*Э. И. ГАЛАЙ, П. К. РУДОВ, Е. Э. ГАЛАЙ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Тормозная система грузовых поездов в США, Канаде, Мексике и ряде других стран по единым требованиям Ассоциации Американских железных дорог (AAR) имеет один режим отпуска – бесступенчатый полный, который происходит при повышении давления в тормозной магистрали на 0,03–0,04 МПа после торможения и перекрыши. В отличие от практики стран СНГ на грузовых вагонах применяется система с «единым нажатием». Это означает, что независимо от массы порожнего или груженого вагона давление в тормозных цилиндрах не изменяется.

Поскольку в США используется английская система мер, в которой применяются фунт в качестве единицы массы и дюйм в качестве единицы длины, то единицей давления является 1 psig, равный  $\frac{\text{фунт}}{\text{дюйм}^2} \approx 0,07 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2} \approx 0,007 \text{ МПа}$ . Зарядное давление в тормозной магистрали грузового поезда при  $p_m = 5 \text{ кгс/см}^2 \approx 0,49 \text{ МПа} \approx 71,2 \text{ psig}$ . Полный отпуск после торможения происходит при повышении давления в тормозной магистрали на 4–5 psig. Такая система внедрена в 30-х годах XX века и с небольшими усовершенствованиями используется до настоящего времени. Характерным является то, что величина давления в тормозных цилиндрах при торможении не зависит от величины загрузки вагона, поскольку воздухораспределитель односторонний.

В тормозных приборах сохранены металлические золотники в сочетании с резиновыми диафрагмами, клапанами и манжетами. При надлежащей системе смазки золотниковые конструкции со специальными покрытиями для трущихся поверхностей обеспечивают нормальную работу в течение 8–10 лет и минимальные коэффициенты трения до 0,03.

Грузовые вагоны, оснащенные тележками с центральным рессорным подвешиванием и односторонним нажатием колодок на колеса, аналогичны по технологической схеме и тормозному оборудованию тележкам типа ЦНИИ-ХЗ или 18-100 и им подобным. Такие вагоны оснащались в разное время воздухораспределителями серий АВ, ABD, ABDW, ABDX, а с 1978 г. принят для серийной эксплуатации DB-60 и позже его модификации. Особенностью этих приборов является бесступенчатый отпуск и независимость давления  $p_c$  в тормозных цилиндрах от загрузки вагона, в отличие от отечественных воздухораспределителей, которые имеют грузовые режимы торможения «Порожний», «Средний», «Груженный», переключаемые вручную, и дают возможность получить различные режимы отпуска тормозов – бесступенчатый на равнинном режиме и ступенчатый при установке горного режима.

Тормозной путь грузовых поездов с полногружными вагонами на Американских дорогах может достигать нескольких километров, в зависимости от скорости начала торможения, что явилось причиной широкого распространения авторежимов, обеспечивающих различную величину  $p_c$  при изменении загрузки вагона, причем изменение давления происходит бесступенчато.

Пневматические тормоза по характеристике действия относятся к категории мягких тормозов, которые могут действовать при различных зарядных давлениях в тормозной магистрали. При повышении давления в тормозной магистрали после торможения на 4–5 psig полностью растормаживают, то есть имеют равнинный режим отпуска. Благодаря этому упрощается процесс управления тормозами в многовагонных поездах на дорогах с равнинным профилем, поскольку значительно

сокращается время между началом отпуска и полным отпуском, когда машинист может приводить поезд в движение.

В последние годы грузовые воздухораспределители усовершенствованы – они создают повышенное давление в тормозных цилиндрах при экстренном торможении.

Конструктивным отличием приборов серии ABD и других с 1963 года является вертикальное размещение магистрального поршня, что позволяет уменьшить влияние продольных динамических усилий, действующих во время движения вагона, и предотвращает ненормальный односторонний износ манжет.

Вообще совершенствование грузовых воздухораспределителей направлено на изменение отдельных узлов, увеличение скачка начального давления при экстренном торможении с 15 до 22 фунтов на квадратный дюйм (psig), применение современных материалов в конструкции, повышение надежности работы. Современные стандарты учитывают потери на трение и тип тормозных колодок, дают тормозную силу порядка 7–10 % от массы груженого вагона и 30 % – порожнего, поскольку давление в тормозных цилиндрах груженых и порожних вагонов одинаковое.

Авторежимы, применяемые на железных дорогах, классифицируются: по способу изменения силы нажатия тормозных элементов – изменением величины давления сжатого воздуха в тормозных цилиндрах или изменением передаточного числа тормозной рычажной передачи; характеру изменения тормозной силы – ступенчатым или бесступенчатым изменением. Поэтому в США широкое внедрение получили авторежимы, изменяющие давление в тормозных цилиндрах и регулирующие силу нажатия фрикционных элементов (колодки, накладки) в зависимости от загрузки вагона. В частности, применяются датчик загрузки (сенсор) и регулятор давления (пропорциональный клапан) Model 6600-IU, SC-1, EL-60 и WABCO ELX-B – авторежим, объединяющий датчик загрузки и регулятор давления. Эти приборы считаются наиболее оптимальным вариантом для грузовых вагонов на тележке с фрикционным гасителем колебаний, поскольку они удовлетворяют требованиям регулирования, учитывающим разброс величин просадки рессорного комплекта в движении. Они включаются в работу при торможении, то есть сенсорный рычаг опускается к опорной поверхности на тележке вагона перед наполнением тормозного цилиндра. Такая конструкция обеспечивает более надежную работу авторежима по сравнению с авторежимом с постоянным контактом деталей измерительного устройства, особенно при движении по кривым и станционным путям со стрелочными переводами, когда вилка авторежима испытывает боковую ударную нагрузку, независимо от того, включен тормоз или нет.

УДК 621.81

## **ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН**

*В. А. ДОВГЯЛО*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Строительство, реконструкция, ремонт и содержание автомобильных и железных дорог осуществляют машинами различного назначения (строительными, дорожными, путевыми), а также комплектами и комплексами на их основе. Темпы и качество строительных и ремонтных работ зависят от многих факторов, в числе которых рациональное сочетание и взаимная согласованность показателей машин, составляющих комплекты и комплексы, а также работоспособность каждой машины.

Работоспособность машины является базовой характеристикой состояния и эффективности ее эксплуатации, которая зависит от многих факторов (организационных, материаловедческих, конструкторских, технологических и эксплуатационных). Работоспособность и надежность закладываются при проектировании, реализуются при изготовлении и поддерживаются при эксплуатации машины, т.е. управление этими показателями осуществляется на всех этапах ее жизненного цикла.

Качество и технический уровень транспортно-технологических машин (дорожно-строительных, путевых, подъемно-транспортных и др.) характеризуются широким спектром свойств, которые обуславливают их пригодность удовлетворять требованиям потребителя, которые постоянно расширя-

ются и усложняются. Их нормативно-техническая база – это постоянно изменяющийся и совершенствующийся комплекс требований, которые охватывают социальные, технико-экономические, конструктивные, технологические, эксплуатационные и иные аспекты. Помимо традиционных требований, связанных с работоспособностью машин при эксплуатации, следует учитывать необходимость утилизации машин после их списания.

Обеспечение высокого уровня работоспособности машин в условиях все возрастающих запросов потребителей машиностроительной продукции базируется на комплексном подходе к созданию и функционированию машин. В Беларуси производство дорожных и строительных машин развивается с учетом современных тенденций, характерных для мирового машиностроения. В их числе ресурсосбережение и обеспечение безопасности эксплуатации машин, включая экологическую безопасность, повышение надежности конструкции машин и интенсификация рабочих процессов. Несмотря на явные успехи отечественных машиностроителей на поприще ресурсосбережения, эта проблема сохраняет свою актуальность и в настоящее время. По данным экспертов Минэкономики Беларуси показатели энергоемкости белорусской продукции выше в 1,5–2,0 раза, чем западноевропейской. Задача отечественных производителей машин состоит в создании машин, обладающих не только повышенными технико-экономическими, конструктивными и эксплуатационными показателями по сравнению с существующими машинами аналогичного назначения, но и экологической совместимостью с внешней средой. Решение этой задачи базируется на концепции полного жизненного цикла машин.

Как известно, жизненный цикл машины начинается с зарождения идеи, включает научные исследования, а также этапы проектирования и конструирования, изготовления и эксплуатации и заканчивается ее утилизацией. Концепция полного жизненного цикла состоит в приоритете экологического фактора на всех этапах полного жизненного цикла машин. При этом эффективность утилизации машины по окончании срока ее эксплуатации лежит в основе мероприятий по обеспечению экологической безопасности, ресурсосбережения и работоспособности машины на всех этапах жизненного цикла.

В общем случае показатели, определяющие качество и технический уровень машин, можно разделить на следующие группы:

- конструктивные, которые характеризуют качество и свойства конструкции машины (надежность, безопасность, эргономика, унификация и стандартизация деталей и сборочных единиц и др.);
- экологические, учитывающие механическое, физическое и химическое воздействие машины на окружающую среду;
- эксплуатационные, отражающие работу машины в производственных условиях (производительность, типоразмер, мобильность, проходимость, универсальность и др.);
- технические, связанные с основными техническими параметрами (мощностью, массой, удельной энерго- и материалоемкостью);
- экономические, характеризующие эффективность машин по основным экономическим параметрам (стоимость машино-смены, выработка и т. п.);
- технологические, связанные с технологичностью конструктивных решений, т. е. соответствием конструкции машины технологическим требованиям, которые обеспечивают минимальную материалоемкость, трудоемкость и себестоимость ее изготовления;
- утилизационные, которые отражают способность материалов деталей и конструкций к переработке и вторичному использованию после списания машин;
- патентно-правовые, характеризующие патентную чистоту и новизну технических решений.

Перечисленные характеристики отражают как эффективность создания и функционирования машин, так и эффективность их утилизации.

Основные пути повышения работоспособности и надежности машин связаны с различными аспектами безопасного функционирования системы «оператор – машина – среда». В целом их можно свести к решению нескольких концептуальных проблем:

- реализации высокого уровня безопасности эксплуатации машин, в том числе экологической;
- минимизации трудо-, энерго- и материальных затрат при проектировании, изготовлении, эксплуатации и утилизации машин;
- обеспечения высокого качества работ;
- обеспечения высокой производительности работ;
- достижения заданных международными стандартами норм по утилизации и рециклингу машин.

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ БЫСТРОСЪЁМНОГО СОЕДИНИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ОДНОКОВШОВОГО ЭКСКАВАТОРА

*В. А. ДОВГЯЛО, Д. С. ПУПАЧЁВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Современное развитие информационных технологий в области систем автоматизированного проектирования (САПР) дает возможность на примере твердотельных параметрических моделей провести анализ разрабатываемых конструкций, элементов или узлов машин на работоспособность при заданных условиях и нагрузках даже на ранних этапах разработки без необходимости создания полноценных макетов, реальных моделей и опытных образцов. САПР позволяет повысить точность расчётов конструкций, снизить вероятность ошибки при принятии конструктором тех или иных решений и выбрать оптимальные варианты для их реализации на основе строгого математического анализа, сокращает сроки проектирования и позволяет в полной мере использовать унификацию при конструировании и производстве машин.

С учётом имеющихся тенденций к расширению номенклатуры рабочих органов дорожно-строительных машин появилась необходимость разработки т. н. квик-каплеров или быстросъёмных соединительных устройств (БСУ), позволяющих сократить время между заменами навесного оборудования. Использование САПР при проектировании БСУ дает возможность не только рассчитать их работоспособность с учетом заданных параметров, но и определить характеристики напряженно-деформированного состояния рабочих органов.

Для проектирования указанного ниже устройства и его последующей проверки за базовую машину был принят отечественный экскаватор «АМКОДОР-814» ввиду его многофункциональности и маневренности, а также наличия значительной номенклатуры рабочих органов, выпускаемых как заводом-изготовителем, так и сторонними предприятиями.

Для разработки модели быстросъёмного соединительного устройства были взяты параметры конструкции квик-каплера гидравлического типа. Построение модели осуществлялось в пакете программ Autodesk Inventor, полученная модель представлена на рисунке 1.

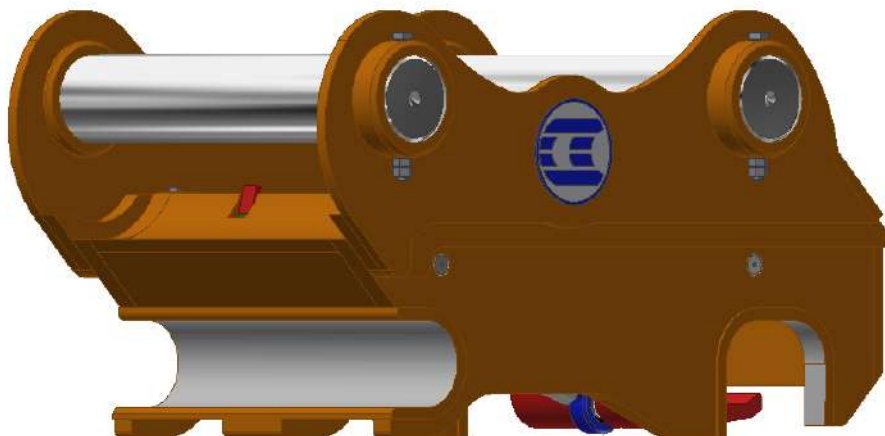


Рисунок 1 – Модель разработанного быстросъёмного соединительного устройства

Следующим этапом стала проверка работоспособности полученной модели посредством проведения расчёта на прочность методом конечных элементов. С этой целью была создана тестовая сборка рукоятки и рабочего органа принятого экскаватора. Расчёт проводился с учётом режимов нагружения рабочих органов для различных типов грунтов и углов резания ковшом (25–40°).

Для выполнения расчёта на прочность конструкции были подобраны материалы для изготовления исследуемых элементов с соответствующими свойствами. После этого средствами Autodesk Inventor было выполнено построение конечной элементной сетки. Следующим этапом явилась расстановка связей и нагрузок, действующих на исследуемые элементы и непосредственно сам анализ.

Результаты исследования позволили убедиться в работоспособности модели. При этом установлено, что уменьшение при работе экскаватора углов резания грунта с 40 до 25° (рисунок 2) позволяет снизить как внешние нагрузки, так и внутренние напряжения в конструкции БСУ более чем на 7 %. Это приводит к снижению необходимого усилия копания и требуемых для разработки грунтов мощностных характеристик базовой машины, что способствует снижению расхода топливно-смазочных материалов.

Установка БСУ на рукоять позволяет уменьшить напряжения в последней почти на 20 % (рисунок 3), что в конечном итоге позволяет повысить общую работоспособность экскаватора, снизить вероятность поломки металлоконструкций и, как следствие, расходы на ремонт базовой машины.

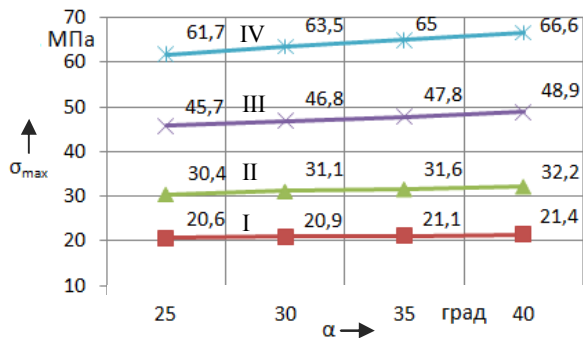


Рисунок 2 – Влияние угла резания грунта ковшом  $\alpha$  на внутренние напряжения  $\sigma_{\max}$  в конструкции квик-каплера по категориям грунта (I–IV)

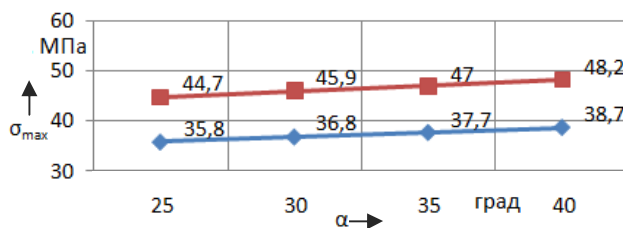


Рисунок 3 – Сравнение напряжений, возникающих в металлоконструкции рукояти ГОО при использовании (—◆—) или без использования (—■—) БСУ при разработке грунтов IV категории

УДК 656.223

## УНИВЕРСАЛЬНАЯ ПУТЕВАЯ МАШИНА НА БАЗЕ ТРАКТОРА Т-150 НА КОМБИНИРОВАННОМ ХОДУ

*В. А. ДОВГЯЛО, В. А. ТАШБАЕВ, Ю. А. ШЕБЗУХОВ*  
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Применение многофункциональных технических средств для выполнения транспортных и технологических операций как на железнодорожных путях, так и на автотранспортных коммуникациях представляет собой актуальное направление, подтверждаемое мировой тенденцией создания машин, имеющих широкие технологические возможности, благодаря которым обеспечивается снижение затрат в себестоимости производства товаров и работ транспортной отрасли.

Развитие данного направления возможно посредством оснащения энергонасыщенных пневмоколесных машин механизмами комбинированного рельсо-пневмоколесного хода и установки сменного рабочего оборудования для механизации путевых, погрузочно-разгрузочных, ремонтно-восстановительных и маневровых работ.

В результате исследований и разработок в данной области установлено, что использование трактора Т-150К в качестве базы для агрегатирования комбинированного хода и адаптеров позволит создать универсальную машину, выполняющую текущий ремонт железнодорожного пути и автодорог, за счет установки бульдозерного отвала, кранового и гидрооборудования для перевода пневмоколесной системы на рельсовый ход и обратно.



Проведённые тяговые расчеты показали, что данное транспортное средство при использовании в качестве локомотива в состоянии передвигать восемь груженых четырехосных платформ общим весом до 800 тонн, а при использовании в качестве универсальной путевой машины – до 200 тонн.

Все вышеперечисленные параметры позволяют говорить о том, что применение такой техники на подъездных путях промышленных предприятий, а также на малодеятельных станциях принесет значительную экономическую выгоду эксплуатирующим организациям за счет снижения себестоимости машино-смены, и, как следствие всего этого, количество универсальных пневмоколесно-рельсовых транспортных средств на предприятиях Республики Беларусь с каждым годом будет только увеличиваться.

УДК 625.089.2

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ДОРОЖНЫХ МАШИН С АСФАЛЬТОБЕТОННЫМ ПОКРЫТИЕМ**

*В. А. ДОВГЯЛО, Ю. А. ШЕБЗУХОВ, В. А. ТАШБАЕВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В настоящее время широко применяемым методом восстановления изношенных дорожных покрытий является рециклинг, который обеспечивает практически полное использование материала старого дорожного полотна, а также исключает необходимость транспортировки фрезерованного материала и снижает расходы новых материалов.

Возможность применения отечественных землеройно-транспортных машин, в частности скреперов или атогрейдеров, имеющих в распоряжении дорожно-строительных организаций, при восстановлении дорожных покрытий методом рециклинга позволяет расширить их технологические возможности. Для этого необходимо учесть ряд параметров: физико-механические показатели асфальтобетонного покрытия, удельное сопротивление резанию асфальтобетона и, как следствие, степень износа режущей кромки ножа скрепера, соотношение тяговых сил тягача и толкача в случае применения двух скреперов в составе скреперного поезда, а также ряд других. Так, например, известно, что сопротивление внедрению лезвия в среду при наличии затупления зависит от плотности среды, коэффициента сцепления, давления от пригрузки на поверхность среды, углов внутреннего и внешнего трения, а также угла затупления и толщины участка затупления. Поэтому, решая задачу снижения сопротивления разрушению изношенного асфальтобетонного покрытия, необходимо вывести комплексный показатель, учитывающий технологический, конструкционный и материаловедческий аспекты применения отечественной дорожной техники в технологиях рециклинга.

Разрабатываемая на основе данного показателя модель должна охватывать все параметры, которые оказывают существенное влияние на изменение энерго- и материалоемкости процесса снятия изношенного материала и укладки нового.

На основании 3D-моделирования и расчета с помощью современных математических пакетов предложено несколько технических решений, которые позволяют на примере атогрейдера заменить традиционный привод с двигателем внутреннего сгорания и механической трансмиссией на комбинированный дизель-электрический привод. Данные решения способствуют снижению динамической нагруженности металлоконструкции машины, расхода потребляемого топлива и воздействия на окружающую среду.

С целью снижения вредного воздействия на окружающую среду целесообразно снимать изношенное покрытие холодным методом (без разогрева покрытия), а также применять альтернативные источники энергии для привода эксплуатируемых машин. Теоретическая расчетная модель показала, что при одинаковых вводных параметрах энергоёмкость процесса разрушения изношенного покрытия ниже, чем фрезерование разогретого асфальтобетона.

Таким образом, восстановление дорожных покрытий с применением отечественной землеройно-транспортной техники является импортозамещающей технологией, отвечает современным экологическим требованиям и позволяет повысить коэффициент использования существующей номенклатуры дорожных машин, но требует тщательной проработки всех вариантов сочетания конструкции, технологии и материалов.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО АМОРТИЗАТОРА ПРИ ПОЯВЛЕНИИ ИЗНОСОВ ФРИКЦИОННОЙ ПАРЫ

*В. Н. ИЩЕНКО, В. Е. ОСЬМАК, Ю. В. ЩЕРБИНА*

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

Во время работы гидравлического гасителя колебаний на вагоне в результате контактного взаимодействия под действием внешних сил происходит износ и повреждения поверхности его деталей. Шток демпфера и внутренняя поверхность цилиндра получает местные выработки, а сопряженные элементы – резиновые манжеты, направляющая, поршневое кольцо – изнашиваются по всей поверхности соприкосновения. При появлении износов деталей гасителя колебаний, превышающих предельно допустимые значения, и приводящие к полной, либо частичной потере работоспособности гидравлических гасителей существенно возрастают ускорения колебаний кузова вагона, ухудшаются показатели плавности хода, возрастает уровень напряженного состояния несущих элементов конструкции.

Для решения вопросов, связанных с возникновением неисправностей гидравлических гасителей колебаний типа НЦ-1100, авторами предложено провести комплексную модернизацию их отдельных узлов.

В рамках выполненной научно-исследовательской работы в вагонном депо Киев-Пассажирский (ВЧД-1) проведена исследовательская работа по определению влияния на работоспособность гасителя колебаний появлений износов ответственной пары трения «шток – направляющая» по «Программе и методике опытных стендовых испытаний гидравлического гасителя колебаний типа НЦ-1100» (ПМ.ДЕТУТ 001-2017). В соответствии с установленным порядком проведения работ были подготовлены образцы изношенных направляющих с отклонениями от номинального диаметра в пределах 0,03–0,12 мм. Испытанию на стенде типа СВД11-0,047 Зав. № 022 подлежал гидравлический гаситель колебаний с поочередно установленными изношенными направляющими. Для соответственно установленной направляющей с вышеуказанными отклонениями от номинального диаметра определялась величина параметра сопротивления. Регистрация показаний параметров вязкого сопротивления гасителя колебаний выполнялась с записью рабочей диаграммы и занесением в Протокол проведения испытаний. Замеры кольцевых зазоров опытных образцов направляющих выполнены с использованием электронного штангенциркуля ШЦЦ по разработанной методике измерений. Образцы направляющих, которые прошли отбор по установленным действующей Программой и методикой опытных стендовых испытаний гидравлического гасителя колебаний типа НЦ-1100 ПМ.ДЕТУТ 001-2017 величинам кольцевых зазоров, подлежали монтажу на работоспособном гасителе для проведения исследований.

В соответствии с результатами проведенных испытаний установлено, что при кольцевых износах направляющей 0,02 мм параметр сопротивления гидравлического гасителя колебаний становится вдвое меньше допустимого минимального нормативного значения и резко падает при дальнейшем увеличении величин зазоров, что свидетельствует о существенном влиянии на работоспособность гасителя колебаний и дает основание утверждать про важность проведенных исследований. С целью определения усилий, возникающих при контактом взаимодействии пары трения «шток – направляющая» гидравлического гасителя колебаний в программном комплексе SolidWorks Motion, проведена имитация работы механизма в условиях, приближенных к эксплуатационным. Входящими параметрами для проведения расчета модели исследуемой пары трения являются: нормированные геометрические размеры элементов; амплитуда регулярных динамических нагрузок, которые передаются на амортизатор во время движения вагона; режим движения; механические свойства материалов; коэффициенты трения фрикционной пары; параметр неупругого сопротивления движения гасителя колебаний. Расчетная схема предусматривает фиксацию направляющей в пространстве. Поступательные перемещения штока относительно направляющей осуществляются с учетом действия вертикальных и боковых усилий, которые передаются на него от кузова пассажирского вагона и получены расчетным способом в ПК «УМ» при установленном режиме движения.

По результатам проведенного расчета определено распределение контактных усилий пары трения «шток – направляющая». С целью предотвращения или уменьшения появления износа направляющей, что приводит к потере работоспособности амортизатора, по разработанному проекту усовершенствования конструкции гидравлического гасителя колебаний предусмотрено использование конусных втулок, которые позволяют осуществить угловые перемещения и тем самым максимально уменьшить боковые нагрузки, передающиеся на фрикционную пару «шток – направляющая». Поэтому в расчетной схеме по определению контактной задачи элементов трения усовершенствованного гасителя колебаний приложены только вертикальные усилия, без учета боковых нагрузок. Учитывая постоянную цикличность действия продольных нагрузок при движении вагона, которые передаются на узлы крепления гасителя, можно утверждать о их негативном влиянии на элементы гасителя колебаний и, отдельно, на ответственные пары трения, от которых непосредственно зависит работоспособность амортизатора.

Проведенные расчетные исследования по определению контактных усилий фрикционной пары свидетельствуют о том, что действие боковых усилий приводит к появлению неравномерного износа сопряженных поверхностей. Известно, что для определения износа контактирующих элементов в инженерной практике широко используется методика расчета по теории Дж. Арчарда. При расчетно-определенной нормальной силе контакта с учетом расстояния относительного перемещения поверхностей трения определяется объемный износ. Для учета действительного объемного износа используется программное САД-обеспечение. Ориентировочное количество циклов до наступления граничного износа при установленных условиях контакта и перемещении штока по внутренней поверхности кольца направляющей определяется отношением действительного объемного износа по принятым нормативным допускам к теоретическому расчетному значению. При условии известной величины граничного количества циклов работы фрикционной пары в условиях эксплуатации можно рассчитать ориентировочный граничный срок службы и периодичность плановой замены до начала момента выхода из строя.

На основании выполненных исследований и проведенного анализа:

1) установлены наиболее характерные неисправности гидравлического гасителя колебаний, которые приводят к отказам в его работе. К наиболее распространенным неисправностям относятся износы ответственных пар трения устройства – 25 %, разрывы, остаточная деформация сальниковых манжет – приблизительно 65 %;

2) проведены стендовые испытания по влиянию появления кольцевых износов гидравлического гасителя колебаний на его работоспособность. Установлено, что при появлении кольцевых износов направляющей свыше 0,02 мм наблюдается резкое снижение параметра сопротивления, которое вдвое меньше допустимого значения по нижней границе;

3) по результатам расчетных исследований установлено, что при контакте «шток – направляющая», при условии отсутствия действия боковых сил, контактные силы в горизонтальной плоскости имеют однотипный характер и совпадают по величинам, а в случае действия боковой нагрузки становятся разными, что в целом свидетельствует о появлении неравномерного износа контактной пары;

4) для оценки предельно допустимого уровня износов по методике расчета объемного износа согласно теории Дж. Арчарда предлагается рассчитывать жизненный цикл с учетом пространственной геометрии предельно изношенной детали по установленным нормативным документам;

5) предложенное проведение комплексной модернизации гидравлического гасителя колебаний типа НЦ-1100 предусматривает решение вопросов, связанных с техническим несовершенством амортизатора, снижением возникновения неисправностей, которые приводят к потере работоспособности и непосредственно влияют на динамические показатели пассажирского вагона, обеспечением более высокой надежности гидромеханического аппарата в условиях эксплуатации. Особое внимание уделено вопросам определения сил контактного взаимодействия и влияния действия боковых сил, которые передаются от вагона к демпферу, на износы фрикционных пар механизма гашения колебаний, расчету предельного износа по принятой методике.

Выполненные расчеты дают основание утверждать о приемлемости результатов для изготовления опытных образцов и дальнейшего проведения экспериментальных исследований.

## **ВЛИЯНИЕ СПОСОБОВ ОБНОВЛЕНИЯ ФЛОТА НА БЕЗОПАСНОСТЬ СУДОХОДСТВА В УСЛОВИЯХ РАЗВИТИЯ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА**

*Н. Н. КАЗАКОВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В условиях реализации стратегических программных документов развития транспортного комплекса Республики Беларусь вопросам обеспечения безопасности уделено первостепенное значение. Как правило, такая тенденция отражается в целевых ориентирах развития того или иного вида транспорта, но практически не рассматривается на уровне задач развития.

Традиционно обеспечение транспортной безопасности на предприятиях внутреннего водного транспорта рассматривается в двух аспектах: обеспечение безопасности плавания и обеспечение безопасности судоходства. Обеспечение безопасности плавания – более узкое понятие, возлагаемое в основном на экипаж и процедуру судовождения, обеспечение безопасности судоходства – комплексная задача, решаемая по отрасли в целом. Одним из ключевых аспектов системы обеспечения безопасности судоходства, имеющих непосредственное отражение в процедурах обеспечения безопасности плавания, является система обновления транспортного, технического и вспомогательно-го флота предприятий внутреннего водного транспорта.

Важной проблемой, препятствующей развитию внутреннего водного транспорта Республики Беларусь, является физическое и моральное «старение» флота. На сегодняшний день эта проблема не является ключевой исключительно вследствие низкой степени реализации потенциала внутреннего водного транспорта страны как транспортной отрасли.

Для обеспечения развития отрасли требуются инвестиции. Однако, как показывает практика, эффективность инвестиций варьируется в широких пределах в зависимости от ряда условий: начиная от целевых установок координатора инвестиций и заканчивая конкретным вариантом организации вложений. В качестве самого распространенного источника инвестиций традиционно выступают собственные ресурсы предприятия. Однако их роль для предприятий внутреннего водного транспорта Республики Беларусь является крайне незначительной, причем варьируемой тоже в достаточно широком диапазоне. Другими источниками обновления флота могут быть кредитные средства банков или других организаций, лизинговые схемы и многие другие. При реализации форм взаимодействия организаций внутреннего водного транспорта по таким схемам ключевое значение имеют различные показатели ликвидности, коэффициенты автономии. В настоящее время значения этих показателей для предприятий внутреннего водного транспорта Республики Беларусь не позволяют ориентироваться на широкое использование рассматриваемых источников обновления флота.

В сложившихся условиях получают достаточно широкое распространение использование нетрадиционных методов обновления флота. Речь идет о широком применении модернизации с элементами обновления (реновация, конверсия).

В контексте темы данного исследования под реновацией понимается комплекс согласованных с Речным Регистром производимых судовладельцем мероприятий, после осуществления которых техническое состояние судна обеспечит его надёжную эксплуатацию в течение планируемого срока. На предприятиях внутреннего водного транспорта Республики Беларусь реновация судов может осуществляться следующими способами:

- путем реклассификации (повышение класса судна), что обеспечит расширение района эксплуатации флота;
- через изменение назначения судна с сохранением или изменением его класса (например, переоборудование сухогрузных судов в нефтеналивные);
- продлением срока службы и снижением текущих расходов по их эксплуатации.

Другим практикуемым способом обновления флота является конверсия – строительство флота с использованием конструктивных элементов и модулей, технических средств и электрооборудования утилизируемого судна при создании другого.

Указанные способы обновления транспортного, вспомогательного и технического флота являются актуальными для внутреннего водного транспорта Республики Беларусь. Более того, они пе-

риодически применяются на практике. Актуальность применения методов конверсии и реновации при обновлении флота объясняется значительной экономией финансовых ресурсов, т.к. строительство нового судна оказывается значительно дороже, чем его сборка из частей отработавшего свой ресурс флота.

У применения указанных способов обновления флота есть и недостатки. Основным из них для предметной области данного исследования является ухудшение параметров безопасности плавания модернизируемых судов, что в условиях широкого их применения может повлиять и на систему обеспечения безопасности судоходства.

При этом необходимо отметить, что применение указанных способов не решает проблему обновления флота, а смещает ее решение на более благоприятный период. Именно по этой причине при разработке задач развития внутреннего водного транспорта Республики Беларусь необходимо выполнить комплексную оценку эффективности применения указанных способов обновления флота с разработкой аналога «дорожной карты» с обоснованием периодичности реализации каждого конкретного шага.

УДК 629.421.8

## ПРИМЕНЕНИЕ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ВИДОВ ТЯГИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ МАНЕВРОВОЙ РАБОТЫ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

М. И. КАПИЦА

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

Одной из основных проблем современного железнодорожного транспорта при выполнении маневровой, маневрово-вывозной, хозяйственной и других видов работы является применение тепловоза как **маневровой машины**. Данное обстоятельство находит негативное отражение на финансовом результате работы предприятия.

При стоимости дизельного топлива (80-е годы XX в.) 0,05 € (евро) за 1 кг, при хорошем техническом состоянии дизелей, хорошо оснащенной и налаженной системе технического обслуживания и текущих (капитальных) ремонтов вопрос о снижении расхода топлива тепловозами в эксплуатации не поднимался. И только тогда, когда стоимость дизельного топлива начала стремительно подниматься (90-е годы XX в.) и на текущий момент составляет около 1,0 € за 1 кг, когда техническое состояние дизелей резко ухудшилось, когда ремонтная база практически исчерпала себя, вопрос о снижении расхода топлива тепловозами в эксплуатации стал актуальным.

А если учесть и тот факт, что тепловоз как **маневровая** машина имеет КПД в пределах 8–10 % из-за неустановившихся переходных процессов дизеля, большой долей времени работы в режиме холостого хода и работы на 1–3 позициях, учитывая и экологический фактор, то применение его в дальнейшем – под большим вопросом.

Но самым интересным является тот факт, что большинство стран Европы, которые не входили в состав СЭВ, не использовали тепловоз как **маневровую** машину, а работали (работают) на паровозах или на пароаккумуляторных локомотивах.

Проведенный обзор научных публикаций, посвященных вопросу снижения расхода топлива тепловозами в эксплуатации, дает право утверждать, что технико-технологический путь решения этого вопроса исчерпал себя, и необходимо применять альтернативные виды тяги, особенно в **маневровой** работе. Немаловажную роль играет и социально-экономическая составляющая в потерях топлива (несанкционированный отбор дизтоплива локомотивными и ремонтными бригадами). Поэтому на предприятиях, где есть технологический пар, который используется в производственном процессе (химическая и нефтеперерабатывающая промышленность, металлургия и т.д.), целесообразно применять пароаккумуляторные локомотивы.

На предприятиях, где выполняется большой объем маневровой работы и отсутствует пар, целесообразно применение пароаккумуляторных локомотивов. В этом случае есть смысл в применении транспортно-энергетического узла (ТЭУ).

Учитывая вышеизложенное, конструкторской группой компании «Газгенераторбау» при научно-техническом сопровождении разработок сотрудниками кафедры «Локомотивы» Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта предложено решение, которое позволяет не только принципиально уменьшить энергетические и ремонтные затраты на тепловозную тягу, но и вывести работу предприятия в экономически привлекаемую плоскость.

Как показали предварительные расчеты, для одной железнодорожной станции применение ТЭУ позволяет в течение суток получить прибыль в размере 12 000 €.

УДК 629.423.33

## **КОНЕЧНОЭЛЕМЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ТОКОСЪЕМНИКА ЛОКОМОТИВА С КОНТАКТНЫМ ПРОВОДОМ**

*И. И. КАПЛЮК*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Развитие электрификации на железной дороге, оставаясь приоритетным направлением, требует решения важных сопутствующих оптимизационных задач. Безаварийная эксплуатация, а также экономичность токосъема напрямую зависят от работоспособности контактирующих элементов: контактного провода и токосъемного элемента. В связи с тенденциями к повышению скорости движения и увеличению мощности поездов возникает необходимость оптимизации конструкции токосъемников электроподвижного состава. Целью представленной работы стала разработка конечно-элементных моделей, позволяющих анализировать контактное взаимодействие токосъемника с контактным проводом с учетом тепловых явлений в зоне контакта.

В качестве инструмента компьютерного моделирования использована САЕ-система ANSYS. Разработана конечно-элементная модель, позволяющая описать скольжение угольной вставки по проводу. При построении модели радиус провода принят равным 0,65 см, а длина его участка равна 10 см. Модель угольной вставки с подкладкой представляла собой два прямоугольных параллелепипеда размерами  $10 \times 0,7 \times 3$  и  $10 \times 0,2 \times 3$  см. Свойства элементов модели приняты следующими: провод из меди, модуль Юнга  $E_1 = 10^{11}$  Па, коэффициент Пуассона  $\nu_1 = 0,32$ ; угольная вставка с модулем Юнга  $E_2 = 10^{10}$  Па,  $\nu_1 = 0,24$ ; материал подкладки имел модуль Юнга  $E_3 = 2 \cdot 10^{11}$  Па,  $\nu_1 = 0,2$ . Также создана контактная пара, которая включает в себя целевую поверхность – нижнюю часть провода и контактную поверхность – угольную вставку. При создании сетки конечных элементов использованы такие элементы, как SOLID186, TARGE170, CONTA174. К крайним точкам провода приложена продольная сила 500 Н (она равна половине силе натяжения провода), кроме того, к крайним ключевым точкам провода приложены вертикальные силы 35 Н. В качестве кинематических граничных условий использовали запрет перемещения нижней грани подкладки, а также отсутствие перемещений удаленного сечения провода по направлению вдоль оси провода. Для получения требуемой точности расчетов область контакта потребовалось промоделировать мелкими конечными элементами, что вело к очень большой длительности расчетов. Наличие большого числа элементов модели и плохая сходимость решения контактной задачи привели к тому, что длительность одноразового расчета на ЭВМ с объемом оперативной памяти 4 Гб и индексом производительности 5,4 составила около 35 часов. В результате вычислений получены распределения напряжений и деформаций в проводе и накладке. Выявлено, что наибольшие эквивалентные напряжения наблюдаются в проводе и составляют около 100 МПа. В то же время максимальные напряжения в накладке наблюдаются в ее угловых ребрах и составляют 62 МПа. Таким образом, при наличии незакругленных ребер возможно выкрашивание графита.

На второй стадии моделирования рассмотрена конечноэлементная модель контактирующих элементов с учетом теплопередачи. Изменен тип элементов на SOLID278, который в отличие от элемента SOLID186 позволяет учитывать температурные деформации. Контактному проводу и угольной вставке присвоены следующие температурные характеристики: коэффициент теплового расширения –  $16,7 \cdot 10^{-6}$  и  $7,9 \cdot 10^{-6}$   $1/^\circ\text{C}$ , коэффициент теплопроводности – 380 и 150 Вт/м $\cdot$ °C, коэффициент удельной теплоемкости – 383 и 708 Дж/кг $\cdot$ °C соответственно. В ре-

зультате, наряду с напряжениями, получено распределение температур в контактном проводе и в угольной вставке токоприемника. Тестирование модели показало, что результаты конечно-элементного моделирования достаточно адекватно отображают распределение температур в элементах модели.

Разработанные модели могут быть использованы для усовершенствования конструкции узла токосъема.

УДК 629.3.014

## **МОДЕРНИЗАЦИЯ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ДЛЯ ПЕРЕВОЗКИ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ ТРАНСПОРТОМ**

*И. Ю. КЕБАЛ, С. С. МЯМЛИН*

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

Применение моторного углеводородного топлива для движения автомобилей неизбежно сопровождается повышенным выбросом диоксида углерода (CO<sub>2</sub>). Снижение выбросов традиционными методами не обеспечивает выполнения жестких экологических требований и является серьезной проблемой развития автомобилестроения. Поэтому существует необходимость в поиске альтернативного вида топлива для автомобилей.

Другим эффективным источником энергии для автомобилей является электричество, что позволит наиболее эффективно решить проблему повышения экологической безопасности. В настоящее время существует различные типы применения электрического привода в автомобилестроении, наиболее распространенным из которых является применение гибридных силовых установок, в которых питание электродвигателей осуществляется от двигателя внутреннего сгорания. Однако такая система не исключает выбросы CO<sub>2</sub>. Достичь этого можно, лишь полностью заменив двигатели внутреннего сгорания электрическим приводом. Такое решение реализуется в электромобилях, питание электродвигателей которых осуществляется от аккумуляторных батарей. Наибольшим препятствием широкому распространению таких транспортных средств, кроме относительно высокой стоимости, является отсутствие во многих странах широко развитой инфраструктуры для подзарядки батарей. Но несмотря на это, разработка подобных транспортных средств ведется многими научно-производственными организациями всего мира.

В связи с расширением рынка экологических видов транспорта и ростом спроса на электромобили возникает необходимость в техническом и технологическом сопровождении их на всех этапах жизненного цикла. Особого внимания требует обеспечение поддержания функциональных характеристик электромобилей при доставке их конечному потребителю. Транспортировка электромобилей может осуществляться как железнодорожным, так и автотранспортом. Наиболее перспективным для перевозки автомобилей является железнодорожный транспорт, так как он может обеспечить перевозку значительного количества электромобилей на дальние расстояния. Поэтому актуальной является научно-прикладная задача по обеспечению электропитанием электромобилей на протяжении всех этапов перевозки железнодорожным транспортом. Для решения этой задачи в соответствии с технологическим процессом возможно использование как стационарных, так и передвижных энергетических установок, а также специализированного подвижного состава. В зависимости от длительности транспортировки можно использовать зарядку аккумуляторов до поездки, во время следования в составе поезда или по прибытию в конечный пункт назначения. Рассмотрим более подробно инфраструктуру и подвижной состав для технологического обеспечения транспортировки электромобилей.

Для обеспечения погрузки и последующей выгрузки электромобилей с железнодорожного подвижного состава требуется достаточный уровень заряда аккумулятора, который может быть обеспечен специальными стационарными зарядными установками, расположенными в начальном или конечном пункте назначения. Данные установки представляют собой устройства по преобразованию и стабилизации параметров электрической сети, обеспечивающих необходимый уровень и скорость зарядки аккумуляторов электромобилей. Как правило, эти установки следует распола-

гать перед платформой для погрузки электромобилей на подвижной состав. Это могут быть крытые помещения или открытые площадки в зависимости от технологических возможностей погрузочно-разгрузочных мощностей.

Особенностью вагона для перевозки автомобилей является наличие в нем специальных зарядных станций, питающихся централизованно от сети поезда и преобразующих ток согласно параметрам, необходимым для зарядки электромобилей. Такие станции можно размещать непосредственно внутри помещения, предназначенного для размещения перевозимых автомобилей. Такой вариант размещения позволит дополнительно защитить зарядные станции от воздействия осадков (дождь, снег).

Таким образом, существуют различные технические решения и технологические возможности по обеспечению подзарядки аккумуляторов электромобилей на всех этапах технологического процесса их транспортировки железнодорожным транспортом. Для выбора конкретного типа технологического процесса обеспечения перевозки электромобилей необходимо технико-экономическое обоснование с учетом основных параметров перевозки и технических характеристик перевозимых электромобилей.

УДК 629.462.2

## **ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАЩИТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ЦИСТЕРН ДЛЯ ТРАНСПОРТИРОВКИ ГАЗОВ**

*М. Б. КЕЛЬРИХ, Н. С. БРАЙКОВСКАЯ, Н. С. КОЧЕШКОВА*

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

Обеспечение быстрых, качественных и безопасных перевозок – ключевое задание транспортной сферы в целом и вагоностроительной в частности. Тем более это актуально при транспортировке газов, относящихся к категории опасных грузов. Согласно статистике, транспортные происшествия с железнодорожными цистернами в основном сопровождаются сходом с рельсов, опрокидыванием и наездом вагона на вагон. При этом вероятны деформации днища, пробой котла в зоне днища или установки предохранительной, контрольно-измерительной аппаратуры. В связи с этим ряд научных разработок направлен на усиление надежности цистерн, минимизацию рисков разгерметизации котла и вытекания груза.

Испытания цистерн для сжиженных газов на прочность и эффективность защитного оборудования с использованием вагона-бойка, показывают, что при ударе в автосцепку, повреждения в элементах рамы и узлах креплений возникают уже при скоростях столкновений 21–22 км/ч. Таким образом, разработка защитного оборудования цистерн для перевозки газов является актуальной и необходимой, в свете повышения безопасности грузовых перевозок в целом.

Среди эффективных конструкторских решений следует выделить фальшднища, предохранительные щиты, откидные крышки. Фальшднища – накладные металлические пластины, приваренные к днищу цистерны. Они имеют небольшие размеры и существенно снижают разрушающую силу аварийного удара, затрачивая ее на деформацию пластин. Результаты испытаний показывают, что при ударе силой порядка 2 МН вагона-бойка, массой 102 т, со скоростью 10,5 км/ч металлическая накладка сохраняет герметичность котла цистерны для аммиака модели 15-1619, 10,8 км/ч – цистерны для хлора модели 15-1409, 16,3 км/ч – цистерны для аммиака модели 15-1408.

Альтернативным решением есть предохранительные щиты, приваривающиеся к раме на некотором удалении от днища. Могут быть представлены в виде металлических пластин или иметь горизонтальные и/или вертикальные ребра жесткости. Защита днищ цистерн при этом осуществляется за счет поглощения удара металлоконструкцией щита с образованием в нем вмятин, упругой деформации консольной части рамы со щитом в пределах конструкционного зазора между днищем и щитом, а также поглощения энергии удара при разрыве сварных соединений. Очевидно, что при сильном повреждающем давлении, с исчерпанием всех зазоров, щит не гасит всю энергию удара, передавая часть ее на днище. Однако энергия при этом рассеивается по большей контактной площади и направляется в нижнюю часть днища.



Еще более эффективным решением – защитные щиты, состоящие из сотовых энергоемких элементов вместо ребер жесткости. Данная конструкция обеспечивает максимальное поглощение кинетической энергии удара за счет упруго-пластичных деформаций и собственного разрушения. В случаях, когда сила удара не превышает сопротивление сотового элемента, – энергия затрачивается на упругую деформацию цистерны, а если превышает – на пластичную деформацию щита, снижая вероятность пробоя днища.

Для оценки напряженно-деформированного состояния и нагруженности элементов торцевых щитов методом конечных элементов в форме метода перемещений, с помощью пакета программ «ANSYS» была создана расчетная модель стального щита (09Г2С ГОСТ 19281) с пределом текучести материала 345 МПа. Результаты испытаний показывают (рисунок 1), что максимальные напряжения в элементах щита при действии продольных нагрузок в 150 кН достигают 150,9 МПа, что не превышает предела текучести стали.

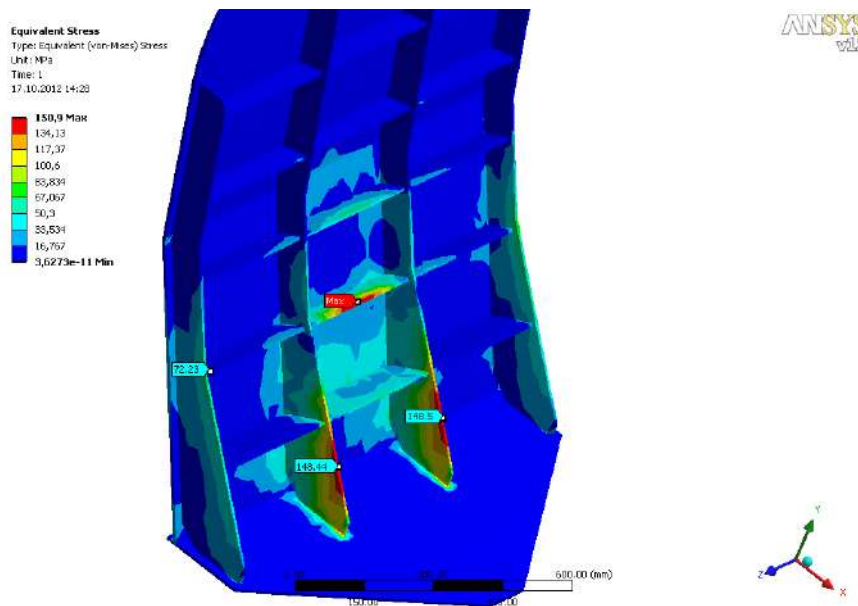


Рисунок 1 – Напряженно-деформированное состояние защитного торцевого щита при действии продольных нагрузок 150 кН

Таким образом, повышение эффективности защиты котлов цистерн в аварийной ситуации может быть достигнуто за счет использования металлических накладок, торцевых щитов с ребрами жесткости или специальными энергопоглощающими элементами, учитывая рациональный выбор их параметров.

УДК 629.4

## ОЦЕНКА ДИНАМИЧЕСКОЙ НАГРУЖЕННОСТИ ВАГОНА-ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ КОНТРЕЙЛЕРНЫХ ПЕРЕВОЗОК

*В. В. КОБИЩАНОВ, Д. Я. АНТИПИН, М. В. МАНУЕВА, А. Д. ИОНКИНА*  
*Брянский государственный технический университет, Российская Федерация*

Одним из перспективных способов сухопутной транспортировки грузов в настоящее время являются комбинированные автомобильно-железнодорожные перевозки. Однако в России существует дефицит подвижного состава для организации контрейлерных перевозок. В связи с этим коллективом кафедры «Подвижной состав железных дорог» Брянского государственного технического университета разработана оригинальная конструкция вагона-платформы для контейнерно-контрейлерных перевозок [1, 2]. Исследования динамической нагруженности несущей конструкции вагона-платформы и перевозимой колесной техники показали их соответствие требованиям нормативной документации. Но анализ рынка железнодорожного подвижного со-

става и переговоры с транспортными операторами свидетельствуют о более высоких требованиях к динамическим характеристикам вагона. Их достижение при использовании в качестве ходовых частей тележек модели 18-100, как показали исследования, невозможно. В связи с этим в проекте предложено использование тележек типа КВЗ-И2.

В рамках дальнейших исследований выполнялась оценка динамических показателей вагона-платформы на основе математического моделирования движения вагона по реальным неровностям пути с использованием программы моделирования динамики систем тел «Универсальный механизм» [3, 4]. С помощью модуля ввода данных UM Input на базе исходных данных о геометрических, инерционных и силовых характеристиках элементов конструкции вагона производится формирование его расчетной схемы. На основании созданной динамической модели программный комплекс производит автоматическую генерацию уравнений движения вагона. Моделирование движения вагона проводится с использованием модуля UM Simul, осуществляющего интегрирование полученных уравнений движения.

Динамическая модель платформы состоит из кузова вагона, соединенного с двумя моделями тележек). Динамическая модель тележки, представляет собой совокупность твердых тел, связанных силовыми, контактными элементами и шарнирами.

В расчетной схеме кузов платформы представляется в виде абсолютно твердого тела, обладающего шестью степенями свободы с реальными инерционными и геометрическими характеристиками. Модель автопоезда состоит из абсолютно твердых тел, моделирующих соответственно тягач и полуприцеп, связанных между собой шарниром с одной вращательной степенью свободы, моделирующей седельное устройство. Особенностью расчетной схемы является учет жесткостей пневматических шин и подвешивания автопоезда, которые моделируются упругими и диссипативными элементами [5].

При моделировании рассматривалось движение вагона по прямому участку пути со скоростью 120 км/ч, в кривом участке пути радиусом 500 м со скоростью 80 км/ч и прохождение стрелочного перевода 1/11 со скоростью 30 км/ч.

На основе проведенных исследований были получены реализации процесса изменения вертикальных и горизонтальных ускорений кузова, сил отжатия рельса в поперечном направлении и мощности сил трения на гребне и по кругу катания колеса. Сопоставление полученных результатов первых трех динамических показателей с допускаемыми нормативными величинами показывает, что динамические качества проектируемой платформы величин и в соответствии с рекомендациями «Норм...» [6] могут быть оценены как хорошие.

Разработанная конструкция платформы может осуществлять перевозку автопоездов европейского стандарта, туристических автобусов, другой колесной техники, а также штучных грузов размером 17×2,6×4 м без оформления негабаритности; она имеет пониженную массу тары при повышенной грузоподъемности и обеспечении снижения динамической нагруженности несущей конструкции кузова вагона и груза более чем на 20 % по сравнению с базовой конструкцией вагона-платформы.

#### Список литературы

- 1 Антипин, Д. Я. Влияние особенностей эксплуатации контрейлерных вагонов-платформ на усталостную долговечность их несущих конструкций / Д. Я. Антипин, М. В. Мануева, А. Д. Ионкина // Современные инновации в науке и технике : сб. науч. тр. 7-й Всерос. науч.-техн. конф. с междунар. участием. – Курск : ЗАО «Университетская книга», 2017. – С. 19–21.
- 2 Кобищанов, В. В. Методика уточнения динамической нагруженности рамы вагона-платформы для контрейлерных перевозок / В. В. Кобищанов, М. В. Мануева // Проблемы и перспективы развития вагоностроения : материалы VII Всерос. науч.-практ. конф. – Брянск : БГТУ, 2016. – С. 85–87.
- 3 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.
- 4 Шалупина, П. И. Использование промышленных программных комплексов для исследования динамической нагруженности конструкций рельсового транспорта / П. И. Шалупина, Д. Я. Антипин // Инновации, качество и сервис в технике и технологиях : сб. науч. тр. 5-ой Междунар. науч.-практ. конф. – Курск : ЗАО «Университетская книга», 2015. – С. 342–345.
- 5 Кобищанов, В. В. Оценка влияния учета упругих свойств подвешивания автопоезда на динамические характеристики вагона-платформы для контрейлерных перевозок / В. В. Кобищанов, Д. Я. Антипин, М. В. Мануева // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2016. – № 4(52). – С. 179–185.
- 6 Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). ГосНИИВ – ВНИИЖТ. – М., 1996. – 319 с.

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ СОХРАННОСТИ И ТЕРМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ДЛЯ ПЕРЕВОЗКИ ГОРЯЧИХ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ЗАГОТОВОК

*К. М. КОЛЯСОВ, В. Ф. ЛАПШИН*

*Уральский государственный университет путей сообщения, г. Екатеринбург, Российская Федерация*

*А. В. НАМЯТОВ*

*ООО «Уральское конструкторское бюро вагоностроения», г. Нижний Тагил, Российская Федерация*

Для большинства конструкций подвижного состава необщего пользования характерно тепловое воздействие транспортируемого груза на узлы и элементы вагонов. В работе рассматриваются вопросы сохранности и термической безопасности [1] вагона-термоса, используемого на металлургических предприятиях как технологическая камера [2]. Вагон-термос применяется для внутривозовых технологических перевозок заготовок (блосов, слябов) металлургического производства и состоит из платформы, на которую укладываются заготовки температурой свыше 500 °С, и колпака с термоизоляционными элементами из промышленного фетра. Процесс проектирования таких вагонов требует рассмотрения ряда аспектов, вызванных тепловыми процессами за время обработки металлургических заготовок: обеспечение требований сохранности узлов и деталей (тормозной цилиндр, буксовый узел, воздухораспределитель и др.) в условиях высоких температур; обеспечение безопасных условий труда (исключение ожогов при обслуживании вагонов).

Общая методика исследований построена на использовании метода конечных элементов в теплотехнике, методах теплопередачи, трехмерном твердотельном моделировании и теплотехнических измерениях в реальных условиях. Для упрощения математического описания в работе применен традиционный для задач теплотехники способ: взаимодействие твердого тела с газом сводится к рассмотрению процесса теплопроводности, а их взаимодействие учитывается через граничные условия [3]. Такой подход позволил исключить из рассмотрения уравнения гидродинамики обтекания твердого тела газом. Для исследования температурных полей в конструкции вагона-термоса разработана конечно-элементная модель механической системы «платформа – заготовка – колпак» [4], учитывающая условия взаимодействия между элементами конструкции колпака, рамы и слябов. В качестве основного показателя термической безопасности принята температура поверхностей вагона-термоса.

На первом этапе проведены измерения температуры поверхностей вагона с регистрацией пирометром «Термоскоп-100». Наиболее нагруженными с точки зрения температурного воздействия на вагон являются элементы рамы, в частности, пол платформы, на который укладывается теплоизоляция из шамотного кирпича толщиной 150 мм. Температура нижней поверхности пола достигает порогового значения 130 °С. Особое внимание заслуживает нагрев деталей тележки, оборудованных полимерными упругими элементами, – фрикционного клина, упругого скользяна, вставки адаптера буксового узла. Эти элементы обладают гораздо меньшей термостойкостью, чем металлические детали, а рабочая температура основных марок полиуретанов имеет ограничение до 100–120 °С. В таблице 1 приведены значения температур, измеренные на поверхностях элементов вагона через 24 ч после установки слябов, при температуре окружающего воздуха +6 °С.

*Таблица 1 – Значения температур поверхностей элементов вагона*

Узел	Деталь	Температура, °С	
		нормируемое значение [5]	результаты измерений
Тормозное оборудование	Шток тормозного цилиндра	55	26
	Воздухораспределитель	55	23
	Соединительные рукава, тормозные магистрали, воздушные резервуары	70	27
Тележка	Клин фрикционный	90	20
	Скользун	90	34
	Накладка между буксой и боковой рамой	80	27
	Буксовый узел с роликовыми подшипниками	80	27
Кузов	Пол вагона	130	133
	Элементы рамы (хребтовая и поперечные балки)	130	64

На втором этапе выполнен конечно-элементный анализ распределения температур по ограждающим поверхностям вагона-термоса. Установлено, что наиболее опасной из доступных для прикосновения является зона контакта опорных балок колпака вагона с кронштейнами платформы, где температуры достигают 55 °С. Несколько большие температуры (60–65 °С) имеют элементы хребтовой и поперечных балок рамы. Эти элементы конструкции находятся в области возможного контакта обслуживающего персонала с разогретыми поверхностями. Более того, при эксплуатации возможны деформация элементов вагона и разрушение теплоизоляционных слоев, которые могут способствовать появлению локальных зон с более высокими температурами. Как показывает практика, полностью исключить контакт обслуживающего персонала с нагретыми элементами вагона нельзя, и это требует разработки дополнительных требований по термической безопасности при техническом обслуживании рассматриваемого типа подвижного состава.

Таким образом, в ходе выполненных исследований установлены значения температур на поверхностях элементов вагона-термоса при противодождевой обработке металлургических заготовок. Полученные данные свидетельствуют о соответствии рассматриваемого подвижного состава требованиям сохранности узлов и деталей вагонов в условиях высоких температур и возможности эксплуатации таких вагонов для обеспечения технологических операций. С точки зрения термической безопасности, требуется разработка дополнительных мер к технологическим процессам эксплуатации вагона-термоса.

#### Список литературы

1 О безопасности железнодорожного подвижного состава (ТР ТС-001–2011) : технический регламент ТС / Утвержден решением Комиссии Таможенного союза от 15 июля 2011 г. № 710, введен в действие с 02 августа 2014 г. URL: <http://docs.cntd.ru/document/902293438>. Дата обращения 21.03.2016 г.

2 Даниленко, Д. В. Особенности технологии проектирования специализированных грузовых вагонов / Д. В. Даниленко, А. В. Намятов, В. Ф. Лапшин // Инновационный транспорт. – 2013. – № 2. – С. 24–29.

3 Павлюков А.Э. Тепловые процессы в вагонах при конвективном разогреве грузов. / А. Э. Павлюков, А. В. Занкович. – Saarbrücken : LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. – 62 с. – ISBN 978-3-659-61033-2.

4 Намятов А. В. Модель термонагруженности вагона термоса для транспортировки горячих металлургических заготовок / А. В. Намятов, А. Г. Охотников, В. Ф. Лапшин // Транспорт Урала. – 2014. – № 2. – С. 33–38. – ISSN 1815-9400.

5 Межгосударственный стандарт. ГОСТ 22235–2010. Вагоны грузовые магистральных железных дорог колеи 1520 мм. Общие требования по обеспечению сохранности при производстве погрузочно-разгрузочных и маневровых работ. – М. : Изд-во «Стандартинформ», 2011. – 18 с.

УДК 629.421.4

### КОМПЬЮТЕРНАЯ ПРОГРАММА «РЕСУРС НЕСУЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ ГРУЗОВОГО ВАГОНА»

*Е. Н. КОНОВАЛОВ, А. В. ПУТЯТО*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

При разработке новых конструкций вагонов, а также при выполнении работ по оценке остаточного ресурса грузовых вагонов после длительной эксплуатации появляется необходимость оценки имеющегося ресурса их несущих конструкций. Процедура оценки ресурса базируется на расчетно-экспериментальной методике, описанной в [1]. Целью работы является разработка компьютерной программы, позволяющей автоматизировать расчет ресурса контрольных зон несущей конструкции вагона на основе экспериментальных данных, полученных при его испытаниях.

Компьютерная программа разработана в среде Visual Basic for Applications в EXCEL. Она позволяет программно получить значения повреждаемостей для различных режимов эксплуатации, а также остаточного ресурса контрольной зоны несущей конструкции вагона.

Программа предусматривает использование результатов экспериментальных исследований несущей конструкции при трех режимах эксплуатации: колебания вагона при движении по участку пути (режим «сброс с клиньев»); режим соударения вагонов и режим загрузки и разгрузки вагона. При режиме «сброс с клиньев» вагон накатывается на клинья, расположенные под колесами, и далее «сбрасывается» с них, в результате чего выполняется регистрация динамических напряжений в контрольных областях несущей конструкции (посредством тензометрирования), а также определяется коэффициент вертикальной динамики. При режиме соударения вагонов выполняется ударное

нагружение испытуемого вагона посредством наката и последующего удара в него вагоном-бойком. При этом выполняется регистрация сил соударения вагонов с использованием тензометрической автосцепки, а также запись изменения динамических напряжений в контрольных зонах несущей конструкции вагона. При режиме загрузки и разгрузки вагона также выполняется регистрация изменения напряжений в контрольных зонах конструкции.

Расчет ресурса выполняется в пять этапов. На этапе 1 пользователь выполняет ввод общих исходных данных, характерных для данного типа вагона и контрольной области его конструкции: среднесуточный груженный пробег вагона, среднетехническую скорость вагона, количество дней эксплуатации в году, статический прогиб рессорного подвешивания, предел выносливости материала контрольной области конструкции, коэффициент снижения предела выносливости контрольной области конструкции, предел прочности материала контрольной области конструкции, значение допустимого коэффициента запаса усталостной прочности. На этапе 2 выполняется расчет повреждающего воздействия на контрольную область при действии вертикальных нагрузок, возникающих в результате вертикальных колебаний вагона при движении по рельсовой колее. В программном поле этапа 2 предусмотрены окна для ввода значений максимального и минимального напряжений цикла, возникающих в контрольной области конструкции, а также коэффициента вертикальной динамики вагона, которые получены экспериментальным путем при режиме «сброс вагона с клиньев». На этапе 3 выполняется расчет повреждающего воздействия на контрольную область при действии продольных нагрузок, возникающих в результате соударения вагонов в процессе эксплуатации. В программном поле этапа 3 предусмотрены окна для ввода значений максимального и минимального напряжений цикла, возникающих в контрольной области конструкции при различных значениях силы соударения вагонов. На этапе 4 выполняется расчет повреждающего воздействия на контрольную область при действии нагрузок, возникающих в результате загрузки и разгрузки вагона в процессе эксплуатации. В программном поле этапа 4 предусмотрены окна для ввода значений максимального и минимального напряжений цикла, возникающих в контрольной области конструкции. Этап 5 является заключительным и предусматривает расчет остаточного ресурса контрольной области несущей конструкции грузового вагона.

Компьютерная программа представлена одним основным файлом resource.xlsm. Размер файла составляет 2 259 806 байт. Программа может быть реализована в следующих операционных системах: Windows XP, Windows 7. Обязательным условием работы программы является наличие установленной программы Microsoft Excel версии 2007 и выше.

Программа позволяет выполнить расчет ресурса несущей конструкции грузового вагона, в том числе после его длительной эксплуатации, а также с учетом фактических значений механических характеристик металла. Определение значения остаточного ресурса возможно как на стадии постановки продукции на производство (при испытании опытных образцов), так и при реализации процедуры обоснования возможности продления срока службы вагона свыше нормативного, установленного заводом-изготовителем.

#### Список литературы

1 **Путято, А. В.** Прогнозирование остаточного ресурса вагона хоппер-дозатора после длительной эксплуатации с учетом фактических физико-механических характеристик материала несущей конструкции / А. В. Путято, Е. Н. Коновалов, П. М. Афанасьев // *Механика машин, механизмов и материалов*. – 2016. – № 1(34). – С. 26–35.

УДК 629.4.45

### **ИСПЫТАНИЯ И ОЦЕНКА НОРМАТИВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СЛУЖЕБНО-ТЕХНИЧЕСКИХ ВАГОНОВ ПАССАЖИРСКОГО ТИПА**

*С. Д. КОРШУНОВ, Е. А. КАБЛУКОВА, С. А. КУЗНЕЦОВ, Д. И. ГОНЧАРОВ*  
*ЗАО Научная организация «Тверской институт вагоностроения», ФБУ «РСФЖТ»,*  
*АО «Фирма ТВЕМА», Российская Федерация*

Акционерное общество «Фирма ТВЕМА» разработало и поставило на производство вагоны служебно-технические пассажирского типа различного назначения (вагоны-лаборатории) модели 61-919:

вагон-лабораторию «Водолазная обследовательская станция» и вагон-электростанцию. Вагоны предназначены к эксплуатации в составе пассажирских, почтово-багажных или хозяйственных поездов, а также отдельным локомотивом в любое время года и суток при воздействии осадков в виде дождя и снега в диапазоне температур окружающего воздуха от минус 40 до плюс 50 °С, с конструкционной скоростью до 160 км/ч. Вагоны построены на базе современных кузовов из нержавеющей и низколегированных сталей, со сроком эксплуатации 40 лет, разработанных ОАО «ГВЗ».

Вагон-лаборатория «Водолазная обследовательская станция ВДМА.663500.114-15» предназначена для размещения диагностического, ремонтного и измерительного оборудования, организации рабочих мест и для обеспечения нормальной жизнедеятельности и отдыха обслуживающего персонала. В соответствии с назначением вагона в ее состав входят: система энергоснабжения ~220 В; система отопления с горелкой на жидком топливе; дополнительный котел системы отопления ~380 В; дизель-генераторная установка; система водоснабжения; система обеспечения микроклимата; система пожарной сигнализации; система пожаротушения; система связи; оборудование служебного помещения; оборудование купе; оборудование технического помещения; оборудование гаражного отсека для автомобиля; хозяйственный инвентарь (рисунки 1, 2).

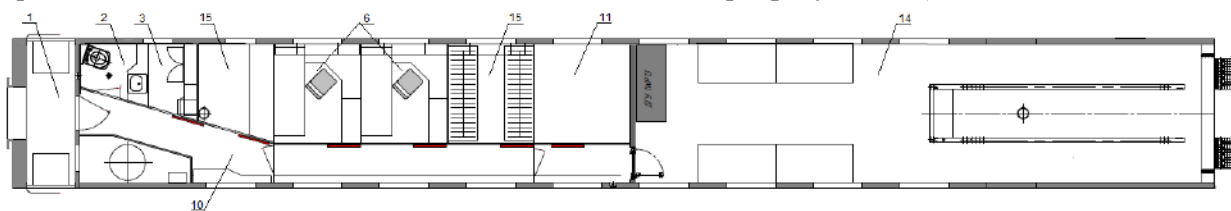


Рисунок 1 – Вагон-лаборатория ВДМА.663500.114-15:

1 – тамбур котлового конца вагона; 2 – туалет; 3 – щитовая; 6 – купе; 10 – косой коридор; 11 – техническое помещение; 14 – гаражный отсек; 15 – служебное помещение

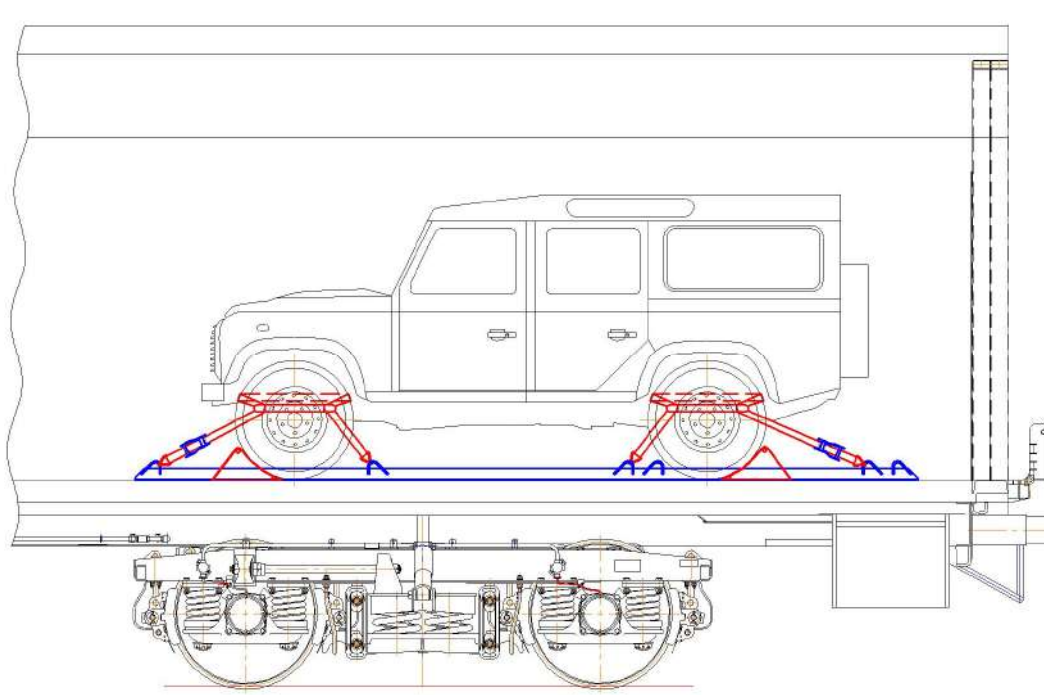


Рисунок 2 – Размещение и крепление служебного автомобиля в вагоне-лаборатории

Вагон-электростанция служебно-технический пассажирского типа ВДМА.663500.114-17 предназначен для размещения энергообеспечивающего оборудования мощностью более 320 кВт, а также диагностического, ремонтного, измерительного и вспомогательного оборудования, организации рабочих мест и для обеспечения нормальной жизнедеятельности и отдыха обслуживающего персонала (рисунок 3). Вагон выполнен как специальная несамоходная подвижная единица. Учитывая дефицит (можно сказать отсутствие) современных вагонов-электростанций, а также технические характеристики вагонов ВДМА.663500.114-17 и ВДМА.663500.114-15, данный отечественный проект можно назвать актуальным и инновационным.

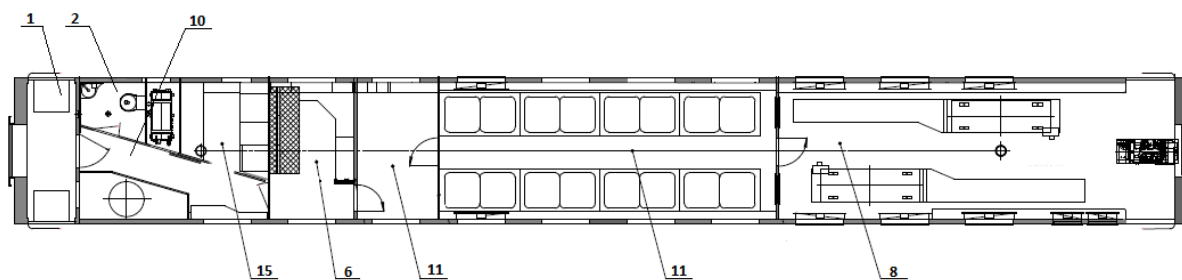


Рисунок 3 – Вагон-электростанция ВДМА.663500.114-17:

1 – тамбур котлового конца вагона; 2 – туалет; 6 – купе; 8 – дизельная; 10 – косой коридор; 11 – технические помещения; 15 – служебное помещение

В соответствии с регламентом вагоны со всеми установленными на них системами прошли испытания. При испытаниях на прочность определялись напряжения в несущих элементах кузова при статических нормативных нагрузках и соударениях вагона с силой 2,5 МН. При этом эквивалентные напряжения в несущих элементах кузова как при действии статических нагрузок, так и при одновременном воздействии импульсов продольного, вертикального и поперечного ускорений не превышали предел текучести материала. Элементы крепления внутреннего и подвагонного оборудования, расположенного под кузовом, выдержали продольную инерционную нагрузку, соответствующую расчетному значению продольного ускорения 50 м/с<sup>2</sup>. Кроме прочностных, вагоны прошли комплекс электротехнических, противопожарных, эргономических, санитарно-гигиенических и других испытаний.

Инструментальным контролем с использованием поверенного или аттестованного в порядке, регламентированном ГОСТ Р 51672-2000 «Метрологическое обеспечение испытаний продукции для целей подтверждения соответствия. Основные положения», установлено соответствие всех определяемых при испытаниях вагонов показателей нормативным требованиям и ГОСТ Р 55182-2012 «Вагоны пассажирские локомотивной тяги. Общие технические требования».

На основании комплекса проведенных испытаний с положительными результатами на вагоны выданы сертификаты соответствия требованиям технического регламента Таможенного союза.

УДК 625.421

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЧНОСТИ КУЗОВОВ ВАГОНОВ МЕТРОПОЛИТЕНА

*С. Д. КОРШУНОВ, А. С. ЩЕГЛОВ, А. Г. УДЕЛЬНОВ, О. Б. РУБЕЙКИН, Д. В. КРАСИВОВ  
ЗАО Научная организация «Тверской институт вагоностроения», Российская Федерация*

Метрополитены крупных городов России эксплуатируют различные модели вагонов, отличающихся как несущими конструкциями, так и оборудованием и планировками. Это обусловлено особенностями существующего парка вагонов, интенсивностью пассажиропотока и другими причинами. Основным разработчиком и изготовителем вагонов метро является открытое акционерное общество «Метровагонмаш» (ОАО «Метровагонмаш») г. Мытищи. Однако в последнее время кузова вагонов метрополитена начало изготавливать открытое акционерное общество «Тверской вагоностроительный завод» (ОАО «ТВЗ»). В связи с постановкой на производство ЗАО НО «ТИВ» были проведены прочностные испытания целого ряда кузовов вагонов метрополитена моделей 81-760, 81-723.1 и 81-766 производства ОАО «ТВЗ», а также моделей 81-714.2 и 81-717.2 производства ОАО «Метровагонмаш» (таблица 1).

Таблица 1 – Основные характеристики опытных образцов

Наименование	Значение			
	81-723.1	81-760	81-714.2 (81-717.2)	81-766
Масса тары кузова/вагона, т, не более	20,8 /34,5	21,4/38,0	18,0/38,0 (19,00/37,44)	25,4/36,0
Максимальная вместимость, пассажиров	330	307	273 (252)	330



Окончание таблицы 1

Наименование	Значение			
	81-723.1	81-760	81-714.2 (81-717.2)	81-766
Максимальная пассажирская нагрузка вагона, т	23,1	21,5	20,00 (18,44)	23,1
Материал основных несущих элементов рамы	09Г2С по ГОСТ 19281	09Г2Д по ГОСТ 19281	09Г2Д по ГОСТ 19281	09Г2Д по ГОСТ 19281
Материал обшивки кузова	12Х18Н10Т по ГОСТ 5582	EN 10088-2- Х6CrNiTi18-10+2В	Сталь 20 по ГОСТ 1055	12Х18Н10Т по ГОСТ 5582

В целом, нормативные требования прочности при различных режимах эксплуатации вагонов метрополитена приведены в [1]. Для проведения испытаний были разработаны и согласованы рабочие программы и методики прочностных испытаний конкретных кузовов, регламентирующие порядок проведения, методы и объемы испытаний, например [3]. Методологически проведение прочностных испытаний кузовов вагонов метрополитена, по схемам приложения нагрузок и основным принципам их реализации, подобно исследованиям прочности кузовов пассажирских вагонов локомотивной тяги. Главным отличием являются величины и способы приложения нормативных испытательных нагрузок [1] (таблица 2), что обусловлено особенностями конструкции и эксплуатационными нагрузками.

Таблица 2 – Испытательные нагрузки

I режим		II режим	
Усилие сжатия	0,4 МН (40 тс)	Усилие сжатия и растяжения	0,12 МН (12 тс)
Усилие сжатия для консольной части кузова	0,5 МН (50 тс)		
Усилие растяжения	0,3 МН (30 тс)		

Испытательные статические нагрузки реализовались в специальном стенде, предназначенном для испытаний вагонов. Каждый вид испытательных нагрузений повторялся не менее трех раз. Напряженно-деформированное состояние (относительные микродеформации) несущих элементов кузова вагона метро от испытательных нагрузок определялось методом тензометрирования с помощью микропроцессорной многоканальной измерительной системы ММТС-64.01 и тензодатчиков с базой 10–20 мм. Догрузка металлоконструкций кузовов до необходимой массы тара и брутто проводилась мерными грузами. С учетом особенностей сцепных устройств для каждого кузова были спроектированы, рассчитаны и изготовлены переходные силовые приспособления для реализации продольных нормативных нагрузок, необходимость которых обусловлена конструкцией сцепных устройств.

Испытания на соударения проводились на прямолинейном участке железнодорожного пути. Вагон-боек накатывался локомотивом на испытуемый кузов, стоящий в голове заторможенного состава. Испытания опытных образцов кузовов вагонов начинались с соударений небольшими силами ( $\approx 0,1$  МН) на малых скоростях ( $\approx 0,5 \dots 1$  км/ч), которые постепенно повышаются до величины, соответствующей нормативной силе соударения 0,5 МН. В процессе испытаний измерялась сила удара в сцепку, оборудованную схемами тензорезисторов, для которой предварительно проведены необходимые тарировки. Также регистрировались напряжения в несущей металлоконструкции и креплениях внутреннего и подвагонного оборудования вагона. Дополнительно контролировались продольные, вертикальные и поперечные ускорения на кузове и оборудовании.

Все опытные образцы кузовов вагонов метрополитена успешно прошли испытания нормативными нагрузками. Экспериментальные напряжения, превышающие допускаемые, в металлоконструкциях отсутствуют. Коэффициенты запаса статической прочности основных несущих элементов рам кузовов испытанных вагонов составили не менее 1,2 относительно допускаемых напряжений. Потеря устойчивости основных несущих элементов отсутствовала. Таким образом, можно сделать вывод о соответствии всех вышеуказанных кузовов требованиям нормативных документов [1] и [2].

#### Список литературы

- 1 Нормы для проектирования, расчета и оценки прочности и динамики механической части вагонов метрополитена колеи 1520 мм. СТО СДС ОПЖТ–05-2010. – М., 2010. – 115 с.
- 2 ГОСТ Р 50850–96 «Вагоны метрополитена. Общие технические условия». Госстандарт России. – М., 1996. – 24 с.
- 3 Кузов вагона метрополитена модели 81-766. Программа-методика квалификационных испытаний 766.00.00.000 ПМ. ЗАО НО «ТИВ». – Тверь, 2017. – 14 с.



## КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ НАГРУЖЕННОСТИ КОНВЕЙЕРА

*Д. М. КУЗЁМКИН, В. А. ДОВГЯЛО*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Машиностроительные конструкции с гибкими несущими элементами, такие как ленточный конвейер, постоянно подвергаются воздействию внешних сил, которые приводят к колебаниям или вибрациям, оказывающим негативное влияние на функционирование любой механической системы. Решение проблемы по снижению последствий ударных нагрузок представляет собой сложную математическую задачу, так как сопряжено с анализом динамики систем, включающих твердые и податливые тела.

Как показал проведенный анализ научно-технической литературы, в настоящее время проводится большая работа в области теоретических и экспериментальных исследований в области конвейеростроения [1]. Однако не существует единого алгоритма действий, позволяющих обеспечить надежность и долговечность работы на протяжении всего срока эксплуатации конвейера. Поэтому целью данной работы является разработка подходов по определению рациональных способов снижения динамических нагрузок в конструкциях ленточных конвейеров.

Для достижения поставленной цели была разработана компьютерная модель ленточного конвейера, позволяющая определить динамические характеристики системы под действием эксплуатационных нагрузок [2]. Построение компьютерной модели производилось в программном пакете MSC.ADAMS, который позволяет создавать, тестировать и оптимизировать работу моделей механизмов и конструкций, состоящих из абсолютно твердых тел и их соединений. Исходная модель конвейера состоит из двух мотор-барабанов, опорных и поддерживающих роликов, транспортирующей ленты. Были заданы исходные данные: тип, условия контакта и движения тел, выбраны материалы, виды связей и способы закрепления конструктивных элементов конвейера. В результате расчетов установлено: наибольшие силы возникают в момент контакта падающего груза с поверхностью ленты; при перекатывании груза через ролики появляются дополнительные усилия, которые могут приводить к нежелательным резонансным явлениям.

Для разработки методики подбора эффективных параметров демпфера нами была создана его компьютерная модель, позволяющая исследовать влияние демпфирующих параметров и их комбинаций на диссипацию энергии удара от падающего груза. За основу был взят амортизатор, который представляет собой систему из основания и соединенной с ним посредством пружины-торсиона опоры. В результате расчетов выявлена закономерность: значение силы контакта падающего груза с поверхностью демпфера возрастает с увеличением жесткости системы, массы груза, высоты падения груза, и уменьшается с увеличением коэффициента демпфирования [3].

Нами был выполнен также сравнительный анализ работы различных конструкций загрузочной секции ленточного конвейера. Динамика конвейера моделировалась с наличием в конструкции подрессоренных и неподресоренных роликоопор, а также с упругими опорами скольжения в загрузочной части. Из трех проанализированных моделей конвейеров наиболее благоприятным для транспортирования штучных грузов является конструкция с упругими подрессоренными роликоопорами в зоне загрузки. Данное исполнение позволяет снизить максимальные динамические усилия от падающего груза на оси роликов, не допуская возникновения резонансных явлений, и добиться стабильных амплитудно-частотных характеристик работы конвейера [4].

Источником вредоносных вибраций машин и механизмов могут быть не только внешние силы, но и сами элементы механической системы. Так, неточно изготовленные и смонтированные зубчатые передачи способны приводить к преждевременному выходу из строя деталей и значительным простоям оборудования. Поэтому для анализа динамических показателей системы был создан алгоритм моделирования зубчатых передач с непараллельными осями. Так, в пакете трёхмерного проектирования были построены твердые тела и осуществлена сборка модели с заданным углом погрешности расположения ведущего и ведомого валов, наложены механические связи, отражающие результат взаимодействия тел в передаче. В результате расчетов получены значения динамических сил, действующих на детали конструкции при постоянной нагрузке, в зависимости от угла между осями валов. Объяснены причины появления высокочастотного шума, возникающего при работе зубчатых передач [5].

## Список литературы

- 1 Кузёмкин, Д. М. Способы снижения динамических нагрузок в конструкциях ленточных конвейеров (обзор) / Д. М. Кузёмкин, В. А. Довгяло // Горная механика и машиностроение. – 2014. – № 3. – С. 73–85.
- 2 Кузёмкин, Д. М. Компьютерное моделирование ленточного конвейера с учетом эксплуатационных нагрузок / Д. М. Кузёмкин, В. А. Довгяло // Проблемы безопасности на транспорте : материалы VII Междунар. науч.-практ. конф. – Гомель : БелГУТ, 2015. – С. 48.
- 3 Кузёмкин, Д. М. Моделирование демпфирующего устройства под действием эксплуатационных нагрузок / Д. М. Кузёмкин // Инновации в машиностроении : материалы междунар. симпозиума, Минск, 16–17 авг. 2014 г. – М. : МАИ, 2014. – С. 162–166.
- 4 Кузёмкин, Д. М. Сравнительный анализ различных конструкций загрузочной секции ленточного конвейера на основе компьютерного моделирования / Д. М. Кузёмкин, В. А. Довгяло // Горная механика и машиностроение. – 2016. – № 1. – С. 57–61.
- 5 Shimanovsky, A. O. Simulation of spur for gear at their nonparallel axes / A. Shimanovsky, D. Kuziomkin, D. Lopukh, A. Kovalenko // Acta Mechanica Slovaca. – 2016. – Vol. 20, № 1. – P. 28–32.

УДК 629.4 : 620.178.3

### **ВЛИЯНИЕ МЕТОДОВ СХЕМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА НАГРУЖЕННОСТИ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ХАРАКТЕРИСТИК СОПРОТИВЛЕНИЯ УСТАЛОСТИ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА**

*Ю. И. КУЛАЖЕНКО, В. И. СЕНЬКО, С. В. МАКЕЕВ, В. В. КОМИССАРОВ, В. А. САЗОНОВ  
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Повышение надежности транспортных объектов в процессе эксплуатации возможно на основе системы предупреждения отказов. В этой связи, как правило, используют конструктивные меры по обеспечению статической прочности изделий, контролируют износ сопряженных деталей, используют специальную вибродиагностическую аппаратуру, определяя момент появления трещин в деталях, неравномерность работы исследуемых элементов, узлов и др. Однако на практике не удается оценить степень усталостного повреждения деталей в процессе эксплуатации и, следовательно, предупредить появление усталостных отказов.

Согласно действующим нормативным документам усталостная прочность несущих конструкций железнодорожных вагонов характеризуется коэффициентом запаса. При его значениях выше установленных норм (допускаемой величины) подразумевается, что в течение всего времени эксплуатации вагона возникновение усталостных трещин в металле принципиально невозможно. Выводы об усталостной прочности несущих конструкций железнодорожных вагонов в соответствии с действующими требованиями должны формироваться по результатам ходовых испытаний с непрерывным измерением действующих нагрузок (возникающих напряжений), а контролировать текущее усталостное повреждение деталей при эксплуатации возможно, если использовать соответствующие гипотезы суммирования повреждений.

При прогнозировании усталостной долговечности случайные процессы нагружения деталей заменяются некоторым схематизированным процессом (ГОСТ 25.101–83), который по уровню вносимого усталостного повреждения должен быть эквивалентен реальному. В настоящее время в испытательном центре железнодорожной техники «СЕКО» (ИЦ ЖТ «СЕКО») создается и активно используется компьютерная система обработки результатов ходовых испытаний. В рамках проводимой работы разработаны алгоритмы известных методов схематизации: полных циклов и метода «потока дождя». Установлено, что схематизация реальных процессов нагружения по данным методам приводит к весьма существенной разнице прогнозируемых усталостных повреждений. Кроме того, данные методы требуют, чтобы весь цикл нагружения был известен до начала эксперимента, вследствие чего они не подходят для обработки данных в процессе эксплуатации, поскольку весь график нагружения неизвестен до конца испытаний. В этой связи была поставлена задача разработки рекуррентного алгоритма, который позволит в режиме реального времени производить схематизацию процесса нагружения. Кроме того, было установлено, что основным недостатком применяемых методов являются необоснованные правила

выделения цикла напряжений, что может привести к ошибочным результатам определения амплитуд циклов и их количества.

Также стоит обратить внимание, что при нахождении ресурса (надежности) объектов, работающих в условиях спектра нагрузок, используют преимущественно одну линейную гипотезу накопления повреждаемости. Однако в настоящее время практическое применение нашли и другие гипотезы, учитывающие различные особенности накопления повреждений в материалах со временем. Все они имеют вероятностный характер и обладают равными правами на применение. Так как в каждом конкретном случае невозможно однозначно прогнозировать, какая именно гипотеза покажет минимальное значение долговечности (это зависит от коэффициента асимметрии цикла, свойств материала, условий нагружения и т.д.), то расчет по нескольким гипотезам предпочтительнее.

В дальнейшем, по нашему мнению, при накоплении достаточного количества статистических данных, можно будет выделить какую-либо одну гипотезу или группу гипотез для каждого сочетания «материал – конструкция – технология изготовления – характер нагружения – условия эксплуатации», которая будет более адекватно характеризовать процесс повреждаемости. В результате проводимых теоретических и экспериментальных исследований разрабатывается метод оценки и прогнозирования долговечности элементов подвижного состава. В конечном итоге планируется, что разрабатываемый программный продукт обеспечит синтез результатов всех испытаний вагонов с интегрированной обработкой процесса нагружения, его схематизацией и оценкой поврежденности.

УДК 621.891

## **ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ НАТЯГА ВНУТРЕННИХ КОЛЕЦ ПОДШИПНИКОВ КОЛЁСНОЙ ПАРЫ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА**

*Н. А. ЛАЗАРЕВ, В. И. ВРУБЛЕВСКАЯ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Подвижной состав относится к сложным техническим средствам. Одним из основных факторов обеспечения качества нового или отремонтированного подвижного состава является поставка эксплуатирующим организациям его, а также узлов и агрегатов, удовлетворяющих предъявляемым к ним требованиям.

Вместе с тем, существующие претензии по качеству подвижного состава и анализ структуры отказов в эксплуатации показывают, что даже при наличии инспекционной приемки, сертификации продукции и систем менеджмента качества на предприятиях-поставщиках имеют место отказы по причине поставок некачественной продукции (комплектующих) предприятиям, производящим изготовление и ремонт подвижного состава, что влечет за собой существенные убытки, которые включают:

- затраты на неплановый ремонт подвижного состава;
- транспортные расходы, возникающие в процессе рекламационной работы при возврате заводу-изготовителю отказавшего оборудования или подвижного состава;
- потеря полезной работы по причине отказа оборудования;
- сверхнормативный простой подвижного состава по причинам технической неисправности.

В области развития подвижного состава важной целью является существенное сокращение эксплуатационных затрат, снижение которых может быть достигнуто только при покупке нового подвижного состава или модернизации существующего. Эффективность приобретения и использования нового или отремонтированного подвижного состава может быть достигнута только при определенных гарантиях его качества в соответствии с техническими условиями.

Необходимо освоение и использование новых знаний и средств при проектировании и испытании, позволяющих повысить качество, надежность и безопасность эксплуатации вновь проектируемого подвижного состава.

В качестве препятствующего фактора для достижения цели является недостаток на заводах-изготовителях современного технологического оборудования и современных технологий [1].

Одним из важнейших факторов безопасности движения подвижного состава является бесперебойная работа узлов и агрегатов ходовой части. Наиболее частой поломкой является перегрев бук-

сового узла. В данном случае выявление причин отказа узла может быть достаточно разнообразной. Рассмотрим одну из проблем. Согласно Руководящим документам по ремонту и техническому обслуживанию колёсных пар с буксовыми узлами грузовых и пассажирских вагонов магистральных железных дорог колеи 1520 (1540 мм) натяг внутренних колец подшипников на ось должен иметь численное значение 45–110 мкм [2, 3]. Малый натяг внутреннего кольца приводит к его ослаблению и проворачиванию на оси. Когда возникает проскальзывание, подогнанные поверхности становятся шероховатыми, вызывая износ и значительное повреждение вала, а также может стать следствием грения буксового узла и его разрушения.

Сделав акцент на данной проблеме, ЗАО «Гомельский ВЗЗ» приобрёл прибор для измерения натяга внутренних колец роликовых подшипников.

Прибор контроля натяга колец подшипников предназначен для неразрушающего контроля натяга внутренних колец роликовых подшипников качения после их горячей посадки на шейки осей колёсных пар железнодорожных вагонов [4].

Область применения: предприятия, занимающиеся производством и ремонтом подвижного состава железнодорожного транспорта.

Конструктивно прибор выполнен в металлическом корпусе, внутри которого размещён датчик, состоящий из маятникового механизма и оптопар, и программируемый микроконтроллер, который содержит микропроцессор, оперативное запоминающее устройство и постоянное запоминающее устройство. В нижней части прибора имеется полукруглое посадочное место, ширина которого равна ширине дорожки качения подшипника. На верхней части прибора расположены жидкокристаллический дисплей, панель управления и уровень.

Прибор питается от встроенной малогабаритной аккумуляторной батареи и относится к приборам переносного типа. Принцип действия прибора основан на возбуждении с помощью маятникового механизма упругих колебаний в материале кольца и последующей регистрации параметров затухающих колебаний маятника, которые зависят от величины натяга в месте посадки. При установке прибора на контролируемое кольцо подшипника и подачи команды «Пуск» происходит падение шарика на кольцо. Подсчитывается время 10 соударений шарика и кольца (фиксируется прохождение шариком оптопар), и после обработки информации в микроконтроллере на экран дисплея выводится информация о степени натяга контролируемого кольца на ось колёсной пары.

Прибор позволяет производить контроль натяга кольца, посаженного на шейку оси колёсной пары, выводить на экран дисплея информацию о натяге, накапливать информацию о натяге, о проверяемых колёсных парах и передавать её на ПЭВМ для формирования базы данных и автоматизированного оформления документов.

#### Список литературы

- 1 [www.eav.ru/publ1.php?publid=2009-08a27](http://www.eav.ru/publ1.php?publid=2009-08a27).
- 2 Руководящий документ по ремонту и техническому обслуживанию колёсных пар с буксовыми узлами грузовых вагонов магистральных железнодорожных дорог колеи 1520 (1524 мм). – М. : ОАО «ВНИИЖТ», 2012. – 274 с.
- 3 Руководящий документ по ремонту и техническому обслуживанию колёсных пар с буксовыми узлами пассажирских вагонов магистральных железнодорожных дорог колеи 1520 (1524 мм). – М. : ОАО «ВНИИЖТ», 2015. – 280 с.
- 4 Прибор контроля натяга колец подшипников ПС-219.11. Руководство по эксплуатации МКИЯ.427614.011 РЭ., 2017. – 52 с.

УДК 629.463.03:629.015

## **ОСОБЕННОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ НАГРУЖЕННОСТИ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ КОНТЕЙНЕРОВ, РАЗМЕЩЕННЫХ НА ВАГОНАХ-ПЛАТФОРМАХ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ РЕЖИМАХ НАГРУЖЕНИЯ**

*А. А. ЛОВСКАЯ*

*Украинский государственный университет железнодорожного транспорта, г. Харьков*

Повышение эффективности перевозочного процесса в направлении международных транспортных коридоров обуславливает необходимость разработки и введения в эксплуатацию транспортных

средств нового поколения. Одним из наиболее мобильных видов транспортных средств, которые нашли применение в международном комбинированном сообщении, являются контейнеры. Интермодальность контейнеров прогнозирует повышение уровня их востребованности при комбинированных перевозках. Это вызывает необходимость разработки и внедрения в эксплуатацию контейнеров с повышенными технико-экономическими показателями. При проектировании таких контейнеров необходимо учитывать, в первую очередь, нагрузки, которые будут действовать на них в эксплуатации.

Для определения эксплуатационных значений динамических нагрузок, как одних из наиболее существенных, которые действуют на несущую конструкцию контейнеров, размещенных на вагонеплатформе при маневровом соударении, проведено математическое моделирование. Исследования проведены для контейнера-цистерны и сухогрузного контейнера типоразмером 1СС. В качестве базового вагона-платформы рассмотрена модель 13-4085, постройки ПАО «Днепровагонмаш». При этом контейнеры рассматривались как прикрепленные массы относительно рамы вагонеплатформы, которые имеют податливость в продольном направлении, обусловленную наличием зазоров между фитинговыми упорами вагонеплатформы и фитингами контейнеров. Контейнеры имеют собственную степень свободы до момента упора фитингов в фитинговые упоры, после чего они повторяют траекторию перемещения вагонеплатформы. Связь между рамой вагонеплатформы и контейнерами имитировалась как фрикционная. Вертикальные перемещения контейнеров во внимание не принимались. Для контейнера-цистерны учитывалось неполное использование грузоподъемности, что обусловлено недоливом котла наливным грузом. Решение дифференциальных уравнений осуществлялось в среде программного обеспечения MathCad.

Результаты исследований показали, что при отсутствии зазоров между фитинговыми упорами и фитингами ускорения как составляющие динамической нагрузки, которые действуют на несущую конструкцию контейнера-цистерны, составили около  $40 \text{ м/с}^2$ , для сухогрузного – около  $50 \text{ м/с}^2$ . С учетом максимально возможных перемещений, обусловленных зазорами в парах «фитинговые упоры – фитинги», ускорения составили, соответственно, около  $200 \text{ м/с}^2$  и около  $110 \text{ м/с}^2$ .

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1 Ускорения, которые действуют на контейнеры, размещенные на вагонеплатформе, с учетом наличия зазоров в парах «фитинговые упоры – фитинги» составили, соответственно, около 300 и около  $110 \text{ м/с}^2$ , при отсутствии зазоров – соответственно, около 40 и около  $50 \text{ м/с}^2$ ;

2 Для обеспечения сохранности контейнеров, размещенных на вагонах-платформах при маневровых соударениях необходимым является ограничение их перемещений относительно рам вагонеплатформ;

3 При проектировании контейнеров нового поколения необходимо учитывать уточненные величины ускорений, которые могут действовать на них в эксплуатации.

УДК 621.43

## **СОЗДАНИЕ СИЛОВОГО АГРЕГАТА ДЛЯ ПРИВОДА СРЕДСТВ МАЛОЙ МЕХАНИЗАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ CAD/CAM МОДЕЛИРОВАНИЯ**

*В. А. ЛОДНЯ, В. А. СТАЛЬМАКОВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Большое разнообразие конструкций дизельных двигателей далеко не всегда позволяет выработать универсальный подход к проектированию и оптимизации конструктивных решений. Однако общей тенденцией для современных двигателей является уменьшение габаритов и массы конструкции при обеспечении необходимого моторесурса и уровня эколого-экономических показателей.

При традиционном подходе к проектированию, т.е. оптимизации конструкции с помощью серии натурных экспериментов, не представляется возможным в сжатые сроки выпустить на рынок продукцию с оптимальными массово-энергетическими показателями. Органическим выходом является использование технологий построения и анализа 3D – CAD моделей. Доработка ведется, используя специализированные расчетные CAE программные комплексы, что позволяет по результатам расчетов в режиме реального времени оптимизировать конструкцию.

С целью обеспечения достоверности полученных результатов было принято решение об использовании параллельно двух пакетов 3D-моделирования, а именно *Autodesk Inventor 2014* и *Solid Works 2014*, а также пакета инженерного анализа *COSMOS\Works*. Совокупность этих пакетов составляет проектный комплекс. На первом этапе производилось построение 3D-моделей деталей дизельного двигателя МД-8 и сборочной модели в целом. Исходными данными послужили чертежи реальной конструкции прототипа, на основании которых были построены 3D-модели.

На рисунке 1 показаны соответственно фрагмент процесса моделирования (а) и сборка проектируемого дизельного двигателя (б).

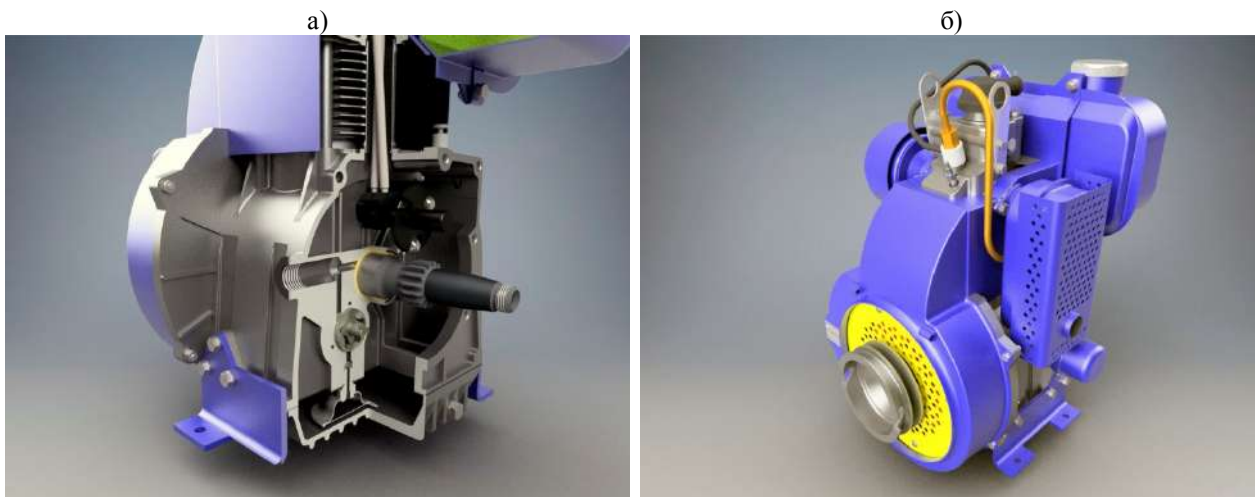


Рисунок 1 – Трехмерная сборочная модель проектируемого ДВС:

а – фрагмент процесса моделирования; б – сборочная 3D-модель проектируемого дизельного двигателя

Следующим этапом проводился инженерный анализ отдельных механизмов, определяющих конструкцию двигателя в целом. Совершенство конструкции головки цилиндра в значительной степени определяет совершенство конструкции двигателя. Создание оптимальной конструкции головки еще не гарантирует надежную работу системы охлаждения и двигателя в целом, но в значительной мере предопределяет ее. Сборочная модель головки цилиндра анализировалась в программном комплексе инженерного анализа *COSMOS\Works*. Первым этапом анализа явилось создание его алгоритма, включающего в себя построение расчетной модели определенного типа (термического, статического), задание граничных условий, получение результатов в графическом виде, а также выполнение соответствующих настроек, которые могут быть изменены пользователем перед выполнением нового варианта расчета. Конечным этапом исследований явился расчет и вывод результатов в графическом и численном видах (рисунок 2). При оценке результатов использовалась градиентная окраска распределения температурных полей по объему конструкции, что позволило проводить многофакторный анализ. Были выделены критические участки и проведена оптимизация исходной геометрии конструкции в 3D-моделях.

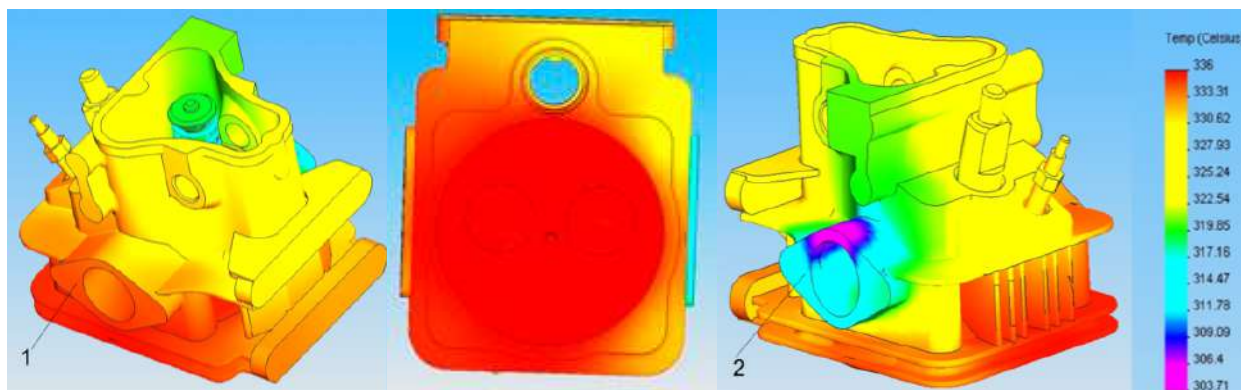


Рисунок 2 – Распределение температур по объему конструкции головки

1 – выпускной коллектор; 2 – впускной коллектор

Рассмотренная технология моделирования позволяет оперативно выполнять большое количество экспериментов, варьируя как граничные условия, так и геометрические формы деталей и конструкции двигателя. В данном подходе к проектированию и анализу реальной конструкции обеспечивается получение оптимального проектного решения и значительное снижение затрат, связанных обычно с необходимостью проведения натурального эксперимента.

УДК 629.4.027.118

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЗАПРЕССОВКИ КОЛЕСНЫХ ПАР ПО ЕВРОПЕЙСКИМ НОРМАМ И СТАНДАРТАМ, ДЕЙСТВУЮЩИМ НА ТЕРРИТОРИИ ТАМОЖЕННОГО СОЮЗА**

*В. В. МАКЕЕВ, С. В. МАКЕЕВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Одним из направлений деятельности Испытательного центра железнодорожного транспорта «СЕКО» (ИЦ ЖТ «СЕКО») является проведение испытаний колесных пар на соответствие требованиям Технического регламента Таможенного союза «О безопасности железнодорожного подвижного состава» ТР ТС 001/2011. Колесные пары, эксплуатация которых проходит на территории Таможенного союза, должны удовлетворять требованиям ТР ТС 001/2011 и взаимосвязанных с ним межгосударственных стандартов. Требования к моторным колесным парам устанавливаются ГОСТ 11018–2011, а к не моторным – ГОСТ 4835–2013.

В последние годы моторвагонный подвижной состав Белорусской железной дороги пополнился поездами, произведенными на заводах компании Штадлер. Колесные пары для этих поездов были изготовлены в Германии фирмой Gutehoffnungshütte Radsatz GmbH в соответствии с требованиями европейских норм EN 13260–2011 и поставлены в Республику Беларусь как готовый продукт в составе тележек для сборки электропоездов семивагонных переменного тока компании Штадлер типа FLIRT Belarus IC.

Анализ диаграмм запрессовки колесных пар (моторных, немоторных), изготовленных по европейскому стандарту, позволил выявить отличия требований к форме диаграммы запрессовки. ГОСТ 4835–2013 и ГОСТ 11018–2011 допускает скачок усилия запрессовки в начальной части диаграммы, но не более 49 кН. EN 13260-2011 (приложение А) допускает скачок до 296 кН на длине до 30 мм. Предполагается, что на этой длине колесо окончательно сядет на ось для дальнейшей запрессовки. Допуск по первоначальному скачку в требованиях ГОСТ и EN отличается в 6 раз. Представленные компанией ЗАО «Штадлер-Минск» диаграммы запрессовки показывают, что первоначальный скачок принимает значения от 100 до 160 кН для моторных колесных пар и от 105 до 160 кН – для немоторных. Анализ технологии запрессовки и технической документации на колесные пары, изготовленные согласно EN 13260-2011, позволил выявить возможную причину возникновения первоначального скачка усилия запрессовки. На подступичной части со стороны захода колеса на ось сформирована конусная часть длиной 5 мм с конусностью 6°, шероховатость которой, согласно технической документации, Ra = 1,6 мкм, шероховатость подступичной части оси – не более Ra = 1,6 мкм. Ось изготовлена из стали с маркировкой EA4T, что соответствует ГОСТ Р 52942–2008. Колеса являются цельнокатаными и изготовлены из стали ER9 согласно EN 13260. Со стороны запрессовки у посадочного отверстия колеса снята фаска 1×45°. Шероховатость посадочного отверстия колеса – не более Ra = 3,2 мкм. В качестве смазки для запрессовки используется дисульфид молибдена (MoS<sub>2</sub>).

В то же время оси, изготовленные согласно ГОСТ 22780, имеют плавный заход длиной 7–15 мм с шероховатостью не более Ra = 1,25 мкм и с разностью наибольшего и наименьшего диаметров не более 1 мм, что соответствует конусности 2–4°. Описанные отличия геометрических параметров заходной части оси и шероховатости подступичной части оси могут быть причинами более значительного первоначального скачка усилия запрессовки на диаграмме.

Скачок усилия запрессовки колесных пар, изготовленных по EN 13260–2011, приходится на первые 4–6 мм запрессовки. На этом расстоянии происходит предварительная запрессовка колеса на ось.

Для немоторной колесной пары ГОСТ 4835–2013, п. 4.4.4 допускает предварительную запрессовку колес без записи диаграммы. При этом окончательная запрессовка осуществляется с записью диаграммы и обеспечением минимальной длины сопряжения.



Согласно представленной технической документации длина сопряжения колесной пары тележки Якобса (немоторной) составляет 174 мм, немоторной колесной пары – 186 мм. Минимально допустимая длина сопряжения  $L$  по п. 4.4.8 ГОСТ 4835–2013 составляет  $145i$ , где  $i$  – масштаб диаграммы по длине. Масштаб представленных диаграмм запрессовки составляет  $1/1,53$ . Минимально допустимая длина сопряжения в этом случае  $L = 145/1,53 = 94,8$  мм. Длина сопряжения колеса и оси у немоторной колесной пары и колесной пары тележки Якобса значительно превышает минимально допустимую длину сопряжения (94,8 мм) и составляет соответственно 186 и 174 мм. Минимально допустимая длина сопряжения обеспечивается даже без учета первых 6 мм запрессовки.

Для моторной колесной пары фактическая длина контакта колеса и оси составляет 181 мм. Дополнительное максимальное продвижение ступицы согласно конструкторской документации составляет до 5 мм. Тогда теоретическая длина диаграммы запрессовки должна быть от 181 до 186 мм. Однако по диаграмме длина запрессовки составляет 190 мм. В результате в начальный период запрессовки на длине от 4 до 9 мм происходит центровка колеса относительно оси, что сопровождается скачком усилия запрессовки. Таким образом, можно констатировать, что на длине от 4 до 9 мм происходит предварительная запрессовка колеса на ось.

**Вывод.** Формирование колесных пар сопровождается скачком усилия в начальный период запрессовки на длине от 4 до 9 мм, который принимает большие значения для европейских колесных пар, что определяется отличиями в геометрии заходной фаски колеса и оси. На этом расстоянии происходит центрирование колеса относительно оси в условиях предварительной запрессовки, что не противоречит требованиям стандартов Таможенного союза.

УДК 621.869.88

## **ОБОСНОВАНИЕ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЙ МОДЕЛИ ТАНК-КОНТЕЙНЕРА Т11 ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПРОЧНОСТНЫХ РАСЧЕТОВ НА ДЕЙСТВИЕ УДАРНОЙ НАГРУЗКИ**

*С. В. МАКЕЕВ, П. М. БУЙЛЕНКОВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Прочностная надежность контейнеров напрямую связана с безопасностью, поэтому исследование их напряженно-деформированного состояния (НДС) является актуальной задачей, которую необходимо решать с высокой степенью достоверности получаемых результатов при различных видах внешних воздействий.

Развитие численных методов анализа, и в первую очередь метода конечных элементов (МКЭ), позволяет получать точные решения для достаточно сложных объектов. К таким объектам относятся и танк-контейнеры, воспринимающие в эксплуатации значительные статические и динамические нагрузки.

В настоящей работе, с целью снижения времени дальнейших расчетов, выполнено исследование влияния густоты конечно-элементной сетки на точность расчета НДС прототипа танк-контейнера модели Т11. Расчет прочности согласно [2] предполагает 18 расчетных режимов, что немало, особенно если учитывать возможную доработку конструкции на этапе проектирования. Поэтому необходимо выяснить, при какой же дискредитации модели точность расчета будет высокая, но в то же время будет требоваться меньше вычислительной мощности. На данном этапе исследований учитывался наиболее неблагоприятный режим эксплуатации контейнеров – ударное продольное воздействие в платформу при действии нормативной нагрузки.

Так как танк-контейнер образует пространственную конструкцию, имеющую достаточно тонкие стенки по сравнению с характерными размерами всего объекта, то при создании модели будем использовать плоские треугольные 3-узловые и четырехугольные 4-узловые пластины (в пакете DSMFem типы P3 и P4 соответственно).

В качестве первого варианта расчета использовались пластинчатые конечные элементы с довольно грубой разбивкой. Данная конечно-элементная модель имела 53167 узлов и 48368 конечных элементов. Имелась неравномерная разбивка по конструктивным группам конструкции.

В результате расчета были получены данные об эквивалентных напряжениях, перемещениях, выявлены зоны концентрации напряжений, а также зоны с большой относительной разницей напряжений в смежных элементах. Влияния величины конечных элементов на точность получае-



мых результатов наблюдались непосредственно в указанных зонах концентрации напряжений. Качество сетки повышалось последовательным уменьшением размера конечных элементов до тех пор, пока шаг уменьшения площади конечных элементов в сетке соответствовал малому приращению значения максимального эквивалентного напряжения в рассматриваемом узле.

Уменьшение площади конечного элемента (увеличении густоты разбивки) независимо от его формы (типа) ведет к увеличению значений напряжений до определенного уровня. Дальнейшее сгущение конечно-элементной сетки не приводит к значительному уточнению возникающих максимальных напряжений, однако существенно увеличивает время расчета.

Последняя редакция модели танк-контейнера имела 70810 узлов и 67874 конечных элемента, время расчета при этом выросло в 3,5 раза по сравнению с первоначальным результатом. Данную конечно-элементную модель будем считать эталонной с точки зрения получения достоверных данных НДС конструкций танк-контейнеров (рисунок 1).

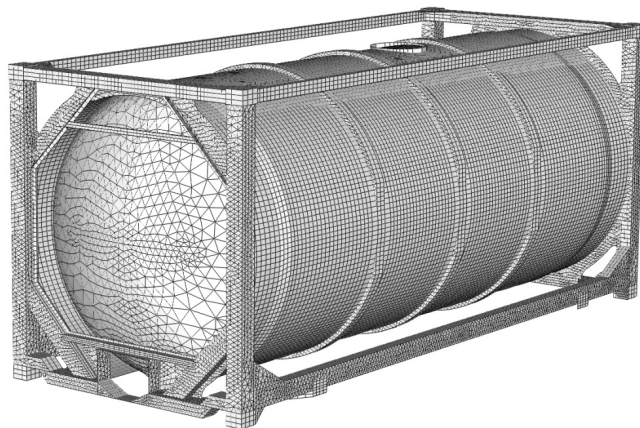


Рисунок 1 – Обоснованная расчетная модель танк-контейнера

Выполнена оценка влияния густоты сетки на точность расчета НДС. Проведена серия многовариантных расчетов конечно-элементных моделей прототипа танк-контейнера, отличающихся величиной дискретизации сетки конечных элементов, в ходе чего было выявлено, что для получения достаточно точной величины возникающих напряжений в элементах конструкции важную роль играет правильность разбиения геометрической модели танк-контейнера конечными элементами. Использование крупной сетки приводит к получению заниженных значений напряжений. При уменьшении размера конечного элемента в 4,5 раза с образованием 70810 степеней свободы значения напряжений могут увеличиваться на 20 % в одном и том же узле. Это, в свою очередь, может оказывать влияние на правильность принимаемых технических решений на этапе проектирования контейнеров-цистерн, а впоследствии может отразиться и на результатах дорогостоящих натурных испытаний.

Выявлено значительное влияние размера конечного элемента на величину напряжений, особенно в наиболее опасных сечениях конструкции. В зонах с отсутствием концентрации напряжений изменение размера конечного элемента не оказывает существенного влияния на величину напряжений.

Для практических расчетов конструкций танк-контейнеров, получения удовлетворительных результатов рекомендуется использовать в расчетной модели средний размер конечного элемента как треугольного, так и четырехугольного в конструкции рамы со стороной ~30 мм, а для котла ~60 мм.

УДК 629.463

## **РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДА УДАРНЫХ ИСПЫТАНИЙ И ПОСТРОЕНИЕ СИЛОВОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОГЛОЩАЮЩИХ АППАРАТОВ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ В ИЦ ЖТ «СЕКО»**

*С. В. МАКЕЕВ, А. А. ЖЕЛЕЗНЯКОВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Решение задач безопасной эксплуатации подвижного состава на сети железных дорог во многом зависит от обеспечения поглощающими аппаратами заданного уровня сил и хода при заданном значении изменения скорости. При проектировании поглощающих аппаратов эти качества учитываются с использованием традиционных оценок силовой характеристики – энергоемкости, коэффициента полноты силовой характеристики и др.

При приемочных и других видах испытаний поглощающих аппаратов автосцепного устройства грузовых вагонов необходимой задачей является получение и анализ динамических силовых характери-

стик. Результаты испытаний считают положительными, если расчетные показатели (энергоёмкость при номинальной и максимальной силе, номинальная скорость соударения, коэффициент необратимого поглощения энергии) соответствуют нормативным значениям, установленным ГОСТ 32913. Для получения динамической силовой характеристики ГОСТ Р 55185 предусматривает два метода: копровых испытаний и при соударении вагонов. Метод копровых испытаний требует использования оборудования, которое отсутствует в Республике Беларусь, в связи с чем в ИЦ ЖТ «СЕКО» было решено реализовать метод испытаний при соударении вагонов. Для этого использовалась существующая испытательная база: стенд-горка, позволяющая устанавливать скорости соударения вагонов до 4–4,5 м/с, и вагоны, усиленные и загруженные сыпучим грузом до массы брутто  $100 \pm 5$  т. Проводились соударения двух груженых вагонов. Ударяемый, оборудованный испытуемым поглощающим аппаратом, стоял неподвижно на горизонтальном участке пути в незаторможенном состоянии, а вагон-«боек», оборудованный серийным поглощающим аппаратом, накатывался на него с заданной скоростью. Соударения начинались с малых скоростей до скорости, при которой происходило закрытие испытуемого аппарата.

Для регистрации значений силы и хода аппарата в процессе удара применялся аппаратно-программный комплекс, включающий в себя автосцепку-динамометр тензометрическую, тросовый датчик линейных перемещений и многоканальный измерительный комплекс НВМ МGSplus с набором измерительных модулей и соединительных плат. Данный комплекс позволяет снимать значения силы и хода аппарата во всем диапазоне скоростей соударения с дискретизацией 400 Гц, что дает представительные зависимости для всех фаз удара. Например, при нормативных скоростях соударения при длительности фазы сжатия 0,1–0,2 с отслеживаются изменения силы, вызванные автоколебаниями (рисунок 1).

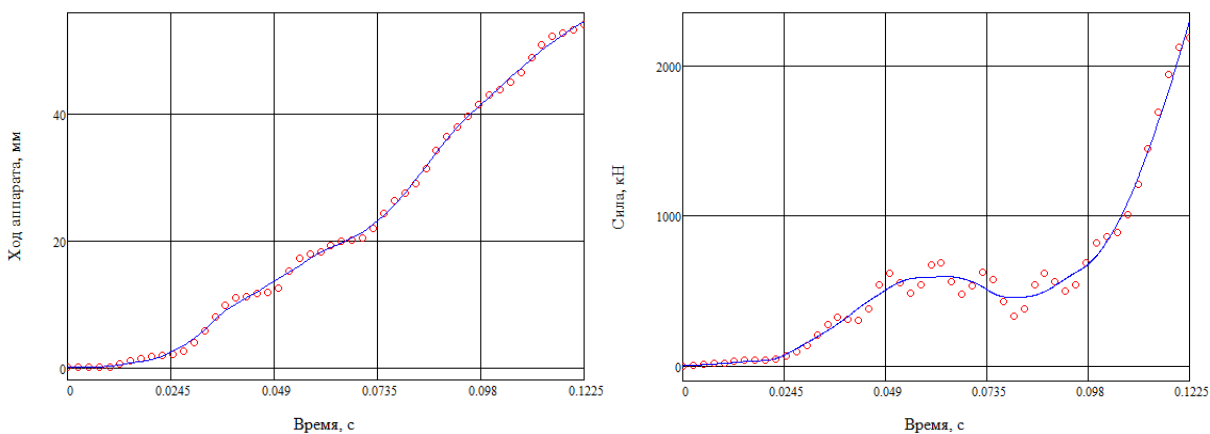


Рисунок 1 – Изменение хода аппарата и силы в процессе удара:  
( $\circ\circ\circ$  – экспериментальные данные; — — результат аппроксимации)

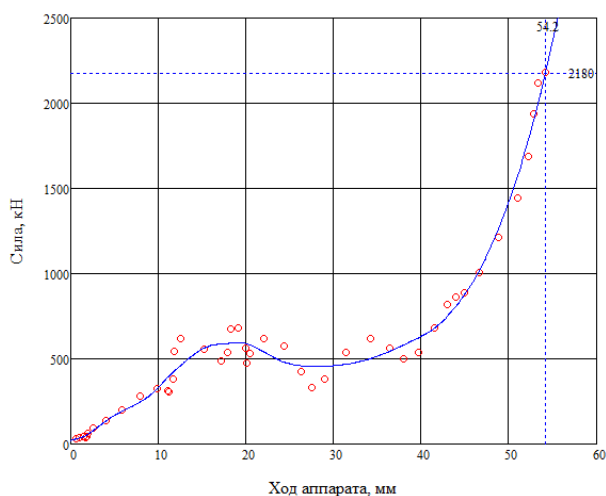


Рисунок 2 – Линия нагрузки динамической силовой характеристики:

( $\circ\circ\circ$  – экспериментальные данные; — — результат аппроксимации)

Для обработки исходных данных, построения и анализа силовой характеристики использована вычислительная среда MathCAD. При построении автоматизированного алгоритма обработки данных применялись методы аппроксимации с оценкой ее достоверности по значению коэффициента корреляции. Возможность быстрого задания аппроксимирующей функции позволяет оперативно рассчитывать необходимые показатели динамической силовой характеристики, при этом сохраняя, в случае необходимости, особенности ее изменения (рисунок 2).

Для проверки правильности получения исходных данных, их обработки и построения динамической силовой характеристики при реализации метода соударения вагонов в ИЦ ЖТ «СЕКО» были выполнены предварительные ис-

пытания полимерно-фрикционных поглощающих аппаратов КМТ-118С производства ООО «Завод Композит». Результаты испытаний подтвердили значения, ранее полученные при испытаниях данных аппаратов в АО «ВНИИЖТ».

Проведенная работа по апробации используемого оборудования и средств измерения при проведении испытаний поглощающих аппаратов грузовых вагонов с последующей обработкой полученных первичных данных подтверждает правильность реализации метода соударений вагонов в ИЦ ЖТ «СЕКО» БелГУТа на существующей стенд-горке (соответствие ГОСТ Р 55185–2012) и позволит в дальнейшем использовать его для всех видов испытаний фрикционных поглощающих аппаратов, в том числе сертификационных.

УДК 629.4.:62-69

## **ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ПЕРЕДАЧИ АВАРИЙНЫХ СИГНАЛОВ О ТЕХНИЧЕСКОМ СОСТОЯНИИ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА**

*А. С. МАРКОВНИК*

*РУП «Белтелеком», Гомельский филиал*

Важнейшим направлением для повышения безопасности движения поездов является совершенствование методов непрерывного и периодического контроля технического состояния ходовой части вагонов и локомотивов. Для этого широко используются микропроцессорные комплексы средств контроля технического состояния подвижного состава на ходу поезда типа КТСМ-01Д и КТСМ-02. С их помощью в поезде могут определяться перегретые буксы и другие неисправности. В зависимости от температуры корпуса буксы аппаратура выдает сигналы тревоги: «Тревога 0», «Тревога 1», «Тревога 2». Для повышения безопасности движения поездов важно обеспечить высокую надежность передачи сигналов тревоги машинисту локомотива. Снижение скорости и остановка поезда на станции (по сигналам «Тревога 0» и «Тревога 1») или на перегоне (по сигналу «Тревога 2») позволяют вовремя предупредить разрушение буксового узла и снизить риск крупной аварии.

Внедрение Автоматизированной системы контроля подвижного состава (АСК ПС), предназначено для централизованного контроля технического состояния подвижного состава и совершенствования технического обслуживания средств контроля. Централизация позволяет не только следить за развитием неисправностей ответственных узлов подвижного состава на участке движения поездов между пунктами технического обслуживания вагонов, но и своевременно выявлять отказы и сбои в работе самих средств контроля. Для реализации функций контроля система АСК ПС обеспечивает внушительный список опций. В реальном масштабе времени на экран монитора выводится перечень пунктов контроля с температурами настройки средств контроля, журнал загрузки программного обеспечения АРМ ЦПК, расширенный режим поиска подвижных единиц по заданному условию (типу и числу подвижных единиц; числу осей; уровням сигналов более заданного значения; выборке показаний с тревожной сигнализацией разного уровня; обнаруженным в поезде неисправностям вагонов и локомотивов, в том числе с неисправными тормозами, нагревом шкивов, с приработкой подшипника, отцепкой подвижных единиц).

Для обеспечения безопасности перевозочного процесса в составе системы АСК ПС функционирует автоматическая подсистема речевого оповещения ПРОС–1М. При обнаружении в контролируемом поезде вагона с перегретой буксой система АСК ПС формирует сигнал тревоги, а подсистема ПРОС–1М обеспечивает передачу с помощью радиостанции речевого сообщения об этом сигнале машинисту локомотива. Передача осуществляется в автоматическом режиме с применением аналоговых локомотивных радиостанций типа 43 РТС-А2-ЧМ, РС-6 «Транспорт», РУ-1Б. Работа этих радиостанций в условиях мощных атмосферных помех затрудняет правильное восприятие машинистом локомотива речевого сообщения о сигнале тревоги.

Для повышения безопасности движения поездов внедряется комплекс локомотивных устройств безопасности КЛУБ-У. В состав этого комплекса входит цифровая радиостанция для идентификации местоположения поезда на участке железной дороги. Очевидно, что дублирова-

ние передачи сигналов тревоги по цифровому каналу позволит существенно повысить надежность восприятия сигнала тревоги машинистом локомотива и обеспечит безопасность перевозочного процесса.

#### Список литературы

1 Воронин, В. С. Ситуационные системы управления движением / В. С. Воронин // Автоматика, связь, информатика. – 2008. – № 2. – С. 18–20.

УДК 629.4.027: 621.892.5

### ИЗМЕРЕНИЕ ТОЛЩИНЫ СМАЗОЧНОГО СЛОЯ В ПОДШИПНИКАХ БУКСОВЫХ УЗЛОВ ВАГОНОВ

*И. Э. МАРТЫНОВ, С. В. ПЕРЕШИВАЙЛОВ*

*Украинский государственный университет железнодорожного транспорта, г. Харьков*

Ограничение срока службы подшипника непосредственно зависит от толщины смазочного слоя (смазочной пленки) между его контактными поверхностями. Величина толщины смазочного слоя определяет режим смазывания (трения): сухой, граничный, смешанный, гидродинамический (жидкостный). Максимальный срок службы подшипника может быть получен при гидродинамическом режиме смазывания.

На территории Украины в подшипниках типа 2726 буксовых узлов вагонов сегодня используют натриево-кальциевую пластичную смазку ЛЗ-ЦНИИ и несколько лет назад использовали комплексно-литиевую пластичную смазку ЗУМ. Основным отличием смазок, исходя из условия разделения контактных поверхностей подшипника, являются величины их вязкостей. Вязкость смазки ЗУМ выше в 4,3 раза, нежели вязкость смазки ЛЗ-ЦНИИ. В свою очередь, повышенная вязкость смазки образует большую толщину смазочного слоя, и в зависимости от эксплуатационных условий между контактными поверхностями подшипника реже образуется граничный режим смазывания.

В преобладающем большинстве подшипников различных механизмов толщина смазочного слоя находится в пределах от 0,1 до 10 мкм. Теоретический расчет величин толщины смазочного слоя в подшипнике типа 2726 при различных типах пластичных смазок показывает, что в зависимости от эксплуатационных условий (скорость движения вагона; величина и характер нагрузок на подшипник) реализуются граничный (0,5~2 мкм), смешанный и гидродинамический (2~7 мкм) режимы смазывания.

Экспериментальное измерение толщины смазочного слоя в подшипнике буксового узла вагона не выполнялось. Следовательно, отсутствует возможность выполнить оценку согласования теоретического расчета и экспериментального измерения толщины смазочного слоя.

Разработаны и могут быть применены такие методы измерения толщины смазочного слоя, как рентгеновский, оптический, электроемкостный и электропроводимости. При этом рентгеновские измерения могут быть использованы только между контактирующими поверхностями. В этом случае нужна четкая визирная линия для рентгеновских лучей, проходящих через зону контакта со смазкой. Оптический же метод обычно применяют для случая контакта металлического шара с прозрачным диском, например для радиально нагруженного роликового подшипника с кварцевым стеклом на наружном кольце. Возможность применения электроемкостного метода для роликового подшипника продиктована сложностью размещения датчика толщины смазочного слоя. При этом размеры датчика должны максимально соответствовать измеряемой величине.

Метод электропроводимости для измерения смазочного слоя величиной меньше одного микрометра в тяжело нагруженном подшипнике требует высокой чувствительности оборудования и аккуратности исследователя при снятии показаний малых величин сопротивления тока. Отсюда вывод, что метод электропроводимости непрактичен.

Произведен анализ преимуществ и недостатков перечисленных методов измерения толщины смазочного слоя между контактными поверхностями подшипников типа 2726 буксовых узлов вагонов.

## К ВОПРОСУ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ЭЛЕМЕНТОВ ВАГОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

*И. Э. МАРТЫНОВ, А. В. ТРУФАНОВА*

*Украинский государственный университет железнодорожного транспорта, г. Харьков*

Железнодорожный транспорт является основным видом транспорта в Украине, выполняя 82,9 % грузооборота и 36,4 % пассажирооборота в отличие от стран Европейского союза, где доля железнодорожных перевозок составляет около 8 %.

Для нормальной деятельности железнодорожного транспорта очень важна эффективная работа вагонного парка. Техническое состояние парка грузовых вагонов непосредственно влияет на реализацию основной задачи железнодорожного транспорта – своевременную и качественную доставку грузов потребителям.

Конструкция любого вагона включает в себя множество элементов, но одним из важнейших является буксовый узел. Его надежная работа непосредственно влияет на безопасность движения. Как показывает многолетний опыт, от 30 до 70 % отцепок грузовых вагонов в пути следования возникает из-за чрезмерного нагрева буксовых узлов.

Подвижной состав нового поколения должен обеспечить увеличение срока службы вагона в 1,5–2 раза. При этом планируется достичь увеличения межремонтного пробега основных деталей и узлов, в т. ч. вагонных буксовых подшипников, до 1 млн км.

На железных дорогах стран СНГ в буксовых узлах как грузовых, так и пассажирских вагонов свыше 50 лет используются цилиндрические роликовые подшипники. Долговечность последних всегда определялась по методикам, предложенным шведскими учеными Г. Лундгреном и А. Палмгреном еще в первой половине XX столетия. При расчете на прочность и надежность элементов конструкции буксовых узлов использовались упрощенные расчетные схемы, которые не учитывали ряд действующих нагрузок. Несовершенство существующих методов расчета привело к значительным погрешностям при определении показателей надежности буксовых подшипниковых узлов и несовпадению с фактическими результатами эксплуатации.

В последние годы широкое распространение в подвижном составе на железных дорогах США, Австралии, Юго-Восточной Азии и ряде стран Европейского союза получили буксовые подшипниковые узлы кассетного типа. Они могут быть оборудованы двухрядными коническими (ТВU) или сдвоенными цилиндрическими (СВU) подшипниками. Преимуществами таких моделей является увеличенная долговечность: согласно действующим нормативным документам такие подшипниковые узлы имеют ресурс не менее 800 тыс. км пробега, или восемь лет эксплуатации. Кроме того, они имеют меньшую массу, повышенную грузоподъемность и не требуют при эксплуатации проведения профилактических ремонтов.

Но при расчете долговечности таких буксовых подшипников использовались усредненные нагрузки. При этом предполагалось, что нагрузки имеют детерминированный характер, хотя процесс нагружения представляет собою случайный процесс, характеристики которого зависят от многих факторов и изменяются во времени.

Авторами предложена усовершенствованная процедура оценки работоспособности буксовых узлов грузовых вагонов. В ее основе лежит модель определения безотказности подшипниковых узлов грузовых вагонов с учетом вероятностного характера прикладываемых нагрузок. Подшипниковый узел грузового вагона представляет собой сложную механическую систему, состоящую из корпуса буксы, в котором расположены наружные и внутренние кольца подшипников, тела качения, сепаратор и уплотнительные устройства, предотвращающие попадание грязи и влаги во внутреннюю полость узла.

Случайный характер воздействия на буксовый узел определяется случайными значениями параметров нагрузки, случайным распределением нагрузок во времени и в различных точках системы, случайным сочетанием различных нагрузок и многими другими факторами (перегруз груза, разное состояние пути, климатические условия, динамические характеристики ходовых частей, качество ремонта и технического обслуживания).

В процессе эксплуатации вагонов в буксовом узле происходит изменение параметров во времени, определяющих механические свойства системы. Эти изменения могут повлечь за собой ухуд-

шение характеристик прочности, накопление повреждений, связанные с износом узла, а также старение материала и сложности в процессе восстановления и ремонта отдельных элементов.

При прохождении колесной парой неровностей пути на буксовый узел действуют внешние нагрузки  $q$ . Они могут быть разными по происхождению и принимать случайные значения из некоторого пространства возможных внешних нагрузок  $Q$ . Изменение этих нагрузок во времени является случайным процессом. Стохастическое поведение буксового узла будем характеризовать элементами  $u$ , которые являются частными соответствующего пространства  $U$  возможных состояний, который избирается таким образом, чтобы с его помощью в рамках выбранной расчетной схемы полностью было описано состояние буксового узла.

Случайный характер поведения буксового узла обусловлен разбросом как собственных свойств, так и действующих нагрузок. При нормальной эксплуатации параметры, характеризующие функциональное состояние элементов буксового узла (параметры качества), должны находиться в установленных пределах в течение всего нормативного срока службы. Математически это соответствует нахождению элементов  $u$  в допустимой области  $\Omega$  пространства качества  $U$ . Выход случайного процесса  $v(t)$  функционирования буксового узла за пределы допустимой области  $\Omega$  приводит к его отказу.

В исходный момент времени (момент начала движения вагона) случайный процесс функционирования буксового узла с вероятностью, равной 1, будет находиться в допустимой области  $\Omega$ , то есть  $P(0) = 1$ . Выбросы из этой области на отрезке времени  $[0, t]$  – очень редкие события.

Количество выбросов случайного процесса  $v(t)$  на отрезке времени  $[0, t]$  есть случайная величина, которую обозначим  $N(t)$ . Математическое ожидание количества выбросов случайного процесса  $v(t)$  связано с интенсивностью отказов:

$$\bar{N}(t) = \Delta(t) \approx \int_0^t \lambda(t) dt,$$

где  $\lambda(t)$  – интенсивность отказов.

Поскольку буксовые подшипники относятся к высокотехнологичным изделиям и являются высоконадежными, возможно использование пуассоновского потока отказов. Тогда вероятность безотказной работы имеет вид  $P(t) = e^{-\lambda t}$ .

УДК 629.4.027

## **ОЦЕНКА ДИНАМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВАГОНА, ПОЛУЧЕННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕЛИ «ВАГОН – ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ ПУТЬ»**

*И. Э. МАРТЫНОВ, А. В. ТРУФАНОВА, В. О. ШОВКУН*

*Украинский государственный университет железнодорожного транспорта, г. Харьков*

Безопасность перевозок является приоритетным направлением деятельности железных дорог стран СНГ. Ее обеспечение зависит от слаженной работы всех структурных подразделений, но одним из важнейших факторов является надежная работа вагонов. Отказы элементов конструкции вагонов не только вызывают задержку доставки грузов потребителям через отцепки вагонов в пути следования, но и приводят к существенным дополнительным потерям для восстановления работоспособности.

Одними из самых важных элементов конструкции грузового вагона являются буксовые узлы с роликовыми подшипниками. Как показывает многолетний опыт эксплуатации парка грузовых вагонов, именно буксовые узлы за период 2005–2016 гг. повлекли 2339 случая отцепок вагонов в пути следования через чрезмерный нагрев. При этом ежегодно дополнительно приборами дистанционного контроля колесных пар и осмотрщиками вагонов по внешним признакам выявлено до 1000 случаев отказов буксовых узлов, которые создавали угрозу безопасности движения.

Обеспечение долговечности подшипника, работающего в условиях динамического радиального и осевой нагрузки, является достаточно сложной задачей. При расчете на прочность и надежность элементов конструкции БВ используются упрощенные схемы, которые не учитывают ряд действу-

ющих факторов. Так, эквивалентная нагрузка на подшипники состоит из статической и динамической нагрузок. Величина и характер приложения статической нагрузки изучены достаточно полно. Величина динамической нагрузки определяется как дополнение к статической нагрузке с помощью определенного эмпирического коэффициента.

Несовершенство существующих методов расчета привела к значительным погрешностям при определении показателей надежности буксовых подшипниковых узлов и разногласия с фактическими результатами эксплуатации.

Очевидно, что вопрос повышения надежности буксовых узлов является сложным и требует комплексного подхода для своего решения. Поэтому необходимо исследовать различные направления совершенствования существующих и создания новых конструкций буксового узла. Одной из задач для повышения показателей надежности является определение вероятностных нагрузок, действующих на элементы ходовых частей грузовых вагонов.

Для моделирования динамического процесса нагрузки буксового узла грузового вагона во время движения с различными скоростями использовался комплекс «УМ Универсальный механизм», разработанный Брянским государственным техническим университетом. Разработанная с помощью «УМ» имитационная модель «вагон – железнодорожный путь» включает в себя кузов полувагона с возможностью имитировать различную степень загруженности, тележки модели 18-100 с возможностью изменять их характеристики, а также модель упругого пути, позволяющая менять профиль и макрогеометрию пути.

Построение модели выполнялась путем объединения в модель подмодулей, которые несут в себе составные части модели: кузов, тележки, колесные пары и упругие пути. Все элементы модели связаны специальными связями и системой координат. Моделирование осуществлялось с использованием «s-образного» отрезка пути и стрелочным переводом. Для имитации макрогеометрии и неровностей пути использовался файл из библиотеки программного комплекса. При этом модель позволяет получить: коэффициенты динамических составляющих вертикальных сил, действующих на буксовый подшипниковый узел и на надрессорные балки тележки; горизонтальные (поперечные рамные) силы, действующие от колесной пары на боковые рамы тележки.

На следующем этапе работы проводилась математическая обработка полученных данных методами математической статистики. При этом определялись следующие параметры: величина математического ожидания, дисперсия, а также минимальные и максимальные значения усилий.

Результаты исследований свидетельствуют, что случайные процессы, которые характеризуют изменение коэффициентов вертикальной и горизонтальной динамики, распределены по нормальному закону.

В дальнейшем, используя полученные данные, вычислены корреляционные функции для случайных процессов, характеризующих совместное действие изменения коэффициентов вертикальной и горизонтальной динамики вагона. Построенные корреляционные функции позволяют дать оценку надежности буксового узла.

Моделирование динамических нагрузок, действующих на ходовые части грузовых вагонов, показало достаточную сходимость с результатами ходовых испытаний. Поэтому предложенная модель может быть использована для оценки возмущающих нагрузок при расчетах надежности буксовых узлов грузовых вагонов. Доказано, что этот процесс имеет стационарный эргодический характер. Полученные результаты моделирования подчиняются нормальному закону распределения. Определены основные параметры, характеризующие эти процессы в зависимости от скорости и режима движения.

УДК 629.46

## **СОЗДАНИЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ ПОЛУВАГОНА В ИНЖЕНЕРНОМ ПАКЕТЕ MSC.ADAMS**

*Д. М. МАРЧЕНКО*

*Новозыбковский машиностроительный завод, Российская Федерация*

Инженерный пакет MSC.ADAMS – это современная CAE-система, которая позволяет выполнять динамическое моделирование работы объектов максимально приближенно к реальным усло-

виям эксплуатации. Такое программное обеспечение имеет набор инструментов для создания тел из геометрических примитивов и поддерживает создание тел на основании эскизов. Однако процесс создания моделей деталей сложной геометрической конфигурации, таких как боковая рама тележки или надрессорная балка, для экономии времени целесообразнее выполнять в САД-программе, ориентированной на 3D-моделирование. Целью представленной работы явилось создание модели полувагона, предназначенной для анализа его динамических качеств, с помощью которой в дальнейшем возможно осуществить совершенствование конструкции.

Для подготовки трехмерных моделей деталей тележки 18-100 использовался Autodesk Inventor Professional. В нём построены 3D-модели надрессорной балки, боковой рамы, цельнокатаного колеса, оси РУ1Ш, корпуса буксы, клина и контактной планки. В модель боковой рамы добавлены планки фрикционные и скобы с планками, которыми боковая рама опирается на буксовые узлы, а в модель надрессорной балки – колпаки скользунов и прокладка под пятник. Кроме деталей тележки, смоделирован упрощенный кузов полувагона, рельс, поводок и водило для имитации тяги от локомотива.

Все подготовленные в Inventor'е модели объединены в сборку и экспортированы в STEP, из которого импортированы в MSC.ADAMS, где им присвоен материал «Stell» из стандартной библиотеки программы. На тела системы наложен ряд связей. Рельсы жестко присоединены к неподвижному основанию. Между буксой и осью колёсной пары установлен цилиндрический шарнир с учётом коэффициента трения буксовых подшипников, равным 0,002. Между поводком и кузовом полувагона добавлена взаимосвязь – сферический шарнир, а между поводком и водилом – крестовина. На водило наложена связь типа поступательная пара, которая обеспечивает движение вдоль рельсов по задаваемому закону.

Для учета контактного взаимодействия тел использован инструмент «Contact», который введен между рельсами и колёсами, боковыми рамами тележки и корпусами букс, боковыми рамами тележки и контактными планками, боковыми рамами тележки и клиньями, клиньями и контактными планками, надрессорными балками и клиньями, кузовом и надрессорными балками.

Наибольшую сложность вызвало моделирование рессорного комплекта из внутренней и наружной пружин, что связано с необходимостью учета продольной и поперечной их жесткостей. Между боковой рамой тележки и первым телом добавлена поступательная пара перпендикулярно опорной поверхности пружин, между вторым телом и надрессорной балкой – связь типа соединение по плоскости, а между первым и вторым телами – сферический шарнир с центром вращения, расположенным в опорной плоскости надрессорной балки и на оси рессорного комплекта. Далее добавлена пружина «Spring» с конкретными коэффициентом жёсткости и исходной длиной. Затем приложена сила «Force» с параметром «Two Bodies», началом и концом которой являются верхний маркер пружины «Spring» и сферический шарнир. В исходном положении модели эти маркеры находятся в одной точке, но принадлежат разным телам. В данном случае сила «Force» моделирует боковую жёсткость рессорного комплекта и изменяет свое значение в зависимости от высоты пружины в соответствии с заданным законом.

Тестовые расчеты, проведенные с помощью построенной модели, продемонстрировали ее работоспособность и адекватность получаемых результатов реальным значениям. Разработанная модель позволяет выполнять расчеты с учетом варьирования размеров и физических параметров конструкции, что дает возможность ее оптимизации.

УДК 629.4.028.1(07)

## **РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ УПРУГОГО ПРИВОДА КОЛЕС ПЕРВОГО КЛАССА С МОТОРНО-ОСЕВЫМИ ПОДШИПНИКАМИ КАЧЕНИЯ ДЛЯ ЛОКОМОТИВОВ**

*В. Г. МАСЛИЕВ*

*Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Украина*

Специалисты пытаются решить проблему замены в приводах колес тягового подвижного состава моторно-осевых подшипников скольжения на подшипники качения, чтобы повысить надежность и упростить эксплуатацию. Моторно-осевыми подшипниками качения были оборудованы несколько опытных электровозов и тепловозов, но эксплуатационные испытания показали, что пробег



подшипников не достигает даже 1 млн км, в то время как надо не менее 2,5 млн км – по сроку службы колесной пары.

Это объясняют влиянием изгибов оси колесной пары под нагрузкой, технологической сложностью их качественного монтажа, высоким уровнем динамических нагрузок, которые поступают от пути и тягового редуктора.

У привода колесных пар [1] тяговый электродвигатель опирается на колесные центры через упругие элементы и через них же передает крутящий момент от вала якоря через шестерню и зубчатое колесо, установленное на полом вала, на котором посажены подшипники качения, что компенсирует влияние на их работу изгибов оси колесной пары. Упругие элементы уменьшают динамические нагрузки, которые передаются от колесной пары на моторно-осевые подшипники качения и тяговый электродвигатель при движении, и динамические силы, действующие на путь. Недостатком этого привода является то, что стенка полого вала размещается между осью и электродвигателем, что увеличивает «централь» тягового редуктора – расстояние между осями ведущей шестерни и зубчатого колеса. Это требует увеличения количества зубцов у зубчатой шестерни, что уменьшает передаточное отношение редуктора и, следовательно, силу тяги.

В приводе колесных пар «Винтертур» тяговый электродвигатель имеет опорно-рамную подвеску, то есть он защищен рессорами от динамических воздействий [2]. Недостатком этого привода является то, что полый вал у него отдаляет электродвигатель от оси колесной пары на значительное расстояние, чтобы избежать их касаний при колебаниях во время движения локомотива. Следовательно, растет «централь» привода, уменьшается передаточное отношение тягового редуктора и сила тяги локомотива.

Еще одним существенным недостатком этого привода и вообще опорно-рамных приводов колес является то, что в результате просадки пружин рессор от старения при эксплуатации возникает необходимость систематически проводить трудоемкую регулировку вертикального зазора между осью колесной пары и полым валом, что затрудняет эксплуатацию.

Предлагается упругий опорно-осевой привод колес с моторно-осевыми подшипниками качения, у которого устранены эти недостатки [3]. На рисунке 1 схематично изображен общий вид привода и вид А. Привод содержит жестко закрепленный к электродвигателю 1 опору 2, состоящую из полого вала 3. На него через подшипники качения 4 опирается зубчатое колесо 5, в отверстиях которого размещены упругие элементы 6, в каждом из них установлен одним концом поводок 7, а другой конец жестко соединен с колесом 8, смонтированным на колесной паре 9. На валу электродвигателя 1 размещена шестерня 10, которая взаимодействует с зубчатым колесом 5. Для фиксации зубчатого колеса 5 относительно шестерни 10 в осевом направлении использован упорный подшипник 11. Поводок 7 размещен в упругом элементе 6 со смещением на величину « $e$ », которая задается, а по периферии основания треугольника упругого элемента 6 расположены отверстия 12.

При движении по пути силы тяжести от электродвигателя 1, а также инерционные силы того же направления передаются через полый вал 3, подшипники 4, зубчатое колесо 5, упругие элементы 6, поводки 7 и колесо 8 на колесную пару 9. Крутящий момент от электродвигателя 1 передается на шестерню 10 и далее на зубчатое колесо 5, упругие элементы 6, поводки 7 и колесо 8 – на колесную пару 9. Горизонтальные инерционные силы от электродвигателя 1, направленные вдоль оси колесной пары 9, передаются через полый вал 3, подшипник 11, зубчатое колесо 5, упругие элементы 6, поводки 7, колесо 8 – на колесную пару 9. Смещение поводков 7 к периферии зубчатого колеса 5 уменьшает жесткость упругих элементов 6 благодаря росту их толщины " $c$ " в тангенциальном направлении, а отверстия 12 уменьшают жесткость упругих элементов 6 в радиальном направлении. Это обеспечивает надлежащую защиту электродвигателя 1 от толчков, действующих на него от стыков рельсов при движении локомотива.

Таким образом, в приводе крутящий момент передается на колесную пару 9 через упругие элементы 6 и через них же передаются сила тяжести и инерционные силы от электродвигателя 1 на колесную пару 9.

Полый вал 3 не мешает проводить осмотр оси колесной пары. Расчеты одного из вариантов практического выполнения предложенного упругого тягового привода колес для электровоза показали, что самые большие упругие относительные деформации упругих элементов (форма которых оптимизирована – для получения достаточной эластичности), наблюдаются на опоре, где расположен тяговый редуктор. При реализации наибольшей силы тяги при твердости резины в пределах 80 А (по Шору), относительные деформации не превышают  $\epsilon = 0,18$ , то есть находятся в допустимых пределах ( $\epsilon < 0,2 \dots 0,3$ ).

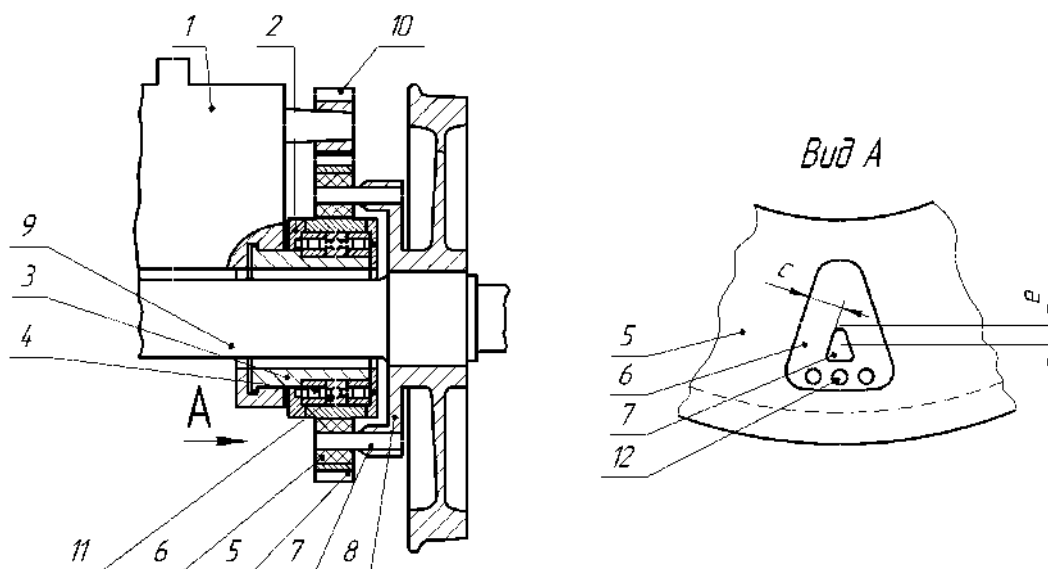


Рисунок 1 – Опорно-осевой привод с упругим опиранием тягового электродвигателя на колесную пару

Статический прогиб упругих элементов составляет 3 мм со стороны тягового редуктора и 2 мм – с противоположной стороны, что достаточно для защиты привода от динамических воздействий со стороны пути.

Таким образом, предложенный привод повышает надежность и упрощает эксплуатацию локомотива благодаря тому, что тяговый электродвигатель своей моторно-осевой частью через подшипники качения и упругие элементы опирается на колесную пару, что защищает их от динамических воздействий.

#### Список литературы

- 1 Бирюков, И. В. Тяговые передачи электроподвижного состава железных дорог / И. В. Бирюков, А. И. Беляев, Е. К. Рыбников. – М. : Транспорт, 1986. – 256 с.
- 2 Привод колесных пар локомотивов с опорно-рамной подвеской электродвигателя «Винтертур» // Бюл. ЦНИИ МПС. – 1967. – № 1.
- 3 Опорно-осевой привод с упругим опиранием на колесную пару электродвигателя : пат. 87939 Украины : В61 С 9/00 (2014.01) / Мокроусов С. Д., Маслиев В. Г., Найш М. Н., Щербаков В. П., Нестеренко В. И., Нестеренко В. В.; заявитель и патентообладатель : Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт».

УДК 629.451

### КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ОГНЕЗАДЕРЖИВАЮЩИХ (ПРОТИВОПОЖАРНЫХ) ПРЕГРАД ПАССАЖИРСКИХ ВАГОНОВ И МОТОВАГОННОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

*А. О. МЕЙСТЕР, М. А. ЮХНЕВСКИЙ*

*ЗАО Научная организация «Тверской институт вагоностроения», Российская Федерация*

С целью повышения пожаробезопасности подвижного состава и обеспечения безопасности пассажиров и обслуживающего персонала в соответствии с действующими стандартами пассажирские помещения в железнодорожном транспорте должны отделяться от служебных помещений огнезадерживающими преградами разной степени огнестойкости. Степень огнестойкости характеризуется следующими показателями потерь:

*E* – целостности конструкции, обусловленной образованием в конструкции сквозных трещин или отверстий, через которые на необогреваемую поверхность проникают продукты горения или пламя;

*I* – теплоизолирующей способности, характеризующейся повышением температуры на необогреваемой поверхности более чем на 140 °С;

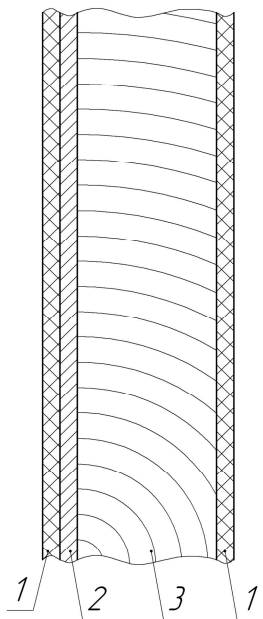
$R$  – несущей способности, характеризующейся возникновением предельно допустимых деформаций или разрушением конструкции.

Так, в соответствии с ГОСТ Р 55183-2012 «Вагоны пассажирские локомотивной тяги. Требования пожарной безопасности» межкупейные перегородки должны иметь предел огнестойкости EI 15, предел огнестойкости противопожарной перегородки между служебным отделением и пассажирским помещением E 30 / I 15. Межэтажное перекрытие двухэтажного вагона должно иметь огнестойкость REI 30. Для специальных вагонов, в случае наличия под вагоном бака с топливом, пол в этой зоне должен иметь предел огнестойкости EI 30. Подобные требования прописаны в нормативных документах для локомотивов, вагонов электропоездов, вагонов метро и т. д.

Выполнение требований по огнестойкости для каждого конкретного узла с учётом конструктивных особенностей отдельных подвижных единиц – задача довольно сложная, но решаемая. Так, для межкупейных перегородок можно использовать трудногорючую фанеру. Многочисленные опыты, проведённые на лабораторных и натурных образцах, показали, что скорость прогорания такой фанеры составляет около 1 мм/мин. Применяя трудногорючую фанеру толщиной 20 мм, облицованную с двух сторон трудногорючим пластиком, можно обеспечить предел огнестойкости перегородок EI 15.

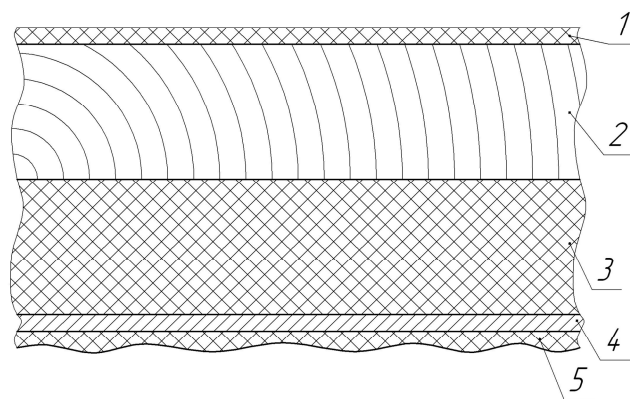
Для огнезадерживающей перегородки с пределом огнестойкости E 30 / I 15 наиболее целесообразно другое конструктивное решение. За основу берётся трудногорючая фанера толщиной 25 мм, облицованная с двух сторон трудногорючим пластиком. Со стороны служебных помещений (стороны возможного развития пожара) между пластиком и фанерой устанавливаются металлические листы толщиной 0,5 мм (рисунок 1). Возможен другой вариант исполнения такой огнезадерживающей перегородки. Огнестойкая фанера может быть взята толщиной 10–15 мм, а между фанерой и металлическим листом закладывается трудногорючая теплоизоляция. По огнестойкости он будет отвечать необходимым требованиям, но технологически сложнее.

В конструкциях с пределом огнестойкости REI 30 необходимо исключить быстрый прогрев металла до температур, при которых могут возникать большие деформации. С этой целью наиболее целесообразно использовать огнезащитные вспучивающиеся покрытия, например ПЛАМКОР-1, изготовленное по ТУ 2316-082-12288779–2011, или МПВО, изготовленное по ТУ 5775-007-1729721–2002 и др. Вариант исполнения показан на рисунке 2. Покрытие наносится распылителем или кистью на металл со стороны возможного развития пожара толщиной от 0,5 до 2 мм. Его применение позволяет в зависимости от толщины исключить сильный нагрев металлического листа и подкрепляющих элементов в течение 20–65 мин.



1 – трудногорючий пластик, 2 – стальной лист 0,5 мм;  
2 – огнестойкая фанера

Рисунок 1 – Сечение огнезадерживающей перегородки



1 – линолеум; 2 – огнестойкая фанера; 3 – негорючая изоляция;  
4 – стальной лист пола; 5 – огнезащитное вспучивающееся покрытие

Рисунок 2 – Сечение пола вагона в зоне установки топливного бака

Оценка предела огнестойкости конструкции проводится на натуральных фрагментах в специальных печах в соответствии с ГОСТ 30247.0–94. При этом температура в огневой камере нарастает с течением времени по определённой зависимости, называемой стандартным температурным режимом:

$$T - T_0 = 345 \cdot \lg(8t + 1),$$

где  $T$  – температура печи, соответствующая времени  $t$ , °С;  $T_0$  – температура в печи до начала теплового воздействия (принимаемая равной температуре окружающей среды), °С;  $t$  – время, исчисляемое от начала испытания, мин.

Испытания огнезадерживающих конструкций, выполненных в соответствии с рисунками 1 и 2 для различных моделей вагонов (одноэтажных, двухэтажных, вагонов метро и т. д.), проведённые Тверским институтом вагоностроения, подтвердили их соответствие требуемым значениям по огнестойкости.

УДК 629.4.018

## **ОТРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЕРВОГО ТОНА СОБСТВЕННОЙ ЧАСТОТЫ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ КУЗОВА ВАГОНА МОДЕЛИ 61-4514**

*Д. А. НИКИФОРОВ, А. Н. СКАЧКОВ*

*ЗАО Научная организация «Тверской институт вагоностроения», Российская Федерация*

Анализ результатов ходовых испытаний вагонов свидетельствует о том, что одним из актуальных на данный момент направлений по повышению комфорта остается увеличение частоты первого тона вертикальных колебаний кузова вагона как балки на двух опорах (далее – частоты первого тона). Более того, требования к её величине регламентированы и нормативными документами на пассажирские вагоны. Ввиду перспективности данных исследований Тверским институтом вагоностроения (ЗАО НО «ТИВ») осуществлялась отработка методики по оценке динамических эффектов колебаний кузова вагона как балки на двух опорах, при испытаниях металлоконструкции кузова пассажирского вагона модели 61-4514 производства Тверского вагоностроительного завода (ОАО «ТВЗ»). Основными целями данных испытаний являлись: получение значения частоты первого тона колебаний металлоконструкции кузова вагона при различных способах возбуждения колебаний (возбуждение вибромашиной, сбросом груза) и положениях вибромашины в кузове вагона (тамбуры, середина салона), а также получение значения частоты первого тона при загрузке испытуемого кузова мерным грузом.

Вагон модели 61-4514, металлоконструкция кузова которого проходила испытания – это опытный образец нового вагона с местами для сидения, разрабатываемый для железных дорог с шириной колеи 1435 мм. Отличительной особенностью конструкции его кузова является отсутствие хребтовой балки рамы в средней части металлоконструкции и более массивные элементы верхней и нижней обвязок кузова.

При всех режимах испытаний кузов вагона опирался на жесткие опоры, возмущающая сила от вибромашины передавалась через силоизмерительные датчики. Вдоль линии боковой обвязки, по длине кузова, были установлены датчики малых перемещений. В среднем сечении кузова и на продольной балке боковой обвязки размещались акселерометры. Комплект усилительно-регистрирующей аппаратуры был собран на базе усилителей Spider8 SR55, соединенных каскадно, и ПК. При возбуждении колебаний вибромашиной изменение частоты возмущающей силы обеспечивалось изменением числа оборотов приводного электродвигателя. По данным с датчиков строились амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) перемещений и ускорений, а также определялась форма колебаний кузова для частот экстремумов получаемых АЧХ. При возбуждении затухающих колебаний кузова сбросом груза (импульсный метод возбуждения колебаний) определялись декременты колебаний и частоты экстремумов на спектральных плотностях записанных процессов ускорений. На рисунках 1–3 приведены наиболее характерные АЧХ перемещений средней части кузова для различных режимов испытаний.

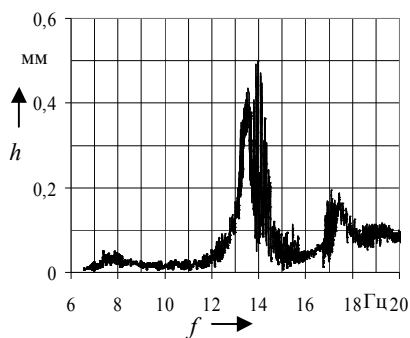


Рисунок 1

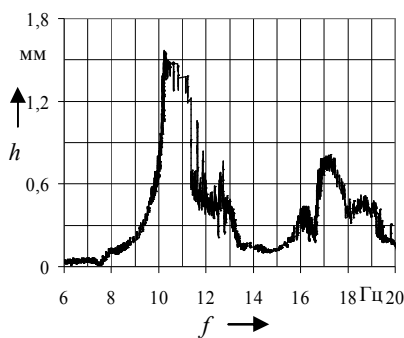


Рисунок 2

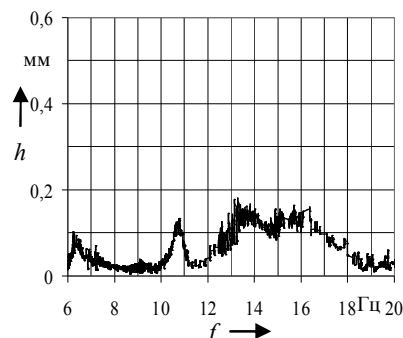


Рисунок 3

При испытаниях незагруженной металлоконструкции кузова с установленной в тамбуре вибромашиной (см. рисунок 1) АЧХ перемещений имели один экстремум на частоте 13,9 Гц. Форма колебаний кузова на этой частоте хорошо совпадала с формой колебаний балки на двух опорах при частоте первого тона. Частоты затухающих колебаний, полученные при импульсном методе возбуждения, находились в интервале от 13,8 до 14,1 Гц. При испытаниях незагруженной металлоконструкции кузова с установленной в середине вибромашиной (см. рисунок 2) АЧХ перемещений средней части кузова имели два экстремума на частотах 10,2 и 17,3 Гц, при этом не на одной из этих частот кузов вагона не колебался как балка на двух опорах. Следует отметить, что в отличии от других режимов испытаний возмущающая сила в данном случае имела также два экстремума на частотах 10,2 и 17,3 Гц. АЧХ, построенные с учетом этой немонотонности, имели единственный экстремум на частоте 13,1 Гц. При испытаниях загруженной (равномерно распределенным по полу мерным грузом общей массой 20 т) металлоконструкции кузова, с установленной в тамбуре вибромашиной (см. рисунок 3), АЧХ перемещений средней части кузова имели два минимально выраженных экстремума на частотах 10,8 и 13–16 Гц. Проведенная работа позволила сделать следующие основные выводы.

1 Результаты испытаний, полученные при установке вибромашины в тамбуре кузова, наиболее просты в обработке и идентификации экстремумов. Значение искомой частоты подтверждается испытаниями импульсным методом возбуждения колебаний кузова вагона и составляет 13,9 Гц.

2 Установка вибромашины в середине кузова позволяет определить частоту первого тона колебаний, но присутствие значительной нелинейности силовой характеристики взаимодействия кузова и вибромашины должно быть учтено при построении АЧХ. Кроме того, расположение сосредоточенной массы вибратора вызывает занижение определяемой частоты.

3 Метод определения частоты первого тона колебаний оборудованного кузова вагона при догрузке металлоконструкции до массы тары распределенным мерным грузом (металлические отливки массой 25 кг) не позволяет определить ее значение по причине сильного снижения проявлений колебаний металлоконструкции как балки на двух опорах. Данное явление наблюдалось как при испытаниях с установкой вибромашины в средней части кузова, так и на консоли.

4 Наиболее простым и достоверным методом, рекомендованным для испытаний по определению частоты первого тона колебаний незагруженной металлоконструкции кузова пассажирского вагона как балки на двух опорах, следует признать комбинированный метод, включающий в себя испытания при возбуждении колебаний вибромашиной, установленной в любом из тамбуров, в совокупности с методом возбуждения затухающих колебаний сбросом груза. Основным критерием в идентификации получаемых экстремумов АЧХ должен являться анализ формы деформации кузова на рассматриваемой частоте.

УДК 539.3.629.4

## МОДЕЛИРОВАНИЕ СОУДАРЕНИЙ БОЛЬШИХ СЦЕПОВ НА СОРТИРОВОЧНЫХ ГОРКАХ

*А. А. ОЛЬШЕВСКИЙ, С. В. ИНШАКОВА*

*Брянский государственный технический университет, Российская Федерация*

Соударения вагонов на сортировочных горках приводят к наибольшему количеству поврежденных вагонов и груза, поэтому моделирование маневровых соударений является одним из важней-

ших этапов оценки эффективности поглощающих аппаратов, прочности элементов кузова и крепления груза. При компьютерном моделировании традиционно рассматривают соударение одиночных вагонов или сцепов из двух-трех вагонов. Такой выбор обосновывается статистическим распределением числа вагонов в сцепах, полученным много лет назад. Однако в настоящее время ситуация на сортировочных горках существенно изменилась. По данным станции Гомель (распределение приведено на рисунок 1) в 10 составах было 599 вагонов, которые при роспуске были разделены на 185 сцепов. 86 сцепов были из одного вагона, однако почти половина вагонов (294 из 599) оказались в сцепах из 6 и более (до 24) вагонов.

На горках России процент одиночных вагонов существенно ниже, состав зачастую содержит 3–5 отцепов длиной до 20 вагонов. Такая ситуация требует оценки сил соударения, ускорения и пр. при соударении больших сцепов, чему ранее не уделялось внимания.

Моделирование соударений выполнялось в программном комплексе DSMFem. При моделировании соударений нами использовалась динамическая расчетная модель сцепа (рисунок 2, а), которая включает конечноэлементные модели вагонов (4), степень детализации которых позволяет провести достаточно точную оценку НДС, две автосцепки (1), как сосредоточенную массу, массы и пружины тележек (2, 3), подвеску автосцепки (5). При больших сцепах (рисунок 2, б) количество вагонов возрастает, часть их в начальный момент неподвижна, другая часть движется с заданной начальной скоростью (рисунок 2, в). Самых поглощающих аппаратов в модели нет, они заменяются математической моделью, которая при интегрировании уравнений движения вычисляет значение силы на аппарате по значениям его хода, скорости и истории нагружения.

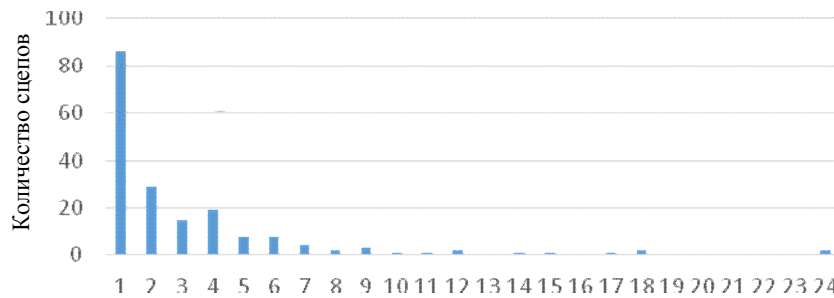


Рисунок 1 – Распределение количества вагонов в сцепах на горке станции Гомель

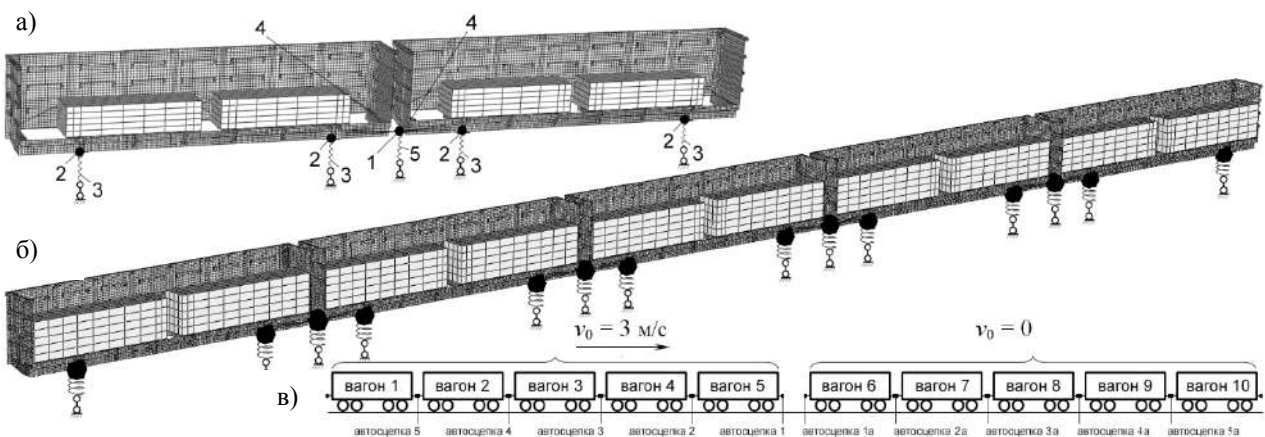


Рисунок 2 – Динамическая модель соударения сцепов

Были рассмотрены случаи удара одиночного вагона в одиночный вагон и сцепы, состоящие, соответственно, из двух, трех и более вагонов. Кроме того, моделировались соударения одинаковых сцепов, каждый из которых состоял из двух, трех и более (до 10) вагонов. Оценивались максимальные силы соударений на всех автосцепках, ускорения вагонов, распределения напряжений и пр. Для всех расчетов приняты следующие параметры соударения: начальная скорость движущихся вагонов  $v_0 = 3$  м/с, состав сжат (зазоры в системе отсутствуют), используется метод Ньютона или Парка, шаг интегрирования – 0,0001 с.

Из полученных результатов расчетов можно сделать ряд выводов. На рисунке 3 приведена зависимость силы на автосцепке от времени при ударе одиночного вагона в сцеп. Максимальное значе-

ние силы не очень существенно отличается от силы при соударении одиночных вагонов (при заданных условиях она достигает 2,4 МН), однако время удара существенно больше и есть повторное нагружение с довольно высоким уровнем силы.

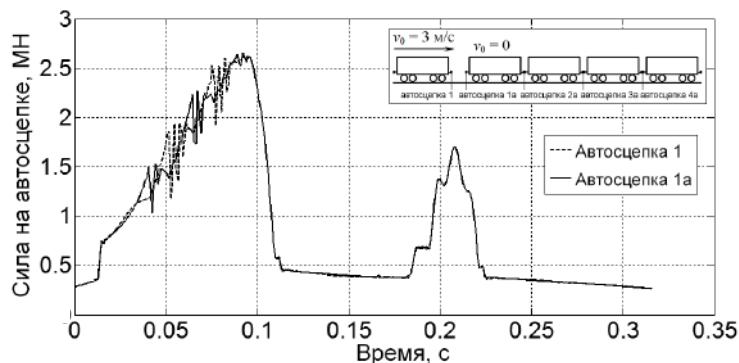


Рисунок 3 – Зависимость силы на автосцепке при ударе одиночного вагона в сцеп

При соударении сцепов максимальные силы на центральной автосцепке (той, на которую приходится удар при формировании состава) возрастают до 15 % от значения максимальной силы при соударении одиночных вагонов (таблица 1), однако количество повторных ударов существенно растет.

Таблица 1 – Максимальные значений силы на автосцепках за время удара

В килоньютонах

Случай соударения	Номер автосцепки (см. рис. 2с)										
	1, 1а	2	2а	3	3а	4	4а	5	5а	6	6а
3-в-3	2935	1873	1810	1121	1096	–	–	–	–	–	–
4-в-4	2894	2109	2114	1641	1559	928	920	–	–	–	–
5-в-5	2895	2411	2394	2111	2090	1576	1497	853	848	–	–
6-в-6	2967	2532	2527	2385	2377	1934	1897	1265	1131	824	818

Из таблицы видно, что на второй и последующих автосцепках за той, на которую приходится удар, максимальная сила заметно снижается, но при больших сцепках даже на третьей автосцепке уровень продольных сил превышает 2,3 МН.

Следует сказать, что все эти выводы справедливы лишь для однородных сжатых сцепов. Наличие зазоров в автосцепках и существенное различие в массах вагонов могут повлиять на распределение сил при ударе, и это требует дополнительных исследований.

УДК 656.225.073.437

## НАГРУЖЕННОСТЬ ТОРЦЕВЫХ СТЕН ВАГОНОВ ДЛЯ ПЕРЕВОЗКИ СЫПУЧИХ ГРУЗОВ ПРИ УДАРНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ

*А. В. ПИГУНОВ, П. М. БУЙЛЕНКОВ, П. М. АФАНАСЬКОВ*  
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

До недавнего времени несущая способность конструкций вагонов оценивалась в соответствии с требованиями «Норм ...» [1] в редакции 1996 года. С 1 июля 2017 года в силу вступил ГОСТ 33211–2014 «Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам» [2]. Одним из наиболее неблагоприятных режимов нагруженности кузовов вагонов является удар. При этом инерционная нагрузка, действующая на торцевые стены вагонов для перевозки сыпучих грузов, в обоих документах определяется по формуле

$$N_{\text{и.сып}} = 0,35N \frac{m}{m_{\text{ваг}}}, \quad (1)$$

где  $N$  – продольная сила приложенная к вагону, Н;  $m$  – грузоподъемность вагона, кг;  $m_{\text{ваг}}$  – максимальная расчетная масса вагона, кг.

Данная формула применяется для всех типов вагонов, в которых перевозятся сыпучие грузы, т. е. для хопперов и полувагонов без каких-либо различий.

В «Нормах...» [1] предусмотрено применение еще одной формулы для определения силы инерции массы груза, равной 0,35 грузоподъемности вагона:

$$N_{и} = ma_x, \quad (2)$$

где  $m$  – масса груза с учетом коэффициента равного 0,35;  $a_x$  – нормированная величина продольного ускорения (замедления),  $a_x = 3,5g$ .

По формуле (1) расчетная величина нагрузки, действующей на торцевую стену при ударе, составит 905,9383 кН (или 92,38 тс) для модели 12-119 (тара – 22,5 т, грузоподъемность – 69 т), а для модели 12-132 (тара – 24, грузоподъемность – 70 т) – 894,562 кН (91,22 тс). При этом грузоподъемность первой модели меньше на одну тонну. Применяв эту же формулу, для вагонов-хопперов различных моделей, мы получили следующие значения нагрузок на торцевые стены: для модели 11-740 (имеющей массу тары 20 т и грузоподъемность 64 т) – 914,960 кН (93,3 тс), для модели 19-9774 (имеющей массу тары 23,5 т и грузоподъемность 70,5 т) – 901,035 кН (91,88 тс).

Из полученных результатов видно, что у полувагона с большей грузоподъемностью нагрузка на торцевую стену меньше, так как и для вагона-минераловоза модели 19-9774, имеющего грузоподъемность больше на 6,5 т, нагрузка, приходящаяся на торцевую стену, меньше, чем у модели 11-740.

Рассчитав с использованием формулы (2) значения инерционной нагрузки для перечисленных выше моделей вагонов, получим: для полувагонов модели 12-119 и 12-132 – соответственно 828,956 и 840,920 кН (или 84,53 и 85,75 тс); для вагонов-хопперов моделей 11-740 и 19-9774 – 768,841 и 846,314 кН (78,4 и 86,3 тс).

Полученные результаты с использованием формул (1) и (2) отличаются по величинам нагрузок для одних и тех же моделей вагонов, но и имеют различную зависимость от грузоподъемности. В первом случае она получается обратной, а во втором – прямо пропорциональной.

Оценка прочности перечисленных выше моделей вагонов производилась с использованием пакета прикладных программ DSMFem. Для этого были разработаны расчетные конечно-элементные модели кузовов. При создании расчетных моделей использовались плоские пластинчатые 3- и 4-угольные конечные элементы.

После проведения прочностных расчетов на нагрузки, возникающие при ударе хоппера модели 11-740, расчетные напряжения превысили допустимые, которые равны пределу текучести материала. Следовательно, в процессе эксплуатации на торцевой стене вагона должны наблюдаться остаточные деформации как минимум листов обшивки. Однако обследование технического состояния кузовов, выработавших назначенный срок службы, никаких деформаций элементов торцевых стен не выявило. Отсюда можно сделать вывод, что полученные значения нагрузок являются завышенными.

Далее была проведена серия прочностных расчетов, при каждом из которых уменьшалась величина нагрузки, действующей на торцевую стену до тех пор, пока расчетные напряжения не стали меньше допустимой величины. Полученная величина инерционной нагрузки позволила определить корректирующий коэффициент ( $k = 0,64$ ), равный отношению нагрузки, при которой вагон удовлетворяет условиям прочности при ударе к определенной по формуле (1). Адекватность коэффициента была проверена на вагоне-хоппере модели 19-9774. Выполненный расчет показал, соответствие ее современным требованиям к прочности. При увеличении нагрузки эквивалентные напряжения превысили допустимые.

Таким образом, можно сделать вывод, что приведенная в ГОСТе и «Нормах...» формула не позволяет определить адекватную величину нагрузки, действующей на торцевую стену вагонов-хопперов при ударах. С величиной нагрузки для полувагонов можно согласиться, но непонятно почему она уменьшается с увеличением грузоподъемности вагона, хоть и на небольшую величину. По нашему мнению, распределение давления на торцевые стены также требует подробного изучения для различных типов вагонов и не должно определяться с использованием унифицированной зависимости.

#### Список литературы

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

2 ГОСТ 33211-2014. Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам : межгос. стандарт. – Введ. 2016–17–01. – М. : Стандартинформ, 2014. – 31 с.



## **КОНСТРУКЦИЯ РАМЫ ТАНК-КОНТЕЙНЕРА В СООТВЕТСТВИИ С СОВРЕМЕННЫМИ НОРМАТИВНЫМИ ТРЕБОВАНИЯМИ**

*А. В. ПИГУНОВ, П. М. БУЙЛЕНКОВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Согласно Т-классификатора танк-контейнеров модель Т11 должна иметь устройство нижнего слива груза. Такая особенность вносит свои коррективы в конструкцию задней торцевой рамы, нижняя поперечная балка в средней части соединяется листом, что не может не оказывать влияния на работу конструкции при воздействии на нее различных сочетаний эксплуатационных нагрузок.

Для исследования был выбран прототип танк-контейнера модели Т11, в конструкции задней торцевой рамы которого поперечная балка имеет ломаный профиль и в средней части соединяется листом.

Конструкция контейнера должна быть рассчитана на множество вариантов приложения эксплуатационных нагрузок в соответствии с «Общими положениями ...» [1]. Наиболее опасным режимом его эксплуатации является удар. При этом металлоконструкция танк-контейнера с учетом массы брутто должна выдерживать продольный удар с перегрузкой не менее 4g.

С учетом этих требований был проведена оценка прочности прототипа танк-контейнера модели Т11 методом конечных элементов с использованием пакета DSMfem, разработанного в Брянском государственном техническом университете. Для составления расчетной модели использовались плоские пластинчатые 3- и 4-угольные конечные элементы. Параметры расчетной модели: количество конечных элементов 55884, а узлов – 61995.

После проведения прочностных расчетов были получены распределения расчетных напряжений для всех конструктивных элементов танк-контейнера. Анализ напряженно-деформированного состояния позволил выявить опасные зоны исследуемой конструкции. В результате были внесены конструктивные изменения в узлы соединения вертикальных стоек с нижними и верхними продольными балками, определена величина толщины металла вертикальных стоек. Правильность конструктивных решений подтверждена прочностными расчетами. Однако в соединяющей пластине нижней поперечной балки задней торцевой рамы расчетные напряжения превышают допускаемые. Их максимальная величина в 2,5 раза превысила допускаемое значение 345 МПа при расчете на удар.

Какие-либо изменения толщины пластины приводят к неоправданному увеличению массы. Другие конструктивные решения, позволяющие снизить уровень напряженного состояния, практически невозможны, так как ведут к увеличению высоты, что в свою очередь ограничивает доступ к сливному прибору. По нашему мнению, наиболее правильным будет применение стали с пределом текучести 900 МПа.

### **Список литературы**

1 Общие положения по техническому наблюдению за контейнерами. Правила изготовления контейнеров. Правила допущения контейнеров к перевозке грузов под таможенными печатями и пломбами. Правила технического наблюдения за изготовлением контейнеров. Правила технического наблюдения за контейнерами в эксплуатации. НД 2-090201-009. – СПб. : Российский морской регистр судоходства, 2015.

## **ПРОЧНОСТЬ ТОРЦЕВОЙ СТЕНЫ ПОЛУВАГОНА В СООТВЕТСТВИИ С НОВЫМИ НОРМАТИВНЫМИ ТРЕБОВАНИЯМИ**

*А. В. ПИГУНОВ, И. Л. ЧЕРНИН, В. В. ПИГУНОВ, П. М. БУЙЛЕНКОВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

С введением ГОСТ 33211–2014 «Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам» [1] нагрузка, действующая на торцевую стену при расчете на удар (режим Ia), определя-

ется с использованием зависимости, учитывающей отношение грузоподъемности к массе вагона. Этому режиму соответствует сочетание сил, действующих на вагон при роспуске с сортировочной горки, осаживании состава вагонов и т.д.

Конструкция рассматриваемого полувагона имеет объем кузова  $95 \text{ м}^3$ , грузоподъемность 77 т и массу тары 23 т. Конструкция торцевой стены в первом варианте конструктивного исполнения состояла из гладкой металлической обшивки толщиной 5 мм, подкрепленной каркасом. Каркас включает три поперечных пояса жесткости из  $\Omega$ -образного профиля размером  $250 \times 102 \times 9$  мм, верхнюю обвязку замкнутого сечения, сваренную из двух швеллеров № 12, вертикальные угловые стойки из такого же швеллера и полустоек, расположенных в средней части. Полустойки из гнутого швеллера  $150 \times 100 \times 8$  мм расположены между концевой балкой и поперечными усиливающими поясами. Соединение верхних обвязок торцевой и боковой стен усилено накладкой.

Для оценки прочности конструкции методом конечных элементов был использован пакет прикладных программ DSMFem. Расчетная модель разрабатывалась стандартными приемами метода конечных элементов. При моделировании использовались два типа конечных элементов – плоские пластинчатые 3- и 4-узловые.

Кинематические граничные условия включают в себя ограничение степеней свободы в местах крепления упоров автосцепного устройства и пятников.

При действии ударной нагрузки учитывались, согласно [1], продольная сила 3,5 МН, сила инерции сыпучего груза, приходящаяся на торцевую стену ( $N_{и} = 902.212 \text{ кН}$  или 92 тс), сила тяжести груза, вертикальная составляющая силы инерции и силы, вызванные распором груза.

Выполненный прочностной расчет показал, что в большинстве конструктивных элементов торцевой стены уровень эквивалентных напряжений превышает допускаемые. В остальных конструктивных элементах несущего кузова уровень напряжений находится в пределах нормы.

Для усиления конструкции торцевой стены был рассмотрен вариант, дополнительно включающий полустойку, расположенную посередине между верхним усиливающим поясом и верхней обвязкой торцевой стены, выполненной из гнутого швеллера  $250 \times 100 \times 8$  мм.

Расчет с учетом внесенного изменения показал, что данного усиления недостаточно, и позволил снизить уровень напряжений в верхней обвязке и обшивке, но они все равно превышали допускаемые.

Анализ напряженно-деформированного состояния конструкции на втором этапе позволил выработать конструктивные изменения для увеличения прочности торцевых стен. На этом этапе изменению подверглись усиливающие пояса и полустойки. Полустойки были заменены стойками такого же сечения, а горизонтальные усиливающие пояса стали не из цельных балок, а из трех участков. Также были изменены расстояния между стойками и горизонтальными поясами жесткости. Дополнительно были введены усиливающие накладки в средней части между стойками на верхнюю обвязку и следующими за ними двумя поперечными поясами.

Проведенный прочностной расчет показал, что данные конструктивные изменения позволили усилить торцевую стену, и уровень эквивалентных напряжений по всем элементам не превышает допускаемых.

#### Список литературы

1 ГОСТ 33211–2014. Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам : межгос. стандарт. – Введ. 2016–17–01. – М. : Стандартинформ, 2014. – 31 с.

УДК 631.372: 629.488.27

### **МЕТОДИКА АНАЛИЗА НАГРУЖЕНИЯ ДВИГАТЕЛЯ СТЕНДА, ИМИТИРУЮЩЕГО РАБОТУ ПОДЪЕМНО-НАВЕСНОГО УСТРОЙСТВА УНИВЕРСАЛЬНОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СРЕДСТВА**

*В. Б. ПОПОВ*

*Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого, г. Гомель*

Комплектация стенда, имитирующего работу подъемно-навесного устройства (ПНУ) УЭС-350, состоящего из гидропривода и механизма навески (МН), связанного в трех точках с имитатором

(грузом) навесной машины представлена на рисунке 1. Источник энергии для привода гидронасоса в стационарных условиях – электродвигатель, потребляемая мощность которого за время подъема НМ существенно меняется. При эксплуатации стенда в производственных условиях силы полезного сопротивления могут изменяться в значительных пределах, что должно учитываться во избежание нарушения режима функционирования ПНУ.

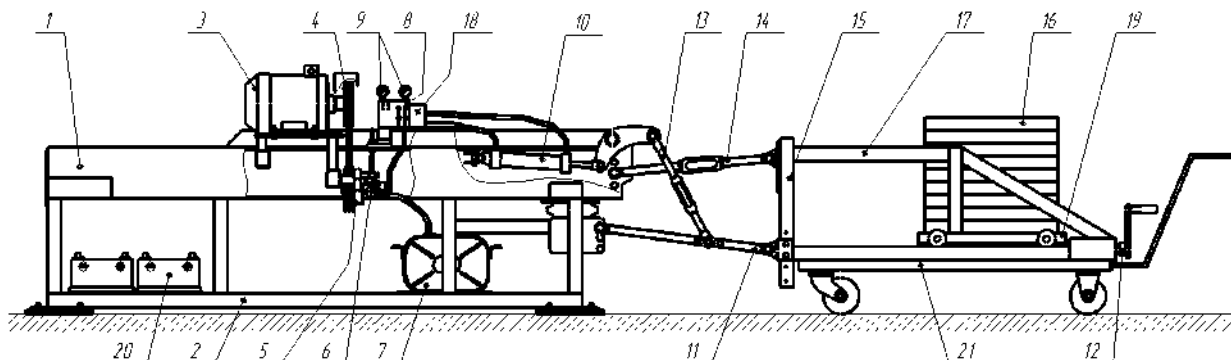


Рисунок 1 – Общий вид стенда, имитирующего работу подъемно-навесного устройства универсального энергетического средства УЭС-350 «Полесье»:

- 1 – рама УЭС-350; 2 – рама опорная; 3 – электродвигатель; 4 – клиноременная передача; 5 – ролик натяжной; 6 – насос шестеренный; 7 – бак; 8 – пульт управления; 9 – манометры; 10 – гидроцилиндр; 11 – рычаг нижний; 12 – рукоять; 13 – раскос; 14 – верхняя тяга; 15 – стойка; 16 – груз; 17 – направляющая; 18 – гидрораспределитель; 19 – тележка; 20 – аккумулятор; 21 – тележка грузовая

Для выбора электродвигателя необходимо определить режим его нагружения, задавшись весом груза 16 (см. рисунок 1) и выполнив расчет выходных параметров ПНУ. Следует определить максимальное давление на поршень гидроцилиндра и сравнить его с максимальным давлением, создаваемым гидронасосом. Используя установленные параметры гидронасоса, определяют крутящий момент на его валу. По вычисленному крутящему моменту и соотношению оборотов электродвигателя и гидронасоса определяется мощность электродвигателя, вал которого соединен с валом гидронасоса через клиноременную передачу. Геометрические, кинематические и силовые выходные параметры МН рассчитываются на математической модели, сформированной для плоской схемы аналога МН (рисунок 2).

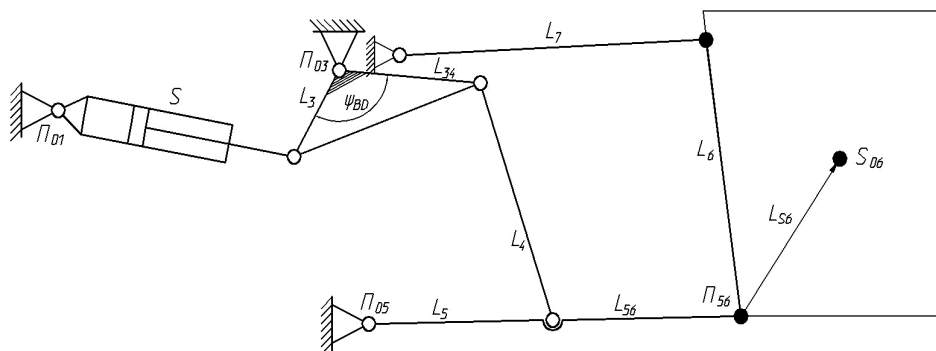


Рисунок 2 – Схема кинематическая механизма навески УЭС-350

Приведенная к поршню гидроцилиндра (ГЦ) нагрузка  $F_{np}(S)$  состоит из полезной составляющей  $F(S)$ , а также приведенных сил трения ( $F_{тр}^{np}$ ) и инерции ( $F_{ин}^{np}$ ), причем полезная нагрузка пропорциональна передаточному числу МН  $I_{S6}(S)$ :

$$F_{np}(S) = F(S) + F_{ин}^{np}(S) + F_{тр}^{np}(S), \quad F(S) = P_6 I_{S6}(S), \quad (1)$$

где  $S$  – обобщенная координата МН;  $P_6$  – вес груза.

Максимальная движущая сила, развиваемая на штоке ГЦ для преодоления приведенной к ГЦ нагрузки, определяется по выражению

$$F_{шт}^{max} = p_{гц}^{max} F_c, \quad p_{гц}^{max} = p_{пк} - (\Delta p_{др} + \Delta p_{гм}), \quad (2)$$

где  $F_c$  – площадь поршня ГЦ;  $p_{гц}^{\max}$  – максимальное давление в ГЦ;  $p_{пк}$  – давление настройки предохранительного клапана гидропривода;  $\Delta p_{др}$  – потери давления на дросселе в магистрали слива;  $\Delta p_{гм}$  – потери давления в магистрали.

Максимальное давление в ГЦ ограничено настройкой предохранительного клапана и потерями давления в гидроприводе. Грузоподъемность ПНУ определяется по формуле

$$G_S = \frac{p_2^{\max} F_H - [F_{ин}^{np} + F_{тр}^{np}]}{I_S^{\max}}, \quad (3)$$

где  $G_{S6}(S)$  – грузоподъемность ПНУ, соответствующая расположению центра тяжести веса груза;  $p_2^{\max}$  – максимально возможное давление в гидроцилиндре МН,  $F_{ин}^{np}$ ,  $F_{тр}^{np}$  – соответственно приведенные силы инерции и трения;  $F_H$  – суммарная площадь поршней рабочих гидроцилиндров.

Как следует из выражения (3), грузоподъемность ПНУ – это интегральный показатель, зависящий одновременно от параметров гидропривода, механизма навески, веса груза и его расположения относительно оси подвеса.

Результаты расчета выходных параметров ПНУ УЭС-350, агрегируемого с имитатором комбайна КНК-500, выполненные на сформированной функциональной математической модели, представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Выходные параметры ПНУ УЭС-350

$S$	$Y_{56}(S)$	$X_{56}(S)$	$Y_{56}(S)$	$\varphi_6(S)$	$\varphi_3'(S)$	$I_S(S)$	$R_{34}(S)$	$F(S)$	$p_2(S)$	$G_{56}(S)$
	м			град	1/м	–	кН		МПа	кН
0,571	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
0,596	0,320	2,447	0,571	90,019	4,844	3,291	52,798	157,931	14,313	62,05
0,621	0,404	2,468	0,652	89,869	4,425	3,210	52,019	154,092	13,963	63,597
0,646	0,486	2,480	0,732	89,780	4,175	3,164	51,349	151,849	13,760	64,536
0,671	0,566	2,486	0,810	89,741	4,022	3,135	50,754	150,490	13,637	65,118
0,696	0,644	2,485	0,889	89,746	3,935	3,118	50,214	149,658	13,561	65,480
0,721	0,720	2,478	0,966	89,794	3,896	3,107	49,720	149,159	13,516	65,699
0,746	0,796	2,466	1,044	89,884	3,896	3,102	49,270	148,884	13,491	65,821
0,771	0,870	2,447	1,121	90,021	3,932	3,100	48,866	148,779	13,482	65,867
0,796	0,944	2,423	1,199	90,209	4,003	3,101	48,518	148,833	13,487	65,843
0,821	1,016	2,392	1,277	90,459	4,112	3,106	48,245	149,086	13,509	65,732

Подсоединение навесного кормоуборочного комбайна КНК-500 выполняется, когда высота оси подвеса ( $Y_{56}$ ) составляет 0,33 м, что соответствует  $S = 0,599$  м.

Заложенные в проекте стенда параметры ПНУ УЭС-350 позволяют проводить исследования для всех навесных машин, включая наиболее энергоёмкий процесс перевода из рабочего в транспортное положение комбайна КНК-500.

Представленная методика анализа процесса подъема НМ и определения грузоподъемности ПНУ УЭС-350 позволяет оценить характеристики нагружения электродвигателя и для других навесных машин с УЭС, имеющими идентичные по структуре подъемно-навесные устройства.

УДК 539.231, 620.179.112

## ВЛИЯНИЕ УГЛЕРОДНОГО ПОКРЫТИЯ НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ УПЛОТНИТЕЛЬНЫХ О-ОБРАЗНЫХ КОЛЕЦ ГИДРОСИСТЕМ НА ТРАНСПОРТЕ

*М. А. ПОПОВА, В. Ю. ГАЛАСЬ, А. Н. ПОПОВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В настоящее время одной из основных проблем в развитии уплотнительной техники является повышение ресурса работы уплотнений и улучшение их эксплуатационных характеристик. Распространенной причиной потери работоспособности гидро- и пневмосистем машин и механизмов является выход из строя уплотнительных элементов герметизирующих устройств.

Аморфные углеродные покрытия, обладающие низким коэффициентом трения, высокой твердостью и химической инертностью нашли применение при поверхностном модифицировании резинотехнических изделий [1], таких как манжеты и кольца [2].

Целью данной работы является исследование стойкости образцов к воздействию гидравлического масла, триботехнических и эксплуатационных характеристик бутадиен-нитрильной резины с покрытием на основе углерода.

Модифицированию подвергались образцы листовой бутадиен-нитрильной резины и готовые изделия в виде O-образных уплотнительных колец. Покрытия формировались из плазмы импульсного катодно-дугового разряда. Перед нанесением покрытия производилась ультразвуковая очистка с последующей обработкой ионами азота поверхности резины. Углеродное покрытие наносилось двумя слоями с содержанием фтора и азота. Толщина покрытия составляла ~ 0,1 мкм по ~ 50 нм каждого слоя.

Стойкость образцов из O-образного кольца к воздействию гидравлического масла определялась по ГОСТ Р ИСО 1817–2009, измерялись массы резины до и после выдержки в гидравлическом масле Mobil DTE 25.

Стендовые испытания исходного и модифицированного уплотнительных колец производились на импульсном стенде согласно требованиям [3] при давлении импульса 250 бар с температурой гидравлического масла 70 °С и частотой следования импульсов 2Hz.

Триботехнические испытания установили значительное влияние покрытия на значение среднего коэффициента трения  $f_{cp}$  (рисунок 1). Для исходной резины на начальном этапе характерно высокое значение  $f_{cp}$  (до 1,12) с постепенным уменьшением и стабилизацией значения на уровне 0,8. Для всех образцов резины с покрытиями процесса приработки не происходило и наблюдалось плавное увеличение  $f_{cp}$  с 0,16 до 0,30 по истечении 3 тыс. циклов истирания. Таким образом, углеродное покрытие позволило снизить начальное значение  $f_{cp}$  в 7 раз, а установившееся – в 2,7 раза.

В процессе выдержки резины в гидравлическом масле при повышенной температуре наблюдалась потеря массы вследствие преобладания процесса экстракция растворимых компонентов (рисунок 2). Углеродное покрытие на протяжении всего эксперимента препятствовало изменению массы резины. По прошествии 336 ч испытания удалось уменьшить изменения массы образца с покрытием на 18 %, по сравнению с исходной резиной (таблица 1).

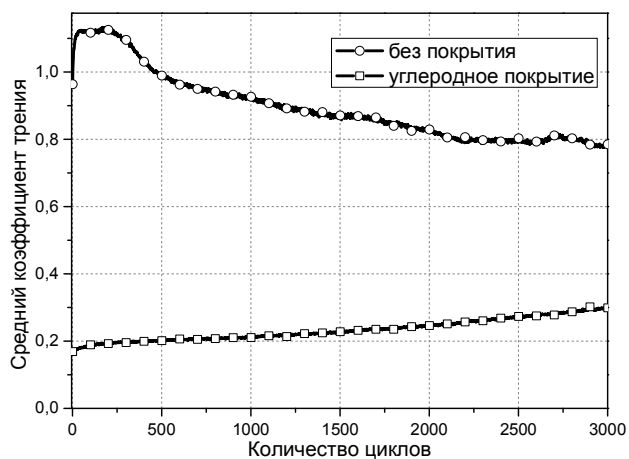


Рисунок 1 – Средний коэффициент трения в течение трибоиспытаний

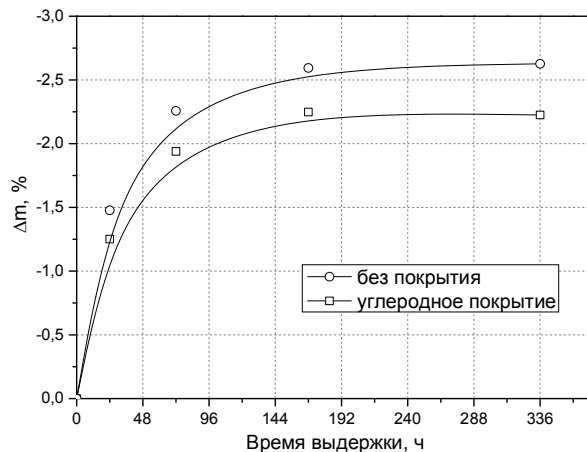


Рисунок 2 – Изменение относительной массы образцов при выдержке в гидравлическом масле

Результаты стендовых испытаний показали, что потеря герметичности по прошествии 750 тыс. циклов стендового испытания не произошла, при разборке гидроцилиндра на поверхности кольца без покрытия наблюдался износ и расслоение при визуальной целостности модифицированного кольца. Видно значительное влияние углеродного покрытия на изменение массы.

Таблица 1 – Изменение массы колец в процессе гидравлического испытания

Количество импульсов, $10^3$	Исходное кольцо		Модифицированное кольцо	
	масса, г	потеря массы, %	масса, г	потеря массы, %
0	12,249	0,000	12,326	0,000
45	12,168	0,662	12,313	0,102
75	12,147	0,834	12,291	0,278

## Список литературы

- 1 Pei, Y.T. Flexible diamond-like carbon film coated on rubber / Pei Y.T., Bui X.L., van der Pal J.P., Martinez-Martinez D., De Hosson J.Th.M // Progress in Organic Coatings. 2013. – Vol. 76, – Issue 12. – P. 1773–1778.
- 2 Трибомеханические характеристики алмазоподобных покрытий для резиновых уплотнительных колец герметизирующих устройств / А. Н. Попов [и др.] // Механика композитных материалов. – 2017. – № 3. – С. 86–99.
- 3 Test methods for rubber O-rings : GB/T 5720–2008. – Intr. 01.12.2008. – Shanghai : National Rubber and Rubber Products for Standardization Technical Committee; Northwest Institute of Rubber & Plastics, 2008. – 13 с.

УДК 621.879

## УСТРОЙСТВА БЕЗОПАСНОСТИ В КОНСТРУКЦИЯХ БЫСТРОСЪЁМНЫХ СОЕДИНИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ЭКСКАВАТОРОВ

Д. С. ПУПАЧЁВ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Одним из направлений повышения многофункциональности одноковшовых экскаваторов является расширение номенклатуры их рабочего оборудования. В настоящее время у крупных производителей экскаваторной техники насчитывается более 30 различных видов сменных рабочих органов. Помимо очевидных плюсов, такое многообразие обуславливает значительные затраты времени при смене оборудования, а также необходимость наличия дополнительного обслуживающего персонала.

Для решения данной проблемы разработаны быстросъёмные соединительные устройства (БСУ), или квик-каплеры (от англ. *quick coupler*). Возможность быстрой замены одного оборудования на другое с их применением значительно увеличивает общую производительность экскаваторов.

На данный момент существуют быстросъёмные устройства трех основных типов – механические, гидравлические и автоматические, которые могут иметь различные варианты конструктивного исполнения. Так, принцип действия механических квик-каплеров основан на применении соединений винт-гайка или упругих элементов в виде пружин. В устройствах гидравлического типа замыкание и отсоединение рабочих органов выполняется гидравлической системой экскаватора, а в самом устройстве имеется гидрозамок. В автоматических устройствах смонтированы гидромосты с быстроразъемными соединениями. Как следствие, при смене гидронавесного оборудования оно не только захватывается и фиксируется квик-каплером, но и соединяется необходимым количеством указанных выше соединений с гидросистемой машины в автоматическом режиме.

Представленные быстросъёмные соединительные устройства выступают промежуточным звеном между рукоятью экскаватора и его рабочим органом. При этом существует вероятность отсоединения последнего в случае выхода из строя самого БСУ и его механических составляющих или повреждения гидролиний и других гидравлических устройств (для БСУ гидравлического и автоматического типов).

Во избежание отказов соединительных элементов БСУ разработаны дополнительные устройства безопасности и резервирования, позволяющие сохранить их работоспособность. Это реализуется путем применения полной автоматизации процесса захвата и удержания, использованием дополнительных фиксирующих элементов, электронных датчиков, систем двойной и даже тройной фиксации.

Наиболее простыми техническими решениями, обеспечивающими безопасность, являются механические приспособления в виде предохранительных пальцев, предотвращающих перемещение захватных крюков под действием нагрузок со стороны рабочих органов, пружинных элементов или зубчатых клиньев и шплинтов, которые также обеспечивают надёжное удержание в случае выхода из строя элементов гидравлики.

Двойная или тройная фиксация подразумевает наличие как основных фиксирующих элементов, так и дополнительных замков (например, гидравлических). При этом отсоединение навесного оборудования становится возможным только при его контакте с опорной поверхностью под определенным давлением.

В ряде устройств, помимо наличия двойной фиксации, имеется автоматическая блокировка, которая в случае неисправности в системе гидравлики переключается на удержание пальцев рабочего оборудования только при помощи механических компонентов без использования гидравлического контура.

Ведущие производители быстросъёмных соединительных устройств для повышения безопасности экскаваторов, а также других машин с ковшовыми рабочими органами используют современные технологии и материалы, совершенствуя известные и разрабатывая новые конструктивные решения в данной области.

УДК 629.4.077:629.463

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОГО МЕТОДА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ЯВЛЕНИЯ НЕРАВНОМЕРНОГО ИЗНОСА ТОРМОЗНЫХ КОЛОДОК ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ

В. Г. РАВЛЮК

*Украинский государственный университет железнодорожного транспорта, г. Харьков*

В предлагаемой работе трущиеся поверхности тормозных колодок, примыкающие к вращающимся колесам при торможении, с точки зрения их силового взаимодействия предложено рассматривать дезинтегрально, как композицию дискретных секторальных площадок, к которым приложены составляющие суммарной реакции  $F$  в виде дискретных сил  $dF$ , всегда направленных под углом трения  $\alpha_{тр}$  к общей нормали  $ON$  для контактирующих участков поверхностей колодки и колеса (рисунок 1). То есть изначально рассматривается равновесие участков колодки  $ds$ :

$$ds = bR_0d\gamma, \quad (1)$$

где  $b$  – ширина колодки;  $R_0$  – радиус круга катания вращающегося колеса в плоскости, которая «рассекает» колодку симметрично на две равные части;  $d\gamma$  – тормозной секторальный угол.

В этом случае тормозная сила  $F$  уравнивается действием дискретных сил  $dF$  по площади  $S$ :

$$F = \int_S dF, \quad S = \int ds. \quad (2)$$

Естественно считать, что все рассматриваемые силы лежат в плоскости сечения колодки, совпадающей с плоскостью рисунка. А линии действия всех элементарных сил  $dF$  (в пределах обхвата колеса тормозной колодкой  $\gamma$ ) сходятся в круговой точке  $K$ , являясь касательными к окружности радиуса  $r$  – границы круга трения:

$$r = \frac{\varphi_k R_0}{\sqrt{1 + \varphi_k^2}}, \quad (3)$$

где  $\varphi_k$  – коэффициент трения между колесом и тормозной колодкой;  $R_0$  – радиус вращающегося колеса по кругу катания.

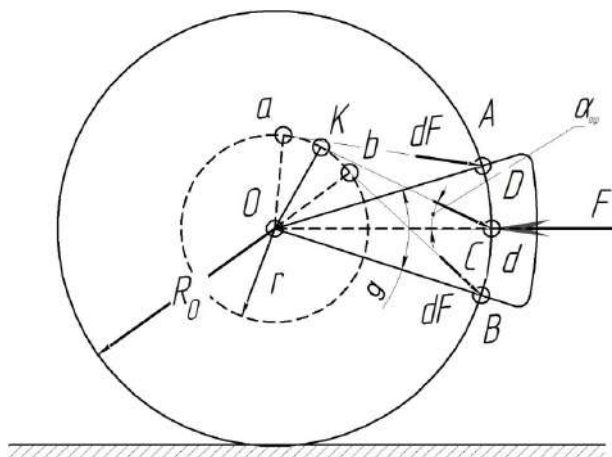


Рисунок 1 – Формирование реакции  $F$  при торможении как равнодействующей суммы сил  $dF$ , действующих на элементарные контактные участки  $ds$  рабочей площади колодки  $S$

В работе, на основе проведенных исследований, излагаются практические предложения к решению задач, связанных с проблемой неравномерного износа тормозных колодок, монтируемых при помощи шарнирного подвешивания  $D$  на тележках грузовых вагонов, которые оформлены патентом Украины и заявками на изобретения.

Приводятся результаты теоретических исследований, базирующихся на кинестатическом анализе причин возникновения неравномерного износа колодок, связанных с торможением колес при одностороннем и двухстороннем их вращении (движении). Описываются результаты экспериментально-теоретических исследований явлений неравномерного износа тормозных колодок (рисунок 2) при опытной эксплуатации грузовых вагонов на железных дорогах Украины.



Рисунок 2 – Экземпляры изношенных тормозных колодок грузовых вагонов депо Основа:  
 $a$  – с «верхним клином»;  $b$  – с «нижним клином»

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1 Линия действия реактивной силы колеса на колодку  $F$  во время торможения всегда проходит через круговые точки типа  $K$  и через точку шарнирного соединения  $d$  тормозной колодки и ее подвески.

2 Радиус окружности, проходящей через круговые точки, определяется согласно формуле (1).

3 При двустороннем движении колеса и одинаковых режимах торможения (прямое и обратное вращение) в колодке возникает соответствующий момент, который приводит к образованию неравномерного износа с «верхним» клином.

4 При продолжительной эксплуатации тележек грузовых вагонов в режимах торможения при прямом и обратном вращениях колес, в колодках возникает, как правило, «нижний» клин. В некоторых не изученных частных случаях клин может отсутствовать.

5 Положение центра износа симметричной колодки на её рабочем секторе неустойчиво и зависит не только от сил, действующих на колодку, но также и от характера и степени её первоначального износа.

УДК 629.463.004.67

## **К ВОПРОСУ О СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ ТЕКУЩЕГО БЕЗОТЦЕПНОГО РЕМОНТА ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ В ПАРКЕ ОТПРАВЛЕНИЯ СТАНЦИИ МИНСК-СОТИРОВОЧНЫЙ**

*В. Ф. РАЗОН, И. М. ЛУКАШЕВИЧ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Эффективность работы железнодорожного транспорта в конечном итоге определяется затратами на перевозку грузов и пассажиров и получаемой от этого прибылью. В случае грузовых перевозок на эти показатели, в числе прочих факторов, оказывает влияние продолжительность нахождения



ния вагонов в неисправном состоянии при выполнении плановых видов и текущего отцепочного ремонта вагонов.

Решение о подаче грузовых вагонов в текущий отцепочный ремонт принимается на основе обнаруженных осмотрщиками вагонов дефектов в парке прибытия сортировочной станции и возможности их устранения в парке отправления в течение регламентированного времени нахождения состава поезда в этом парке. Если дефект может быть устранен в течение такого времени, то это не влияет на эффективность перевозочного процесса. В том же случае, когда продолжительность ремонта превышает время нахождения состава в парке отправления, то вагон направляется в текущий отцепочный ремонт, что отрицательно влияет на конечные результаты работы железнодорожного транспорта. Таким образом, появляется возможность повышения эффективности использования парка грузовых вагонов и работы железнодорожного транспорта в целом за счет сокращения времени ремонтных работ по устранению ряда дефектов, путем применения средств механизации, что позволит выполнять их в парке отправления сортировочной станции без подачи вагонов в текущий отцепочный ремонт.

В парке отправления станции Минск-Сортировочный производится техническое обслуживание сформированных составов и транзитных поездов, отправляемых на Оршу, Смоленск, Брест, Барановичи, Ситницу, Осиповичи, Гомель. Выполняется текущий безотцепочный ремонт грузовых вагонов. Кроме этого один осмотрщик-ремонтник вагонов из смены производит осмотр грузовых вагонов, предъявленных под погрузку предприятиям, примыкающим не только к станции Минск-Сортировочный, но и к станциям Руденск, Михановичи, Минск-Южный. Для этого он выезжает на указанные станции.

Осмотр и техническое обслуживание поездов в парке отправления осуществляется двумя группами осмотрщиков-ремонтников, каждая из которых состоит из трех человек: два «боковых» осмотрщика, один «автоматчик». Руководит работой старший осмотрщик-ремонтник вагонов.

Время на техническое обслуживание поездов своего формирования устанавливается 40 мин. При обработке длинносоставных поездов время увеличивается соответственно: при количестве вагонов от 71 до 84 – на 8,7 мин; от 85 до 100 вагонов – на 18,7 мин; свыше 100 вагонов – на 20 мин; время на полное опробование автотормозов в поездах свыше 71 вагона увеличивается на 7 мин. Указанные значения времени определяют возможную длительность выполнения ремонтных работ на вагонах в парке отправления станции Минск-Сортировочный. В соответствии с ними более точно может быть установлен перечень дефектов для устранения без отцепки вагонов от составов. В этот перечень могут войти дефекты, продолжительность устранения которых, с учетом сокращения времени за счет применения средств механизации, не превышает установленного времени обслуживания состава. Вагон ремонтируется без отцепки от состава в том случае, когда суммарное время устранения обнаруженных дефектов будет менее времени обслуживания состава в парке отправления.

УДК 621.333.4

## **ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНЫХ ЭНЕРГООБМЕННЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ В СИСТЕМАХ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ**

*О. И. САБЛИН, Д. А. БОСЫЙ*

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

Одним из путей эффективного использования энергии рекуперации в системах электрифицированного транспорта является ее локальная буферизация накопителями энергии, которая также позволяет значительно выравнять резкопеременные тяговые нагрузки транспортных средств. Такой подход обладает рядом преимуществ перед возвратом данной энергии в систему внешнего электрообеспечения, поскольку не зависит от режимов нетяговых нагрузок в узлах подключения инвертирующих тяговых подстанций.

В настоящее время существует положительный опыт использования инерционных механических накопителей энергии на метрополитенах. Комплекс из 2–5 энергоблоков там позволяет аккумулировать энергию мощностью 1,5–2,5 МВт, что обеспечивает пуск и разгон двух электропоездов

до скорости 60 км/ч. Использование емкостных или сверхпроводящих индуктивных накопителей энергии в тяговых сетях на данный момент еще не получило широкого распространения.

Альтернативой применения накопителей энергии в системе тягового электроснабжения является их установка непосредственно на транспортных средствах, что с энергетической точки зрения является наиболее оптимальным. В качестве накопителей энергии на сегодня рассматриваются суперконденсаторные и аккумуляторные вторичные источники питания. Преимуществом такого расположения является минимизация потерь энергии рекуперации при ее передачи до накопителя и отсутствие влияния энергии рекуперации на режимы работы и показатели качества электроэнергии в системах тягового электроснабжения. Недостаток – это ухудшение массогабаритных показателей транспортных средств, что в свою очередь приводит к увеличению удельного расхода энергии на тягу. Учитывая, что развитие технологий в области электроматериаловедения и производства накопителей развивается опережающими темпами, вопрос об оптимальном местоположении накопителя в системе электрифицированного транспорта на сегодня остается открытым.

Недостатком непосредственного подключения накопителей к тяговым сетям является низкий коэффициент их использования, поскольку заряд/разряд реализуется в узкой области приложенного напряжения, которая определяется конкретным уровнем напряжения холостого хода на шинах тяговых подстанций. Поэтому непосредственное подключение накопителей к энергосистемам не получило широкого распространения, а выполняется по средствам различного рода преобразователей, позволяющих регулировать параметры накопителей энергии в режиме заряда/разряда в широком диапазоне.

С целью повышения коэффициента загрузки накопителей и эффективности их буферной и демпфирующей функций в тяговых сетях предлагается использовать так называемый режим принудительного управления энергообменом накопителей. Его реализация осуществляется с помощью тех же преобразователей, управляемых методами нечеткой логики, что позволяет обеспечивать заданные скорости и диапазоны заряда/разряда накопителей в зависимости от текущей и прогнозируемой поездной ситуации на межподстанционных зонах. Это позволит учесть специфические свойства перемещающихся тяговых нагрузок, связанные с вероятностными режимами тягового электропотребления и рекуперации энергии, а также согласовать их во времени и пространстве.

В докладе рассматриваются вопросы моделирования работы накопителей с принудительным управлением режимом энергообмена в системе тягового электроснабжения, ограничения по допустимым току, напряжению и скорости заряда/разряда, а также вопросы выбора рациональных режимов накопителей для повышения энергетических показателей систем тягового электроснабжения.

УДК 629.01.02/03

## **ПРИВОД ВАГОННОГО ГЕНЕРАТОРА ОТ ТОРЦА ОСИ КОЛЕСНОЙ ПАРЫ ПОВЫШЕННОЙ МОЩНОСТИ ДЛЯ ПАССАЖИРСКИХ ВАГОНОВ**

*С. Л. САМОШКИН, А. Н. МАКАРОВ, П. Ю. СЕМЕНОВ*  
*ЗАО Научная организация «Тверской институт вагоностроения»,*  
*ООО «ТрансПриводТверь», Российская Федерация*

Большинство пассажирских вагонов на железных дорогах России и стран СНГ оснащаются автономными системами электроснабжения. В этих системах получение электроэнергии осуществляется при движении от генератора, а на стоянках – от аккумуляторной батареи. В свою очередь вращение генератора при движении вагона осуществляется от оси колесной пары с помощью привода вагонного генератора [1].

К концу 90-х годов на пассажирских вагонах устанавливались два типа приводов. Пассажирские вагоны без кондиционирования воздуха оснащаются приводами с клиноременной передачей от торца оси колесной пары. Это текстурно-редукторно-карданный (ТРК) и текстурно-карданный (ТК-2) приводы. Мощность автономных систем электроснабжения с приводами ТРК и ТК-2 составляет 8 кВт в длительном режиме (при скоростях движения вагонов от 40 до 160 км/ч) и 9 кВт в часовом режиме (начиная с 50 км/ч). Пассажирские вагоны с кондиционированием воздуха оснаща-

ются редукторно-карданным приводом от середины оси колесной пары (приводы WBA-32/2 производства ФРГ или отечественные аналоги) и автономными системами электроснабжения мощностью 32 кВт [2].

Примерно в этот же период (конец 90-х годов) у разработчиков и производителей пассажирских вагонов стали возникать потребности в приводах для автономных систем электроснабжения с другими электрическими показателями. Специалистами ПКБ ЦЛ ОАО «РЖД» для модернизации пассажирских вагонов моделей 61-869 и 61-425 разработана автономная система электроснабжения с установкой кондиционирования воздуха, работающая от генератора мощностью 16 кВт (17–17,5 кВА). Применение привода WBA-32/2 для указанных вагонов существенно увеличивает стоимость модернизации и не является целесообразным. С другой стороны, новые клиновые ремни типа ХРС и ХРВ по стандарту DIN 7752/1 обладают значительно более высокой тяговой способностью по сравнению с классическими типа С или В. В связи с этим специалистами ЗАО НО «ТИВ» и ООО «ТрансПриводТверь» были проведены работы по повышению тяговой способности отечественных приводов с клиноременной передачей. За основу была взята кинематическая схема привода ТРК.

Проведенные предварительные исследования показали, что для повышения тяговой способности ТРК привода необходимо выполнить следующие конструкционные изменения.

1 С целью повышения скорости ремня увеличить диаметр ведущего шкива с 280 до 400 мм (габарит этому не препятствует) при сохранении диаметра ведомого шкива. Это позволит при прочих равных условиях повышать линейную скорость ремня в 1,4 раза, что пропорционально увеличивает тяговую способность клиноременной передачи.

2 Вместо классических кордшнуровых клиновых ремней типа С(В) ввести узкие клиновые ремни без обертки боковых граней (повышает коэффициент трения) и с формованным зубом на нижнем основании (снижает тепловые потери при изгибе ремня на шкивах и повышает долговечность) типа ХРС по стандарту DIN 7752/1. По результатам ранее проведенных исследований коэффициент трения ремней типа ХРС составляет около 0,34 по сравнению с обернутыми классическими ремнями С(В), для которых аналогичный показатель лежит в пределах 0,18–0,23 [3].

3 Применить ремни ХРС, обладающие высокими прочностными качествами, что позволит поднять начальное натяжение комплекта из четырех ремней с  $3,3 \pm 0,3$  кН до величины от 4,75 до 6,15 кН. Применение ремней ХРС и увеличение начального натяжения позволят поднять тяговую способность передачи еще не менее чем на 25 %.

4 С целью сохранения общего передаточного отношения привода уменьшить передаточное отношение одноступенчатого редуктора с 2,91 в приводе ТРК до 2,05 в приводе ТРК-М. Это обстоятельство позволяет при разработке нового редуктора с уменьшенным передаточным отношением и сохранением всех привязочных размеров, для подвески генератора на раме тележки, уменьшить высоту редуктора по нижнему основанию.

5 Для реализации более высокого уровня начального натяжения увеличить жесткость основной пружины натяжного устройства с 75 до 100 Н/мм. При этом высота пружины в свободном состоянии должна по возможности быть сохранена. Новый привод получил обозначение ТРК-М.

Расчетная оценка тягово-энергетических показателей привода ТРК-М по известным методам показала, что он обеспечивает получение на ведомом шкиве мощности до 18 кВт, начиная со скорости движения вагона  $40 \pm 3$  км/ч [4, 5].

Уточненные тягово-энергетические показатели привода ТРК-М могут быть получены при проведении тягово-энергетических ходовых испытаний вагона, оборудованного опытным приводом ТРК-М и натурным комплексом системы автономного электроснабжения. В настоящее время проводится оснащение модернизированного вагона приводом ТРК-М с опытным генератором мощностью 16 кВт.

#### Список литературы

- 1 **Терешкин, Л.В.** Приводы генераторов пассажирских вагонов. – М. : Транспорт, 1990. – 152 с.
- 2 **Самошкин, С.Л.** Приводы генераторов индивидуальных систем энергоснабжения вагонов локомотивной тяги / С.Л. Самошкин, И.С. Доронин, А.А. Чернышев; ЦНИИТЭИТЯЖМАШ. Сер. 5 // Транспортное оборудование. – 1986. – Вып. 1. – 144 с.
- 3 **Самошкин, О.С.** Определение коэффициента трения клиноременных передач приводов вагонных генераторов. / О.С. Самошкин // Механика и физика процессов на поверхности и в контакте твердых тел и деталей машин : Межвуз. сб. науч. тр. Вып. 1. – Тверь : ТГТУ, 2008. – С. 86–89.

4 Самошкин, С.Л. Исследование возможности повышения тягово-энергетических показателей серийных клиноременных приводов генераторов пассажирских вагонов / С.Л. Самошкин // Тяжелое машиностроение. – 1999. – № 3. – С. 32–36.

5 Самошкин, О.С. Влияние жесткостных характеристик элементов приводов с клиноременной передачей на изменение натяжения ременных передач приводов вагонных генераторов / О.С. Самошкин // Вестник РГУПС. – 2008. – № 3(31). – С. 59–63.

УДК 629.4 : 004

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА СБОРА И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ИСПЫТАНИЙ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА**

*В. И. СЕНЬКО, А. К. ГОЛОВНИЧ, С. В. МАКЕЕВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Вступление в действие Технических регламентов Таможенного союза (ТР ТС) с перечнем поддерживаемых стандартов значительно повысило требования, предъявляемые к подвижному составу, что потребовало от испытательных центров разработки новых методик испытаний. Развитие вагоностроения и разработка большого количества новых моделей подвижного состава в настоящее время приводит к увеличению объемов испытаний. Конкуренция данных услуг на рынке требует от испытательных центров проведения испытаний в кратчайшие сроки. Значительная часть времени проводимых испытаний приходится на обработку данных.

ИЦ ЖТ «СЕКО» имеет большой опыт проведения испытаний и обработки их результатов. До недавнего времени процесс обработки данных занимал значительное время, сравнимое с временем проведения испытаний. В соответствии с требованиями ТР ТС грузовые вагоны должны проходить многочисленные испытания (проверка габарита, геометрических размеров подножек и поручней, прочности конструкции при статике и динамике, тормозной системы, ходовых качеств и др.).

Действие стендовых моделирующих и реальных нагрузок на растяжение, сжатие, удар фиксируется соответствующими тензометрическими датчиками, распределенными по расчётным точкам кузова, хребтовой и надрессорной балок, автосцепки. Результаты испытаний одного вагона в соответствии с требованиями технического регламента оформляются в виде протокола испытаний. Использование специализированных программно-аппаратных комплексов обработки данных позволяет достаточно быстро и эффективно получать результаты, сравнивая реальные напряжения и деформации с нормативными. В настоящее время созданы и активно используются компьютерные системы обработки результатов ударных, ходовых, тормозных испытаний. Однако программный продукт, позволяющий аккумулировать исходные первичные данные, производить их экспресс-анализ в реальном времени, сохранять и систематизировать полученные результаты, отсутствует. ИЦ ЖТ «СЕКО» проводит целенаправленную работу по созданию программного продукта, обеспечивающего синтез результатов всех испытаний вагона с интегрированной обработкой полной линейки натуральных и стендовых измерений, позволяющего визуализировать и анализировать результаты испытаний вагонов разных типов и различной осевой нагрузки.

Автоматизированная среда интегрированной оценки данных тензодатчиков включает достаточно широкий аспект ряда сложных практических задач. В числе таких задач – адаптация системной программной среды к ошибкам испытаний, причинами которых может быть целый ряд факторов. Разнородность данных по результатам различных испытаний представляет определенную трудность интеграции их в едином продукте с выдачей итоговых показателей, определяющих качество объекта испытаний с допуском его к эксплуатации в составе рабочего парка на сети железных дорог. Поэтому паспорт испытываемого вагона, формируемый по результатам всех испытаний, рассматривается как общий документ аттестации объекта, гарантирующий надежность и безопасность данного подвижного состава, эксплуатируемого в течение заявленного срока службы.

Анализ существующих и разработка новых алгоритмов автоматизации расчетов и обработки результатов всего цикла работ по испытанию вагонов позволяет выразить уверенность в возможности создания эффективного интегрированного продукта, способного с высоким качеством и надежностью работать в штатном режиме. При этом потребуются решить целый ряд научных проблем, связанных с определением критических точек контроля испытателем в динамике процесса получения данных до обработки их программной средой; предельным уровнем неопределенности информации

по ошибкам испытаний; классификацией ошибок испытаний; разработкой методов идентификации ошибок на этапах проведения испытаний и обработки результатов измерений и др. Применение высокоточной многоканальной контрольно-измерительной аппаратуры вместе с эффективным программным продуктом, органично связанным с техническим обеспечением, позволит получить качественные результаты сертификационных и приемочных испытаний, максимально сокращая длительность всех процедур по подготовке итоговых отчетов и протоколов.

Таким образом, система автоматической регистрации и обработки экспериментальных данных позволит: обеспечить значительное сокращение трудозатрат при проведении испытаний, проведение экспресс-оценки достаточности полученных первичных данных непосредственно во время проведения испытаний; уменьшить влияние человеческого фактора при обработке данных; сохранять и систематизировать полученные результаты.

УДК 629.4.001.4

## **ИНТЕНСИФИКАЦИЯ РАБОТЫ СТЕНДА УДАРНЫХ ИСПЫТАНИЙ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА**

*В. И. СЕНЬКО, А. К. ГОЛОВНИЧ, С. В. МАКЕЕВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Стенд ударных испытаний является одним из наиболее загруженных и ответственных сооружений испытательного центра, работающим в длительном и циклическом режиме. Высокий скоростной режим вагона-бойка, повторяющийся после каждой зарядки горки посредством подтягивания ударного вагона тросом, сохраняется благодаря большому уклону (более 60 %) и короткой длине профильного пути (немногим более 30 м). Существующий ударный стенд на ИЦ ЖТ «СЕКО» позволяет выполнять до 100 ударов за смену, что достаточно для проведения ударных испытаний, но крайне мало для ресурсных.

Оценка остаточного ресурса вагонов при продлении срока их службы, ресурсные испытания новых вагонов требует проведение большого числа ударов. Выполнение работ согласно методике испытаний на существующем оборудовании на месяцы увеличивает выполнение работ и приводит к существенному износу оборудования. Все это требует разработки комплекса мероприятий по увеличению производительности испытательного оборудования и снижению динамических нагрузок. При соблюдении всей технологии испытаний и выполнения комплекса работ в рамках отведенного времени требуется производительность стенда ударных испытаний на уровне 400 ударов в сутки. Системный анализ существующего технического оснащения стенда горки показывает, что ее реализованные проектные возможности в этом отношении имеют определенные ограничения, не позволяющие наращивать перерабатывающую способность стенда-горки.

Маршрут подачи испытываемых вагонов на удар проходит через съезд, уложенный навстречу движению вагона-бойка через связующий стрелочный перевод. Это приводит к увеличению длины пробега вагона-бойка, который проходит не только профильный горочный путь, но и дополнительный участок по стрелке и за стрелку до точки удара. Масса вагона-бойка составляет 100 т, полный путь пробега – более 80 м при длине горки 32 м, что является причиной потери кинетической энергии удара и необходимости дополнительного подъема бойка практически до горба горки. Этот маневр удлиняет цикл работы стенда и приводит к увеличению времени между смежными ударами. Решение данной проблемы заключается в изменении маршрута подачи испытываемых вагонов, при этом стрелочный перевод, увеличивающий путь движения бойка до удара, демонтируется, и точка удара оказывается ближе к горке (практически на начале пути с нулевым уклоном).

Подтягивание бойка тросом производится лебедкой с выбором троса, накручиваемого на вал. Это воздействие оказывается достаточно резким, приводящим к возникновению больших нагрузок в раме вагона-бойка и преждевременному выходу его из строя. Кроме того, резкое ударное воздействие, передаваемое от лебедки через трос вагону-бойку, по причине высокой инертности последнего, приводит к потере энергии движения бойка. Данная проблема может быть решена дополнением связи лебедка – трос – боек амортизирующим устройством, помещенным между концом троса и вагоном-бойком.

Удар бойка в испытуемый вагон производится с заданной скоростью и передается далее на вагоны подпора, функция которых заключается в погашении ударного воздействия. Расчётами и опытными испытаниями установлено, что три груженых полувагона общей массой 250 т, колесные пары которых заклиненны восьмью тормозными башмаками, гасят кинетическую энергию удара бойка. Однако практически оказывается, что погашение энергии приводит к незначительному смещению вагонов подпора по вектору ударного воздействия. Через 50–60 соударений вагоны подпора доходят до упора, который также не в полной мере может гасить ударные воздействия. Поэтому периодически требуется подтягивания вагонов подпора на исходные позиции. Эти маневры также оказывают негативное влияние на интенсивность работы ударного стенда. Исключить постоянное подтягивание вагонов подпора можно усилением упора с фиксацией этих вагонов в нем без тормозных башмаков.

Экспертные оценки и предварительные расчеты показывают, что реализация указанных мер позволит обеспечить требуемую интенсивность ударных испытаний в объеме 400 ударов в сутки при безопасном производстве всех работ на испытательном центре.

УДК 629.463.001.18

## **О БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ НА ГАРАНТИЙНЫХ УЧАСТКАХ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ ПРИ ОБСЛУЖИВАНИИ ВАГОНОВ НА ПУНКТАХ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ**

*В. И. СЕНЬКО, Е. П. ГУРСКИЙ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Обеспечение безопасности движения поездов является важнейшей составляющей эффективной работы и развития железнодорожного транспорта. Она достигается путем осуществления на железных дорогах комплекса профилактических мер, включающих кадровую, организационную, технологическую и техническую составляющие. Нарушения безопасности движения в поездной и маневровой работе классифицируются на транспортные происшествия и события, связанные с нарушением правил безопасности движения и эксплуатации железнодорожного транспорта.

В 2016 году количество нарушений безопасности движения на Белорусской железной дороге сократилось по сравнению с 2015 г. с 67 до 60. При этом за предыдущие два года по вине работников Белорусской железной дороги не было допущено транспортных происшествий вообще.

Основными видами событий, связанных с нарушением правил безопасности движения и эксплуатации железнодорожного транспорта, явились случаи:

- повреждения или отказа локомотива, моторвагонного подвижного состава, вызвавшие вынужденную остановку пассажирского поезда на перегоне или промежуточной железнодорожной станции, и дальнейшее движение поезда продолжено с помощью вспомогательного локомотива;
- неисправности технических средств, в результате которых допущена задержка поезда сверх времени, установленного графиком движения, на один час и более;
- столкновения, схода железнодорожного подвижного состава при маневрах, экипировке и других передвижениях;
- отцепки вагона от грузового поезда в пути следования по технической неисправности.

В 2016 г. наибольшее количество нарушений безопасности допущено в локомотивном хозяйстве – 61 % от общего количества; в вагонном хозяйстве количество событий, связанных с нарушением безопасности движения и эксплуатации железнодорожного транспорта, составило 8 %, что на 2 % больше, чем в предыдущем году.

Состояние безопасности движения в 2016 г. по отношению к уровню 2015 г. ухудшено. За 2016 год допущено 4 события, связанные с нарушением безопасности движения и эксплуатацией железнодорожного транспорта. В 2016 г. по вине вагонных депо допущено 158 задержек поездов, в 2015 г. – 166, по вине других железнодорожных администраций – соответственно 220 и 173.

Основные причины нарушений безопасности движения поездов, допущенных в 2016 г., – невысокий уровень трудовой и технологической дисциплины на предприятиях, несовершенство технологических процессов технического обслуживания. Поэтому одной из приоритетных задач и первоочередных мер по улучшению состояния безопасности движения поездов и маневровой работы в

вагонном хозяйстве является повышение качества ремонта и технического обслуживания подвижного состава на ПТО.

Одним из резервов, направленных на повышение эксплуатационной надежности грузовых вагонов, является установление обоснованной протяженности гарантийных участков, на которых должно обеспечиваться безотказное проследование составов. Длина безостановочного движения поездов, учитывая средневзвешенное значение наработки на отказ в целом по вагону [1],

$$l_{\text{опт}} = -T \ln P(l) / m, \quad (1)$$

где  $T$  – наработка на отказ;  $P(l)$  – вероятность безотказного проследования состава по гарантийному участку;  $m$  – среднее число вагонов в составе.

Для обоснования длин гарантийных участков ПТО ст. Минск-Сортировочный в направлениях Орша, Молодечно, Барановичи, Осиповичи собрана статистика о количестве отцепок грузовых вагонов по родам и узлам неисправностей. Установлено, что наиболее отказоопасным, а значит и самым затратным по содержанию и первостепенным по вниманию относительно безопасности движения и сохранности груза является полувагон – 35 %, далее парк крытых вагонов – 21 %, цистерны – 21 % и платформы – 20 % (рисунок 1).

По интенсивности отцепок в текущий неплановый ремонт наиболее отказоопасным узлом является «кузов» (32 % от общего количества отказов – это неисправности крышек люков, петель, запоров, трещины и обрывы сварных швов в заделках стоек, прогибы стоек и верхней обвязки, повреждения обшивки), далее следуют тормозное оборудование (26 % – низкая надежность работы тормозной магистрали, рычажной передачи и воздухораспределителя), тележка (15 % – интенсивный износ трущихся поверхностей рессорного подвешивания, боковой и надрессорной балки), колесные пары (20,5 % – ползуны, навары, неравномерный прокат, износ гребней), автосцепное оборудование (3,5 % – трещины изломы и разрывы литых деталей, износ и повреждения деталей механизма автосцепки) (рисунок 2).

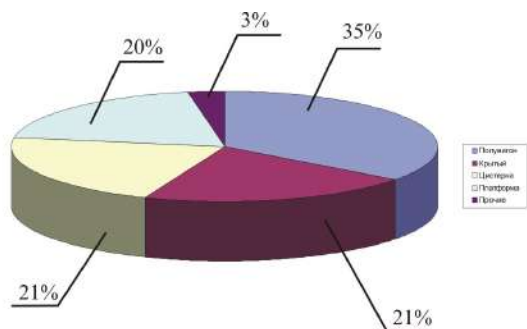


Рисунок 1 – Отцепки по роду вагонов

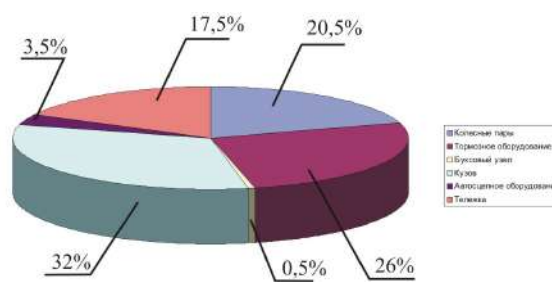


Рисунок 2 – Отцепки по узлу неисправности

На основании статистических данных определены и исследованы показатели, характеризующие эксплуатационную надежность грузовых вагонов на гарантийном участке [2]:

– параметр потока отказов вагонов,  $1/\text{ваг}\cdot\text{км}$ ,

$$\omega_0 = \frac{n_0}{Nml}, \quad (2)$$

где  $n_0$  – число отказов, возникших за суммарный пробег в течение времени  $t$ ;  $N$  – число проследовавших по участку поездов за время  $t$ ;  $m$  – среднее число вагонов в поезде;  $l$  – длина гарантийного участка, км;

– наработка на отказ,  $\text{ваг}\cdot\text{км}$ ,

$$T = \frac{Nml}{n_0}; \quad (3)$$

– вероятность безотказного проследования поезда по участку

$$P(l) = e^{-ml/T}. \quad (4)$$

Проведенные исследования позволили получить расчетные значения случайной величины «наработка на отказ» и длины гарантийных участков по условию обеспечения требуемого уровня надежности. Результаты расчета представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты расчёта длины гарантийных участков

Узел вагона	Квантиль $T_{расч}, P_{дов} = 0,95$	$l_{опт}, \text{КМ}$
Тележка	383317	271
Кузов	314336	223
Тормозное оборудование	385738	273
Колёсная пара	339025	240
Автосцепное устройство	390814	276

Таким образом, при задании условия обеспечения вероятности безотказного проследования составов  $P(l) = 0,95$  гарантийные участки обеспечены эксплуатационной надежностью по каждому рассматриваемому узлу. При этом наибольшей неопределенностью на гарантийном участке обладает надежность кузова, затем – колёсные пары, тележка, тормозное оборудование и автосцепное устройство. Поэтому для обеспечения высокой надежности на участках необходимо уделить первостепенное внимание техническому состоянию узлов в соответствии с установленным ранжированием.

Проведение исследований по каждому гарантийному участку полигона железной дороги позволят классифицировать участки по отказоопасности, усовершенствовать территориальную схему размещения пунктов технического обслуживания, технологические процессы технического обслуживания вагонов, сократить количество отказов и тем самым повысить безопасность движения.

#### Список литературы

- 1 Сенько, В. И. Эксплуатационная надежность грузовых вагонов на гарантийных участках железной дороги / В. И. Сенько, Е. П. Гурский // Механика машин, механизмов и материалов: международный научно-технический журнал. – 2009. – № 2 (7). – С. 76–79.
- 2 Планирование работы вагонного хозяйства с использованием методов математического моделирования : учеб. пособие / В. И. Сенько [и др.]. – Гомель : БелГУТ, 2012. – 276 с.

УДК 629.4.014.76.004.67

## О ПЛАНИРОВАНИИ МОЩНОСТИ ВАГОНРЕМОНТНОЙ БАЗЫ

*В. И. СЕНЬКО, Е. П. ГУРСКИЙ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Основные задачи вагонного хозяйства сводятся к поддержанию грузовых и пассажирских вагонов в работоспособном состоянии, обеспечению качественного и своевременного установленного плана ремонта вагонов, рациональному использованию имеющихся технических средств, достижению наибольшей эффективности работы предприятий.

В 2016 г. вагонными депо Белорусской железной дороги отремонтировано плановыми видами ремонта порядка 19000 грузовых вагонов, в том числе 55 % вагонов инвентарного парка Белорусской железной дороги и вагонов, принадлежащих ее организациям, и 45 % вагонов – по договорам для сторонних предприятий Республики Беларусь и стран СНГ и Балтии. Благодаря экономному и рациональному использованию материальных ресурсов, а также использованию в ремонте запчастей, демонтированных с исключенных из инвентарного парка вагонов, удельный вес которых в общих расходах на материалы составляет примерно 30 %, достигнуто снижение себестоимости плановых видов ремонтов. Это позволило в пределах установленного лимита финансирования ввести в эксплуатацию дополнительное количество вагонов, простаивающих в ожидании ремонта. При этом загрузка производственных мощностей депо имела ощутимый резерв.

Решение вопросов, связанных с максимальной загрузкой и оптимальным вариантом развития вагоноремонтной базы для обеспечения качественного и своевременного ремонта вагонов с минимальными затратами напрямую определяются обоснованием перспективной потребности в ремонтах инвентарного парка, которая зависит от принятых межремонтных сроков, возрастного состава и численности инвен-



тарного парка вагонов. Наиболее точным методом определения потребности во всех видах ремонта является непосредственное установление даты поступления каждого вагона в ремонт в планируемом году на основе автоматизированной обработки паспортов вагонов. Зная дату проведения последнего ремонта и межремонтные сроки, можно определить, когда и какой вид ремонта ожидает вагон в следующий раз и подсчитать потребность в ремонте в целом по инвентарному парку по каждому типу вагонов. Однако достаточно эффективно этот метод можно применять в условиях планово-предупредительной системы технического обслуживания и ремонта вагонов (СТОИРВ) по критерию календарной продолжительности эксплуатации. На железных дорогах постсоветского пространства в течение всего исторического периода развития железнодорожного транспорта в основе СТОИРВ применялся данный критерий, согласно которому каждый вагон подлежал плановому виду ремонта через определенный интервал времени, исчисляемый от даты постройки или его последнего планового ремонта. Достоинство такого критерия – возможность обеспечения кратности нормативного срока службы и длительности межремонтных периодов вагона и, как следствие, простота и высокая достоверность прогнозирования вывода вагонов в ремонт, потребности их в обеспечении трудовыми, материальными и финансовыми ресурсами, что значительно упрощает планирование. При такой системе по каждому роду вагона определялись доли из них, которые ежегодно должны были пройти ремонт. В условиях ежегодного проведения планового деповского ремонта рассчитать суммарную ремонтную потребность несложно. Недостатком является вывод единичного вагона в ремонт независимо от выполненного им объема работы и без учета уровня обеспечения его сохранности при производстве погрузочно-разгрузочных и маневровых работ. В условиях жестко нормированного планового хозяйства все вагоны за равный промежуток времени выполняли примерно одинаковый уровень физического износа (техническое состояние) на стадии вывода в ремонт. Однако с переходом к рыночным отношениям этот недостаток становится существенным вследствие нарушения стабильности использования вагонного парка во времени в перевозочном процессе. При таком положении физический износ вагонов при выводе в ремонт различен и колеблется в больших пределах, что влечет за собой подачу части вагонов в ремонт с недоиспользованным техническим ресурсом и, как следствие, необоснованные ремонтные затраты. Другая часть вагонов выводится в ремонт с повышенной степенью физического износа, устранение которого требует в лучшем случае дополнительных затрат, а в худшем может привести к авариям и крушениям.

В конце 90-х годов XX в. было принято решение о разработке и внедрении на сети дорог СНГ принципиально новой системы технического обслуживания и ремонта грузовых вагонов с учетом фактически выполненного объема работ. После глубокого анализа и всесторонних обсуждений принципов построения системы было решено сохранить календарные сроки капитального ремонта. В отношении нормативов деповского ремонта был применен комбинированный критерий, ограничивающий эксплуатацию вагонов объемом выполненной работы и предельно допустимым сроком эксплуатации между плановыми ремонтами, при этом вагон должен выводиться в ремонт при выработке любого из двух нормативов. Для оценки критерия объема выполненной работы намечено использовать выраженный в километрах общий (груженный плюс порожний) пробег при использовании вагона по прямому назначению. Выбор этого критерия объясняется тем, что на момент начала разработки системы получение этого показателя на всех уровнях управления вагонным хозяйством было наиболее доступно. И в настоящее время в Республике Беларусь действует планово-предупредительная дифференцированная система ремонта, согласно которой регламентированы следующие сроки проведения деповского ремонта:

- при достижении 100 тыс. км общего (груженный плюс порожний) пробега, но не позднее чем через 2–3 года (в зависимости от рода и типа вагона) эксплуатации после производства деповского ремонта;

- при достижении 160 тыс. км общего (груженный плюс порожний) пробега, но не позднее чем через 2–3 года (в зависимости от рода и типа вагона) эксплуатации после производства капитального ремонта;

- через 210 тыс. км общего (груженный плюс порожний) пробега, но не позднее чем через 3 года эксплуатации после постройки и капитального ремонта с продлением нормативного срока службы.

При таких условиях существенно усложняется планирование потребности в ремонтах и действующие методики расчета [1] оказываются неэффективными.

Суть предлагаемой методики заключается в следующем. Для расчета потребности в ремонте грузовых вагонов, которая определяется принятыми межремонтными критериями, возрастным составом и численностью инвентарного парка вагонов, применяются следующие зависимости [3, 4]:

$$N_{\text{деп.}i} = N_i z_{\text{деп.}i}; \quad (1)$$

$$N_{\text{кап.}i} = N_i z_{\text{кап.}i}, \quad (2)$$

где  $N_i$  – инвентарный парк вагонов;  $z_{\text{деп.}i}$ ,  $z_{\text{кап.}i}$  – коэффициент потребности вагонов инвентарного парка в деповском и капитальном ремонтах соответственно.

Коэффициенты потребности в деповском и капитальном ремонтах определяются по следующим зависимостям:

$$z_{\text{деп.}i} = \frac{D_k S_{\text{ср.}i}}{[nl]_i}; \quad (3)$$

$$z_{\text{кап.}i} = \frac{\alpha_{i-1}}{T_{\text{сл}}} + \frac{\gamma_i}{T_{\text{сл}}}, \quad (4)$$

где  $D_k$  – число календарных дней в году;  $S_{\text{ср.}i}$  – среднесуточный пробег  $i$ -го типа вагона, км,  $[nl]_i$  – нормативный межремонтный пробег  $i$ -го типа вагонов, км;  $\alpha_i$  – общее количество межремонтных циклов за период, равный сроку службы вагона  $i$ -го типа;  $\gamma_i$  – доля вагонов  $i$ -го типа со сверхназначенным сроком службы;  $T_{\text{сл}}$  – нормативный срок службы вагона  $i$ -го типа.

Тогда зависимость (1), с учетом того, что межремонтный норматив определяется не только пробегом, но и календарной продолжительностью, можно записать так:

$$N_{\text{деп.}i} = N_i \frac{D_k S_{\text{ср.}i}}{[nl]_i} K_i, \quad (5)$$

где  $K_i$  – коэффициент, учитывающий ненаработку  $i$ -типа вагонов,  $K_i > 1$ .

Экономико-математические методы расчета позволили установить коэффициенты, обосновать потребность в выполнении деповского и капитального ремонта вагонов инвентарного парка и рассчитать производственная мощность вагоноремонтной базы:

$$\sum_{i=1}^n M_{\text{вчд}} = (N_{\text{деп.}i} + N_{\text{кр.}i}) \varphi, \quad (7)$$

где  $\varphi$  – коэффициент, учитывающий наличие (резерв) производственной мощности.

Полученные результаты научных исследований имеют практическую значимость при решении вопросов, связанных с эффективностью выделяемых средств на выполнение плановых видов ремонта вагонов и планированием расходов на развитие вагоноремонтной базы, что обеспечивает качественное и своевременное проведение ремонта и в целом ведет к повышению эффективности работы вагонного хозяйства.

#### Список литературы

1 **Гридюшко, В. И.** Вагонное хозяйство: учеб. пособие для вузов / В. И. Гридюшко, В. П. Бугаев, Н. З. Криворучко. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1988. – 295 с.

3 **Сенько, В. И.** Информационные модели в управлении вагонными парками: [монография] / В. И. Сенько, Е. П. Гурский. – Гомель: БелГУТ, 2010. – 296 с.

УДК 621.869.88 : 629.463.3

## МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАСЧЕТА ТАНК-КОНТЕЙНЕРОВ С УЧЕТОМ РЕАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ НАГРУЖЕНИЯ В ЭКСПЛУАТАЦИИ

*В. И. СЕНЬКО, С. В. МАКЕЕВ, П. М. БУЙЛЕНКОВ*  
*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Танк-контейнеры (контейнеры-цистерны) являются интермодальными транспортными единицами, то есть не требующими осуществления перегрузки продукции на специальных терминалах

при смене вида транспортировки (морской, железнодорожной, автомобильной). Подобная универсальность повышает рентабельность перевозок – задействовано меньшее количество логистических операций, а следовательно, и меньшая величина тарифов за перевозку.

Учитывая свою универсальность, конструкции танк-контейнеров по прочности должны выдерживать нагрузки, возникающие при эксплуатации на железнодорожном, морском и автомобильном транспорте. Каждый танк-контейнер для допуска к эксплуатации должен получить сертификат соответствия требованиям безопасности Российского морского регистра судоходства согласно нормативным документам.

Помимо статических испытаний новые контейнера подвергаются динамическим испытаниям на стенде-горке с построением кривой спектра ударного отклика (СУО). Методика ударных испытаний регламентирует установку загруженного танк-контейнера на платформу, при этом ограничиваются перемещения танк-контейнера во всех направлениях и минимизируются зазоры между фитинговыми упорами и фитингами. Оценка прочности контейнера проводят при помощи двух акселерометров, сигнал от которых служит данными для построения кривой СУО. Сила удара считается достаточной, если кривая спектра ударного отклика, полученная при испытаниях, будет превышать минимальную кривую спектра ударного отклика на всех частотах от 3 до 100 Гц. Обычно положительный результат достигается после проведения нескольких ударов. При этом должны отсутствовать остаточные деформации или повреждения.

Этот подход к оценке прочности танк-контейнера разнится с тем подходом, который реализует расчетчик, когда оценивает прочность конструкции по напряжениям. При этом задание граничных условий в рассчитываемой модели осуществляется согласно нормативным документам Российского морского регистра судоходства и не учитываются режимы эксплуатации железнодорожного транспорта.

Наиболее жесткий и экстремальный по нагрузкам режим эксплуатации контейнера-цистерны является спуск вагонов с сортировочных горок. В этом случае, согласно [1], продольная нагрузка, приходящаяся в автосцепку вагона с закрепленным на нем танк-контейнером, может достигать 3,5 МН.

Целью данной статьи была оценка прочности прототипа танк-контейнера и изменения напряжений по опасным зонам при различных эксплуатационных режимах, основываясь на результатах расчета конечно-элементной модели и проведения натурного эксперимента.

Опыт испытательного центра железнодорожного транспорта «СЕКО» проведения работ по испытаниям грузовых танк-контейнеров показывает, что в ходе проведения ударных испытаний из-за сочетания особенностей конструкции фитинговых упоров и продольных нагрузок большой величины происходит их износ. Отсутствие жесткого закрепления контейнера на платформе, наличие зазора между фитингом танк-контейнера и фитинговым упором на вагоне, а также износом в эксплуатации самих фитинговых упоров приводит к тому, что при соударении вагонов контейнер воспринимает ударную нагрузку не всегда одинаково. То есть нагрузка при ударе передается не на все четыре фитинга одинаково, как моделируют расчетчики. Наблюдается значительное подпрыгивания контейнера сразу после удара. При этом подпрыгивать могут как передние, так и задние фитинги. Часто нагрузку от удара воспринимают только диагональные фитинги или фитинги с одной стороны контейнера.

В таблице 1 приведены сочетания нагрузок и граничных условий при расчете танк-контейнера, учитывающие поведение его при ударе.

Таблица 1 – Сочетания нагрузок и граничных условий при расчете танк-контейнера модели Т11

	Вариант расчета				
	1	2	3	4	5
Поперечные связи	Во всех нижних фитингах				
Вертикальные связи					
Продольные связи	В двух нижних фитингах с ударной стороны	В двух нижних фитингах с ударной стороны	Во всех нижних фитингах	В двух нижних фитингах по диагонали танк-контейнера	
Продольная нагрузка	–	В двух нижних фитингах с ударной стороны	–	–	

В рамках проводимой на полигоне ИЦ ЖТ «СЕКО» работы произведены натурные испытания с целью анализа поведения танк-контейнера на платформе при ударе. Для регистрации напряжений, возникающих в конструкции, танк-контейнер оборудовался тензорезисторами. Согласно скриншо-

там видеозаписи с высокой частотой кадров, в момент удара контейнера-цистерны фитинги с ударной стороны приподнимаются над площадкой фитингового упора, при этом вся нагрузка передается на дальние фитинги.

Проведенная серия расчетов конечно-элементной модели контейнера-цистерны с различными вариантами нагрузок и закрепления, а также натурный эксперимент показали, что возникающие напряжения в элементах рамы в одном и том же месте могут меняться на величину 50 %. Поэтому на стадии проектирования, при оценке прочности танк-контейнеров необходимо проводить серию расчетов с различными вариантами граничных условий и нагрузок.

При ударе контейнер ведет себя по-разному на платформе, что ведет к перераспределению напряжений в конструкции контейнера. При проведении прочностных расчетов на стадии проектирования необходимо это учитывать.

УДК 625.143

## **ОСОБЕННОСТИ СЕРТИФИКАЦИОННЫХ ИСПЫТАНИЙ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС ПОДВИЖНОГО СОСТАВА**

*В. И. СЕНЬКО, С. В. МАКЕЕВ, В. В. КОМИССАРОВ, ЛЮ ПИН, У СЯОЛУ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

*Датунский локомотивостроительный завод,*

*Производственное унитарное предприятие «Куэк-Дтлоко», Китайская Народная Республика*

Одним из основных механизмов обеспечения безопасности и повышения качества производимой железнодорожной продукции на территории Таможенного союза является система технических регламентов, которые содержат обязательные для применения и исполнения требования к создаваемой (в том числе модернизируемой) продукции. Такая система, с учетом постоянно обновляемой нормативной базы и создаваемой инновационной продукции, требует постоянного совершенствования применяемых методик испытаний и подходов в практике подтверждения соответствия объектов железнодорожного транспорта.

В настоящее время Белорусская железная дорога обновляет парк электровозов китайского производства тип БКГ. В рамках проводимых работ по сертификации данной продукции возникла необходимость оценки надежности зубчатых колес привода первого уровня БКГ-2. Известно (в том числе и в соответствии с требованиями ГОСТ 30803–2014), что основными видами разрушения зубчатых колес является усталостный излом зубьев, происходящий у основания ножки зуба, и усталостное выкрашивание рабочей поверхности зуба. При перегрузках возможно развитие пластических деформаций и излом зубьев. При неудовлетворительных условиях смазки возможно развитие заедания. В связи с этим для зубчатых колес на практике используются два основных метода испытаний: на усталостный изгиб зубьев и на контактную выносливость их рабочих поверхностей.

Усталостные испытания зубьев на изгиб позволяют оценить влияние конструктивных особенностей, материала, характера термообработки и упрочнения поверхности на предел выносливости и (или) долговечность зубчатых колес. В конечном итоге это позволяет обнаружить причины преждевременного разрушения.

В соответствии с п. 4.15 ГОСТ 30803–2014 критерием предельного состояния по контактной выносливости колеса принимается износ его зубьев, характеризуемый степенью уменьшения толщины зуба не более 0,3 модуля. Поэтому несмотря на большую распространенность в эксплуатации контактного выкрашивания поверхностей и изменения формы зубьев это не приводит к внезапным отказам в их работе. Главная опасность состоит в изломе зубьев, так как в результате происходит моментальный отказ, что может вызвать большие сбои графика движения поездов, а также привести к перекрытию целой железнодорожной магистрали.

Определение долговечности зубчатых передач обычно осуществляется на нагрузочных стендах с замкнутым и разомкнутым энергетическим контуром. В этом случае испытанию подвергается в целом зубчатая передача или редуктор, что требует дорогостоящего и нестандартного оборудования и значительных затрат времени и средств на испытания. Так как в реальных условиях эксплуатации нагрузка, испытываемая зубьями при работе зубчатой передачи, изменяется от нуля до мак-

сумма на знакопостоянном циклу, то испытания на усталостный изгиб удобнее выполнять на гидравлических машинах пульсаторного типа.

Для реализации такого рода испытаний разработана специальная технологическая оснастка, обеспечивающая жесткое закрепление зубчатого колеса и сохранение его в течение всего испытания в неподвижном состоянии, а нагружение осуществлялось на сервогидравлической машине с частотой 7 Гц. В результате через нагружающую головку и противоположную опорную головку (опертую на основание) повторно-переменная нагрузка исполнительного механизма передается на испытываемые зубья испытываемой шестерни (при этом вал технологической оснастки не нагружен).

В соответствии с требованиями ГОСТ 30803–2014 зубчатое колесо по критерию изгибной усталости без разрушения должно выдержать 4 миллиона циклов, а испытания должны проводиться по ГОСТ 25.507–85, который регламентирует, чтобы при испытаниях максимально должны были смоделированы условия реальной эксплуатации. В результате проведенных исследований для ведомых шестерен БКГ-2 была получена характерная циклограмма, т. е. график изменения вращающего момента во времени в условиях реальной эксплуатации. Было установлено, что каждый блок нагружения можно разделить на три ступени: запуск – 5 %, движение с постоянной скоростью – 80 %, движение с высокой скоростью – 15 %. Исходя из требуемой продолжительности испытаний принята диаграмма циклического блочного нагружения, состоящая из 15 блоков длительностью 266 670 циклов каждый (рисунок 1).

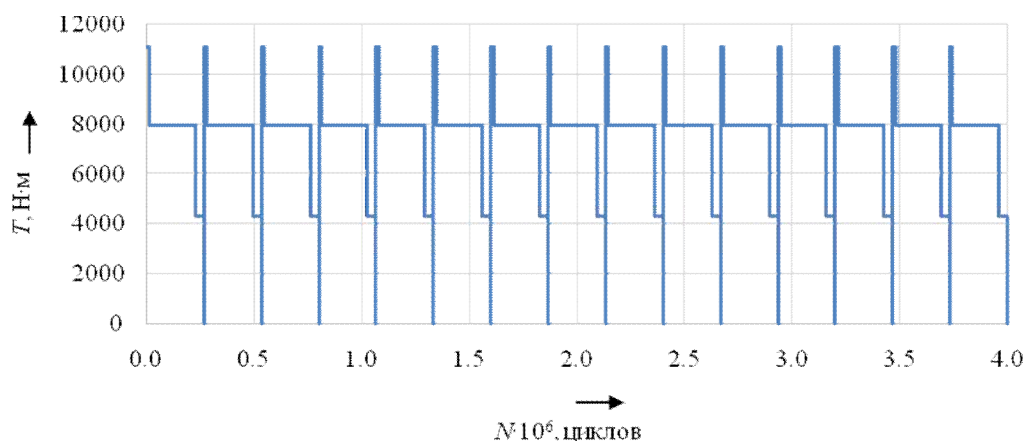


Рисунок 1 – Диаграмма циклического нагружения при испытаниях на изгибную усталость (15 блоков)

Расчетная окружная сила рассчитывалась по методике ГОСТ 21354-87 и соответствовала для пусковой нагрузки 128,9 кН, для движения с постоянной скоростью – 92,1 кН, для движения с высокой скоростью – 50 кН. После проведения испытаний в течение 4 миллионов циклов разрушение зубьев шестерни не произошло и трещин в области переходной кривой не обнаружено.

В результате проведенной работы применительно к зубчатым колесам электровозов серии БКГ-2 была получена диаграмма циклического нагружения. Считаем, что данную работу также целесообразно провести и для оценки нагруженности зубчатых колес в условиях Белорусской железной дороги. В целом использование предлагаемой методики испытаний позволит сократить длительность испытаний зубьев колес на изгибную усталость и снизить затраты на реализацию таких испытаний.

УДК 629.45

## ПЕРСПЕКТИВНЫЙ МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ИЗГИБНЫХ КОЛЕБАНИЙ КУЗОВОВ ПАССАЖИРСКИХ ВАГОНОВ

*А. Н. СКАЧКОВ, С. А. ДЕМЕНТЬЕВ, И. А. ДЕМЕНТЬЕВ, С. Л. САМОШКИН*  
ЗАО Научная организация «Тверской институт вагоностроения», Российская Федерация

Характеристики свободных затухающих колебаний кузова вагона (собственные частоты и коэффициент демпфирования – затухания) полностью определяют индивидуальные свойства динами-

ческой системы и имеют основное значение при анализе ее вынужденных колебаний [1, 2]. Для оценки частотных характеристик кузова вагона проводят стендовые динамические испытания. В этом случае посредством специального испытательного оборудования на кузов вагона оказывается воздействие с целью возбуждения колебаний с необходимыми частотой и амплитудой, что позволяет экспериментально определить собственные частоты колебаний и скорость их затухания [3, 4].

В настоящее время существует несколько методов по определению параметров изгибных колебаний кузовов вагонов. Каждый из них имеет ряд недостатков. При использовании вибромашины в оборудованном вагоне высока вероятность повреждения отделки, а также ограниченность ее установки в тамбуре. При сбросе груза также существует вероятность повреждения отделки и элементов кузова, при сбросе с клиньев – трудность выделения показателей жесткости кузова и ходовых частей.

Предлагаемый метод основывается на создании возмущающих колебаний с помощью гидроцилиндров, установленных под опорными поверхностями кузова или под буксовые узлы колесных пар. Схема установки представлена на рисунке 1. Насосный агрегат подает гидравлическую жидкость через управляющую аппаратуру (пропорциональный гидрораспределитель) на гидроцилиндры одностороннего действия. Количество гидроцилиндров и места их установки зависят от поставленной задачи. Пример установки гидроцилиндров представлен на рисунке 2.

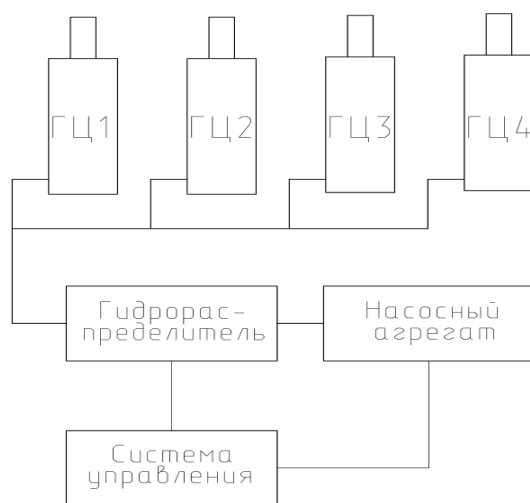


Рисунок 1 – Схема установки с четырьмя гидроцилиндрами для воздействия на кузов вагона

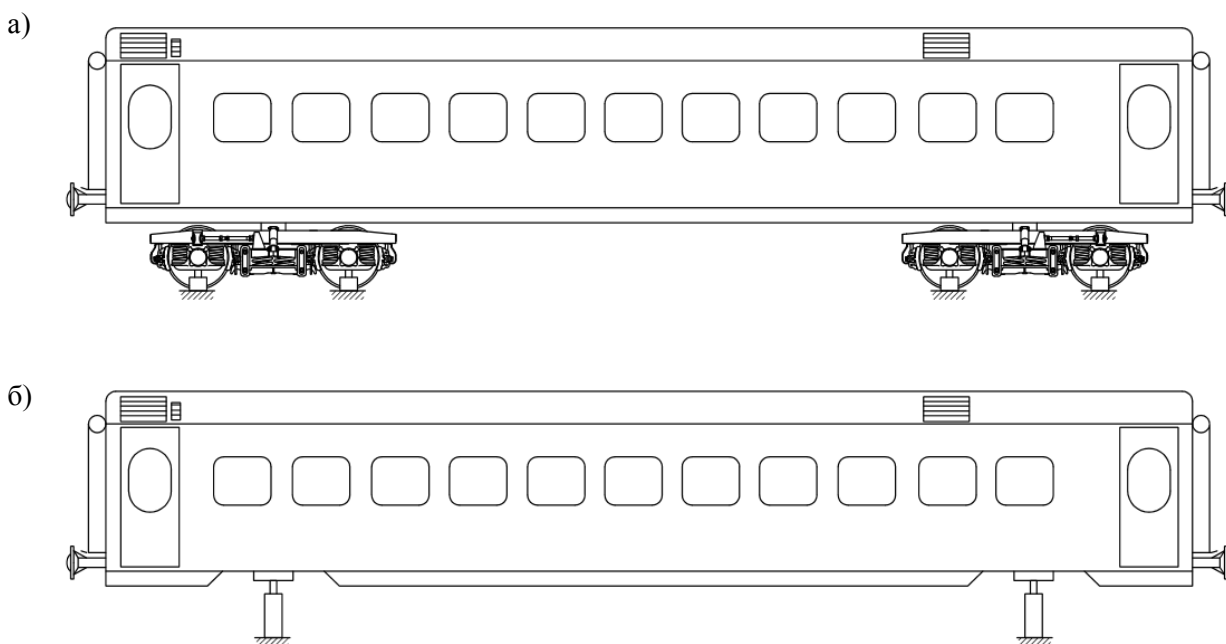


Рисунок 2 – Схемы установки гидроцилиндров:  
а – под буксовые узлы; б – под кузов вагона

Гидрораспределитель, оснащенный блоком электронного управления, связан с системой, которая позволяет регулировать как амплитуду, так и частоту вынужденных колебаний штоков гидроцилиндров. При этом рабочее давление в гидросистеме составляет 20 МПа, что позволяет развивать усилия до 200 кН (20 т) в зависимости от типоразмера гидроцилиндров. Частоту возмущающих колебаний гидроцилиндров возможно регулировать в диапазоне от 0 до 20 Гц.

При использовании данной системы возможно исследование как металлоконструкции кузова отдельно от экипажной части вагона, так и снаряженного кузова совместно с ходовыми частями, при этом повреждение внутренней отделки и элементов кузова сводится к минимуму.

#### Список использованных источников

- 1 Соколов, М. М. Контроль динамики железнодорожного подвижного состава / М. М. Соколов, А. В. Третьяков, И. Г. Морчиладзе – М. : ИБС – Холдинг, 2007. – 358 с.
- 2 Пановко, Я. Г. Основы прикладной теории колебаний и удара / Я. Г. Пановко. – Л. : Политехника, 1990. – 272 с.
- 3 Вагоны. Проектирование, устройство и методы испытаний / под ред. Л. Д. Кузьмича. – М. : Машиностроение, 1978. – 376 с.
- 4 Конструирование и расчет вагонов : учеб. / В. В. Лукин [и др.]; под ред. П. С. Анисимова. – 2-е изд. перераб. и доп. – М. : ФГОУ «Учеб.-метод. центр по образованию на ж.-д. трансп.», 2011. – 688 с.

УДК 629.45

### АНАЛИЗ МЕТОДОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ИЗГИБНЫХ КОЛЕБАНИЙ КУЗОВОВ ПАССАЖИРСКИХ ВАГОНОВ

*А. Н. СКАЧКОВ, С. Л. САМОШКИН, С. А. ДЕМЕНТЬЕВ*

*ЗАО Научная организация «Тверской институт вагоностроения», Российская Федерация*

Для оценки соответствия пассажирских вагонов требованиям нормативных документов впервые введен показатель, характеризующий изгибные колебания кузова вагона, – «первая собственная частота изгибных колебаний в вертикальной плоскости при максимальной загрузке вагона» [1, 2].

Для определения указанного показателя испытания проводят на полностью оборудованном вагоне, установленном на штатных тележках, после его загрузки мерным грузом, имитирующим вес пассажиров при максимальной населенности. Следует отметить, что в случае получения отрицательного результата по указанному показателю испытания прекращаются и проводится комплекс мероприятий (ремонтных, технологических, расчетно-экспериментальных) по устранению причин этого результата. Проведение таких мероприятий может быть весьма длительным и дорогостоящим [3].

В связи с этим рекомендуется разработка метода управления параметрами изгибных колебаний кузовов пассажирских вагонов, охватывающего все этапы их создания [4]. В этом случае при проведении испытаний способ возбуждения собственных частот колебаний должен быть единым для кузовов вагонов в разной их комплектации. Наиболее часто применяют следующие способы возбуждения: за счет вибратора проведением опыта «сброса с клиньев», реализацией удара по кузову по типу испытаний на соударение, вертикального удара по полу и т. д. [5].

Способ возбуждения собственных частот колебаний с применением вибратора является наиболее распространенным. Однако установка вибромашин в полностью оборудованном кузове возможна только в тамбуре, но и в этом случае приходится повреждать пол.

Рассматривая способ «сбрасывания с клиньев», можно отметить его сравнительную безопасность для вагона. Однако этот способ можно применять только при установке вагона на штатных тележках. Кроме того, выделить степень влияния изгибной жесткости кузова и жесткости параметров ходовых частей на экспериментальное значение частоты практически невозможно.

Способ нанесения удара по типу испытаний на соударения, выполняемого с подпором испытуемого вагона, широкого распространения не получил. Он, как и способ «сбрасывания с клиньев», применим только для оборудованного вагона и установленного на штатных тележках. Кроме того, получаемые экспериментальные значения частот уже являются производными трех показателей, так как к ним добавляются упругие характеристики поглощающих аппаратов трех сцепленных вагонов при ударе.

Способ «вертикального удара» наименее затратный. Однако для оборудованного вагона возникает сложность нахождения симметричной (как по длине, так и по ширине кузова вагона) точки нанесения удара, вызванная расположением внутреннего оборудования и мерного груза, имитирующего вес пассажиров и обслуживающего персонала. Кроме того, велика вероятность повреждения пола или другого внутреннего оборудования.

Однако, учитывая, что способ «вертикального удара» наименее затратный, целесообразно провести исследования по его совершенствованию. Эти исследования целесообразно выполнить по двум направлениям:

- с целью повышения энергии воздействия рассмотреть возможность увеличения массы груза и высоты его подъема;
- с целью исключения возможности повреждения мебели внутреннего оборудования рассмотреть возможность вынесения точки нанесения воздействия массы груза на наружную поверхность рамы кузова вагона.

Как видно из краткого обзора, все рассмотренные способы возбуждения собственных частот находят применение на практике, но имеют как свои положительные стороны, так и отрицательные. При разработке нового метода необходимо учитывать следующие требования:

- минимизация или полное исключение повреждений пола, внутреннего и подвагонного оборудования;
- унификация способа возбуждения собственных частот колебаний кузовов пассажирских вагонов в разных стадиях комплектации;
- возможность многократного и подконтрольного воздействия на кузов вагона с высокой степенью точности контроля параметров этого воздействия.

#### Список использованных источников

- 1 **ТР ТС 001/2011.** Технический регламент Таможенного союза «О безопасности железнодорожного подвижного состава». – Минск : БелГИИС–2012. – 46 с.
- 2 **ГОСТ 55182–2012.** Вагоны пассажирские локомотивной тяги. Общие технические требования. – М. : Стандартинформ. – 2013. – 24 с.
- 3 Исследование вибрации пассажирских вагонов с открытым салоном / А. Н. Скачков [и др.] // Материалы VI Всероссийской научно-практической конференции «Проблемы и перспективы развития вагоностроения». – Брянск : БГТУ, 2014. – С. 96–98.
- 4 **Скачков, А. Н.** Влияние снижения массы кузовов вагонов на их изгибную жесткость и параметры изгибных колебаний / А. Н. Скачков, С. Л. Самошкин, С. Д. Коршунов // Материалы XII Международной научно-технической конференции «Подвижной состав XXI века: Идеи, требования, проекты». – СПб. : ПГУПС, 2017. – С. 88–90.
- 5 **НБ ЖТ ЦТ 03-98.** Электропоезда. Нормы безопасности. Приложение № 15 к Приказу Минтранса России от 11 февраля 2009 г. № 22.

УДК 629.4.017

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПРОДОЛЬНОГО СМЕЩЕНИЯ СЫПУЧЕГО ГРУЗА НА ПОКАЗАТЕЛИ ДИНАМИКИ ПОЛУВАГОНА

*А. И. СОКОЛОВСКИЙ, Е. В. ОНУЧИН, А. В. ПУТЯТО*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

К одному из наиболее интенсивно эксплуатируемых типов грузовых вагонов относятся полувагоны, предназначенные преимущественно для перевозки насыпных и навалочных грузов. Кузов универсального полувагона представляет собой «коробку» с открытым верхом, ограниченную боковыми и торцевыми стенами (либо дверьми), а также полом (глухим или в виде разгрузочных люков), расположенным на раме вагона. Номенклатура перевозимых сыпучих грузов достаточно широка и, соответственно, их характеристики (угол внутреннего трения, плотность, когезия и т.п.) существенно различаются. В процессе транспортировки при воздействии широкого спектра продольных нагрузок, в том числе при роспуске с сортировочных горок, могут возникать существенные перемещения перевозимого груза, что, в свою очередь, приводит к смещению общего центра масс вагона в продольном направлении и перераспределению осевых нагрузок. Основные показатели безопасности движения вагона в этом случае также могут существенно измениться. Целью рабо-



ты является оценка влияния продольного смещения сыпучего груза в полувагоне на коэффициент устойчивости колеса от схода с рельсов.

Для решения поставленной задачи в программном комплексе «Универсальный механизм» на основе имеющихся базовых моделей разработаны компьютерные модели 4-осного полувагона на тележках модели 18-100 с различными положениями сыпучего груза. В качестве груза принят материал с плотностью  $1300 \text{ кг/м}^3$ , вагон заполнялся в объеме, эквивалентном 70 тоннам груза. На рисунке 1 приведена компьютерная модель полувагона и сыпучего груза при его максимальном смещении (смещение центра масс в продольном направлении составило 1,5 м).

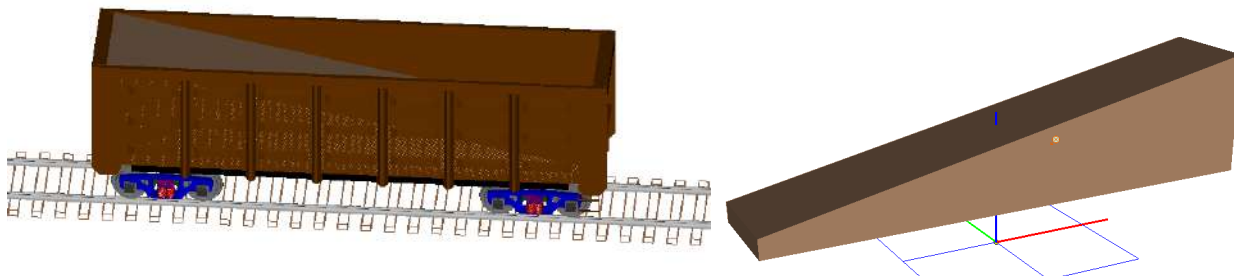


Рисунок 1 – Компьютерная модель полувагона и положение сыпучего груза при смещении

Выполнены расчеты коэффициентов устойчивости колес вагона от схода с рельсов при его движении по S-образной кривой радиусом 300 м с различными скоростями при наличии смещения груза в продольном направлении и при его отсутствии. На рисунке 2 приведены результаты оценки влияния продольного смещения груза на значение коэффициента устойчивости колеса вагона от схода с рельсов при различных скоростях его движения.

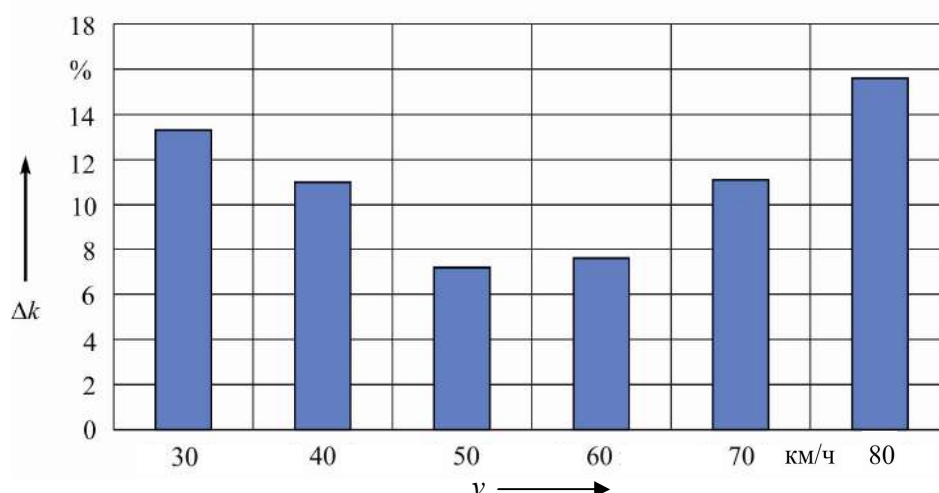


Рисунок 2 – Снижение коэффициента устойчивости колеса вагона от схода с рельсов при продольном смещении центра масс сыпучего груза на 1,5 м для различных скоростей движения

Из приведенной диаграммы видно, что степень влияния продольного смещения груза на рассмотренный показатель динамики при различных скоростях движения вагона отличается. Так? при движении со скоростями 30–40 км/ч для рассматриваемой макрогеометрии пути снижение коэффициента составило 11–13 %, в то же время при увеличении скорости движения до 60 км/ч наблюдается улучшение динамических качеств. Наиболее неблагоприятным из рассмотренных режимов движения является движение со скоростью 80 км/ч, при которой в случае смещения сыпучего груза коэффициент запаса устойчивости колеса от схода с рельсов снизился на 15,6 %.

Следует отметить, что приведенные результаты расчетов получены без учета возможных отклонений размеров профилей колес, рельсового пути, элементов конструкции вагона, имеющих место в эксплуатации. Комплексный анализ влияния возможного смещения груза, в том числе и в поперечной плоскости, с учетом вариации конструктивных размеров элементов вагона и пути, а также при наличии различного рода дефектов, позволит методами компьютерного моделирования выявить опасные с точки зрения динамики железнодорожного подвижного состава режимы движения.

## ОСОБЕННОСТИ КОНТРОЛЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

*Е. В. СОРОКИНА, К. П. ГУРЬЯНОВ*

*ЗАО Научная организация «Тверской институт вагоностроения», Российская Федерация*

Ходовые части являются одним из важнейших узлов вагонов, от их конструкции, прочности и надежности зависят безопасность и скорости движения. По технологии изготовления тележки имеют многочисленные конструктивные варианты и изготавливаются с литыми, штампованными, штампосварными или сварными боковыми рамами, наддресорными и соединительными балками. Современная экономическая ситуация стимулирует производителей искать альтернативу традиционным литым основным несущим элементам тележек грузовых вагонов (боковым рамам и наддресорным балкам). Одним из направлений совершенствования тележек является изготовление указанных деталей по технологии сварки с использованием листового проката. Применение сварных конструкций позволяет уменьшить толщину стенок, что значительно снижает массу тележки.

Качество сварных швов в решающей степени определяет функциональную надежность конструкции, поэтому сварное соединение подвергается тщательному контролю разрушающим (определение механических свойств) и неразрушающим (ультразвуковое исследование) методами. Подготовленные к ультразвуковому исследованию контактные поверхности непосредственно перед контролем покрываются слоем контактной жидкости (смазки). Сканирование производится по всей длине шва путем последовательного перемещения преобразователя по поверхности сваренных деталей, обеспечивая надежный акустический контакт и заданный шаг сканирования со скоростью, не превышающей 100 мм/с. Преобразователь перемещается параллельно оси шва с одновременным возвратно-поступательным перемещением перпендикулярно оси.

В процессе перемещения преобразователь систематически поворачивается в обе стороны на угол 10–15° относительно его оси. Признаком дефекта служит появление на экране дефектоскопа в пределах зоны контроля эхо-сигнала с амплитудой, превышающей поисковую чувствительность. При исследовании металла на твердость определяется его сопротивление деформированию при вдавливании наконечника (индентора) твердомера в испытуемый объект. Схема измерения твердости приведена на рисунке 1.

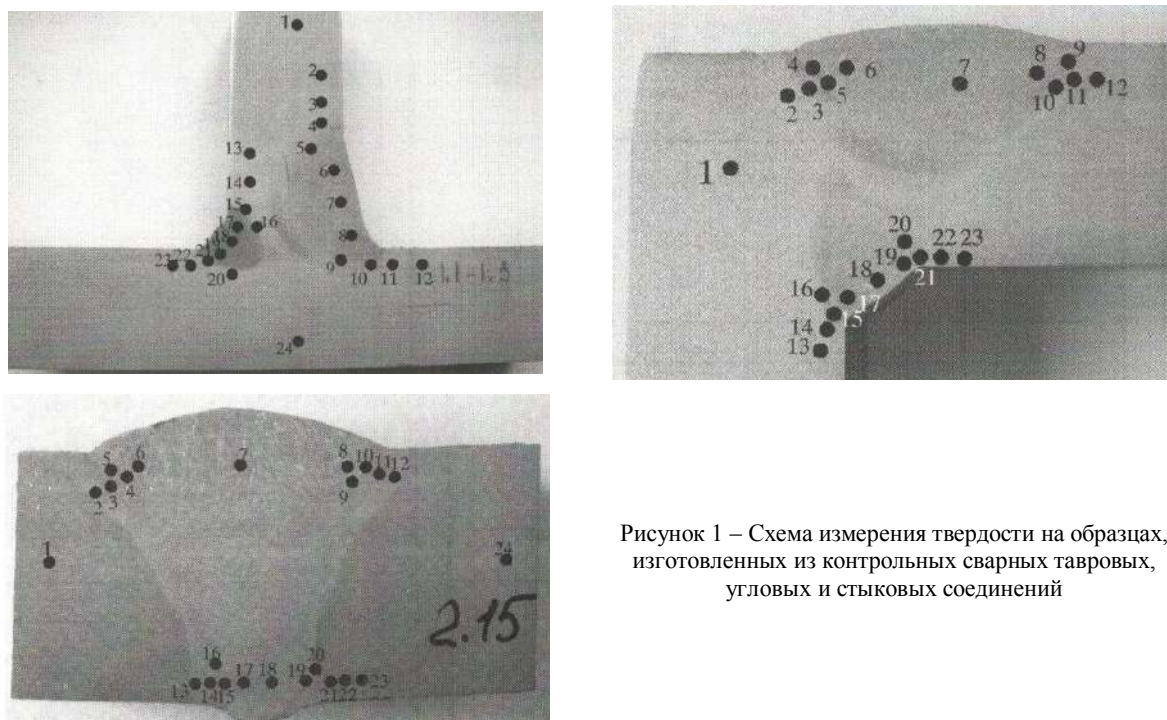


Рисунок 1 – Схема измерения твердости на образцах, изготовленных из контрольных сварных тавровых, угловых и стыковых соединений

Актуальной задачей является изготовление сварных конструкций с заданными механическими свойствами. Это возможно только при получении определенной микроструктуры сварного шва. Для выявления склонности металла и зоны термического влияния к образованию трещин и разрушению сварных конструкций исследуется микроструктура сварных соединений. Образцы (шлифы) для исследования микроструктуры вырезаются из контрольных сварных соединений поперек шва на расстоянии 20–30 мм от начала или конца шва во избежание контроля участков с неустановившимся режимом сварки. Травление шлифа проводится химическим способом в соответствующем реактиве погружением шлифа до четкого выявления линии сплавления и структуры металла шва. Микроструктура сварных соединений представлена на рисунке 2.

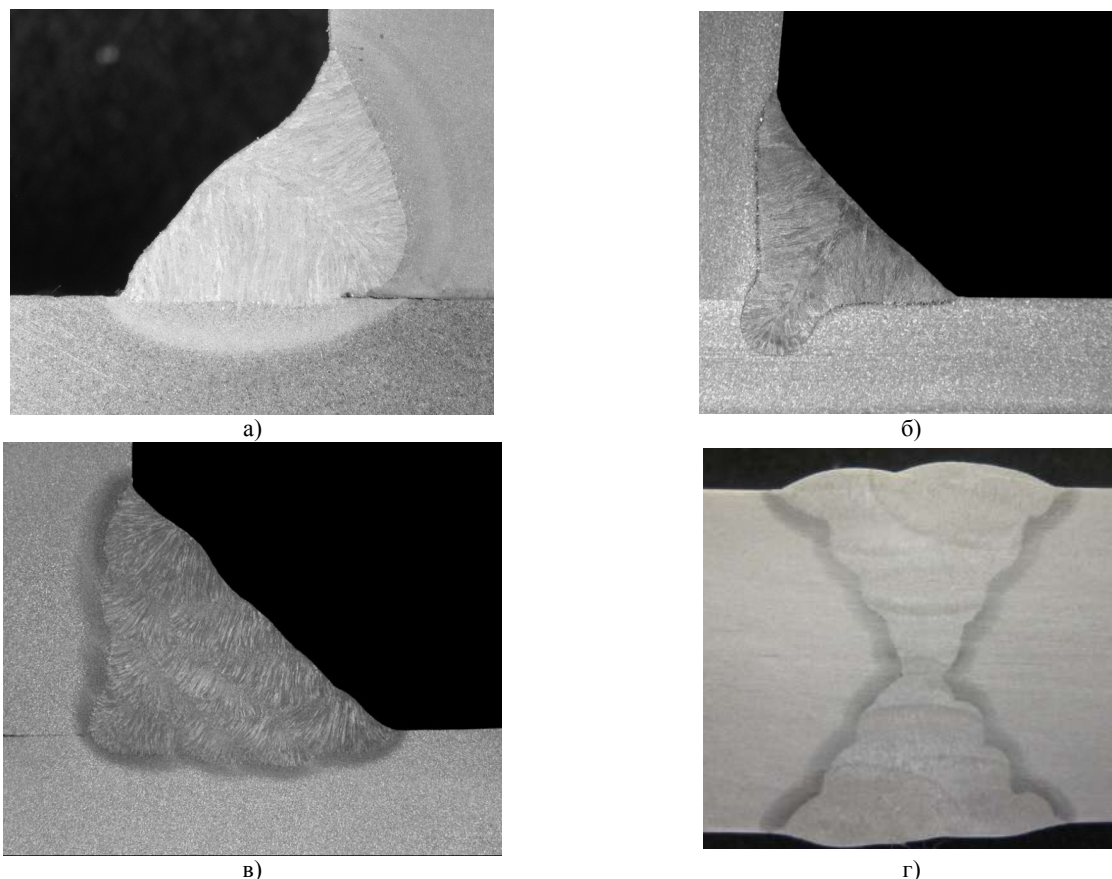


Рисунок 2 – Микроструктура сварного соединения:  
а, б, в – углового, г – стыкового

Результаты проведенных экспериментальных исследований показывают, что применение сварных конструкций при объективном инструментальном контроле их качества и механических свойств обеспечивает выполнение требований к прочности и является прогрессивным направлением в области развития железнодорожного подвижного состава.

УДК 629.3

### **МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ДИСКОВЫХ ТОРМОЗОВ В СРЕДЕ ПАКЕТА ANSYS/LS-DYNA**

*О. А. СУХАНОВА*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Тормозная система – важнейший узел, обеспечивающий безопасное движение всех транспортных средств. Особенность таких систем состоит в наличии динамической неустойчивости – существования ряда возможных колебательных состояний при заданных значениях возмущающего дей-

ствия и параметров системы, обусловленной влиянием конструктивных и трибологических факторов. Конструктивные факторы включают несовершенство геометрии элементов тормозной системы, их упругие, а также демпфирующие характеристики, внутренние и внешние связи, определяют комплексное взаимодействие всех элементов тормозной системы. Трибологические факторы характеризуются нестабильностью коэффициента трения на поверхности трущихся тел из-за фрикционных автоколебаний, зависящих в свою очередь от внешних условий – скорости скольжения, демпфирования, собственной частоты колебаний узла трения.

Построение реальных динамических моделей дисковых тормозов сопряжено с целым рядом сложностей: учет деформации составных элементов конструкции, существование зазора в контактной паре, превышение числа степеней свободы над числом степеней подвижности и др. Проведение же экспериментальных исследований в реальных условиях часто связано с высокими материальными затратами. Целью представленной работы является разработка модели контактного взаимодействия таких элементов тормозных систем, как диск и колодка в среде пакета ANSYS/LS-DYNA.

В качестве объекта исследования принят сплошной тормозной диск, геометрическая форма которого представлена составным объемом двух цилиндров с толщиной 20 и 50 мм, наружным диаметром 260 и 140 мм соответственно, имеющим сквозное отверстие диаметром 100 мм, находящимся в контакте с тормозной колодкой в форме сектора с внешним радиусом 130 мм, внутренним радиусом 50 мм и центральным углом 90°, толщиной 20 мм. Материал элементов модели – сталь с модулем упругости 200 ГПа, коэффициентом Пуассона 0,3. При создании конечноэлементной сетки для твердых тел использовался 3D-элемент – SOLID 164 и оболочечный элемент – Thin shell 163. Контактная пара – «поверхность – поверхность», причем в зоне контакта и колодка, и диск являются плоскими поверхностями. Задавалось осевое перемещение колодки и вращение диска вокруг этой же оси за различные промежутки времени. Значение коэффициента трения принималось равным 0,2. Общее количество элементов модели составило около 110000.

В ANSYS поддерживаются неявные (implicit) методы интегрирования динамики, и расчет сводится к серии решений квазистатических задач с нагрузками, зависящими от времени. Для высокоскоростных процессов (протекающих обычно несколько миллисекунд) и при очень больших деформациях приходится делать шаги весьма малыми, чтобы отследить изменение нагрузки и поведение конструкции. В отличие от ANSYS расчетный модуль LS-DYNA использует явную (explicit) постановку решения задачи и позволяет успешно решать кратковременные и быстротекущие задачи, такие как удары, столкновения, а также процессы разрушения.

Расчеты проводились для различных вариантов сгущения торцевых линий контактирующих поверхностей при регулярном сеточном разбиении, что позволило наиболее быстро получить сходящееся решение. В результате решения задачи о контактном взаимодействии деталей тормозной системы было получено распределение контактных напряжений конструкции по поверхности контакта. Установлено, что пластические деформации в колодке в разы превышают пластические деформации в диске, т. е. наблюдается эффект упрочнения.

Таким образом, разработанная конечноэлементная модель позволяет оценить напряженно-деформированное состояние системы с учетом упругопластических деформаций, что создает предпосылки для дальнейшего совершенствования конструкций тормозных систем.

УДК 656.223

## **РАСШИРЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПНЕВМОКОЛЕСНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ЗА СЧЁТ УСТАНОВКИ КОМБИНИРОВАННОГО ХОДА**

*В. А. ТАШБАЕВ, К. В. МАКСИМЧИК, Д. Ю. СЕЛЮЖИЦКИЙ  
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Попытки конструкторов дать автомобилям и другой пневмоколесной технике возможность перемещения по рельсам были предприняты еще на заре автомобилестроения. Проводились работы по внедрению комбинированного хода, который позволял бы успешно выполнять поставленную

задачу. В наши дни такие машины становятся все более популярней. В данном материале рассмотрено оборудование комбинированного хода, а также некоторые машины на комбинированном ходу.

Оборудование комбинированного хода по конструктивному исполнению можно классифицировать на две группы: направляющий комбиход и приводной (ведущий).

В первом случае навесное оборудование комбинированного хода может устанавливаться на серийные автомобили, тракторы и специальные шасси для обеспечения их движения по рельсовому пути колеи 1520 и 1435 мм без установки пневмоколесного транспортного средства на рельсовый путь (на переездах и в нулевых местах), а также перевода его с одной колеи на другую. Установка навесного оборудования не снижает скорости движения транспортных средств по автодорогам, однако их возможности на бездорожье при этом несколько уменьшаются вследствие незначительного ухудшения геометрической проходимости. Тяговое усилие пневмоколесные транспортные средства на комбинированном ходу развивают за счет сцепления ведущих пневматических колес с рельсами.

При движении по рельсовому пути ведущими и тормозными являются задние колеса. Направляющие катки удерживают транспортное средство на рельсах и частично воспринимают на себя нагрузку от его веса. Передние колеса транспортного средства полностью вывешиваются на 50–60 мм выше уровня головки рельсов. Направляющие катки соединяются с рамой транспортного средства с помощью подвесок пружинного типа. Подвеска задних направляющих катков установлена позади заднего моста.

У некоторых автомобилей колея ведущих пневмоколес не совпадает с рельсовой колеей, поэтому ведущие колеса необходимо раздвигать на некоторую величину в зависимости от ширины рельсовой колеи. Для этой цели применяют уширительные шайбы, устанавливаемые между дисками колес и тормозными барабанами.

Для перевода комбинированного железнодорожного хода из транспортного положения в рабочее применяются различные приводы (механический, электрический, гидравлический, комбинированный).

Самую многочисленную группу машин на комбинированном ходу представляют экскаваторы. Эти повсеместно применяемые машины произвели революцию во многих областях путевых работ, так как помимо обычных ковшей для выемки грунта их можно оснащать таким сменным оборудованием, как траверсы для подъема и перемещения рельсов, захваты для укладки рельсов, струги и щетки для перемещения балластного материала и формирования балластной призмы, поворотные устройства для удаления растительности с пути, приспособления для замены шпал, шпалоподбивки, для непосредственного ремонта или обслуживания. Рабочие органы машин на комбинированном ходу позволяют выполнять экскавацию грунта, работы по подъему и перемещению грузов как штучных, так и сыпучих, а также обрезку сучьев и кустов.

Машины меньших размеров и массы выпускаются на базе адаптированных легковых автомобилей, внедорожников и пикапов.

Особо широкая гамма машин разнообразного назначения, оснащаемых самосвальными кузовами, подъемными площадками, крановым оборудованием, цистернами, оборудованием для распыления гербицидов и т. д., выпускается с использованием шасси Mercedes Unimog. Компактное транспортное средство для шлифования рельсов Ro-V149 предназначено для восстановления профиля рельса, удаления волнообразной деформации и прокатной окалины, а также для контактного шлифования. Ширина обрабатываемой колеи может меняться и устанавливаться в зависимости от ремонтируемого пути. Данная машина оснащена высокоэффективным пылесборником, который вместе с защитной камерой и фильтром обеспечивает идеальную защиту от абразивной пыли.

Для Республики Беларусь подобная техника также не нова. Машины на комбинированном ходу выпускаются МАЗом. Данными машинами пользуются предприятия железнодорожного транспорта и подразделения МЧС. Машины отечественного производства способны выполнять множество различных операций при строительстве, эксплуатации и ремонте железных дорог, а также применяются для спасения или эвакуации людей или других целей в комплексе спецопераций. Так, локомотив на базе шасси МАЗ-6303 предназначен для доставки оборудования по содержанию и ремонту автомобильных дорог и железнодорожных путей, а также может использоваться в качестве локомотива и поездных работ.

Исходя из вышеизложенного, можно сделать вывод, что существуют множество различных машин на комбинированном (железнодорожном и автомобильном) ходу, и их использование на предприятиях, в том числе, промышленного комплекса Республики Беларусь позволяет снизить экономические затраты при производстве путевых, поездных и маневровых работ.



## **ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЧЕРВЯЧНОГО РЕДУКТОРА КОМБИНИРОВАННОГО ПНЕВМОРЕЛЬСОВОГО ХОДА В СРЕДЕ INVENTOR**

*В. А. ТАШБАЕВ, Д. Ю. СЕЛЮЖИЦКИЙ, К. В. МАКСИМЧИК  
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Рассмотрены вопросы моделирования с помощью программ твердотельного проектирования, в частности в среде Inventor, и перспективы использования данного программного обеспечения на предприятиях промышленного комплекса Республики Беларусь.

Современное машиностроение не стоит на месте и постоянно развивается. Но развитие невозможно без повышения эффективности производства технологических процессов. Одним из путей решения данной задачи является совершенствование существующих технологических процессов по внедрению более совершенного оборудования, которое обеспечило бы уменьшение затрат трудовых ресурсов при выполнении технологических операций.

В наше время факторы затрат времени на разработку и себестоимость опытно-конструкторских работ являются определяющими при поставке продукции на рынок. Эксперименты с прототипами – длительный по времени и весьма дорогостоящий процесс. Эффективным решением перечисленных проблем является внедрение и применение в конструировании средств компьютерного 3D-твердотельного моделирования.

Существует множество программ для создания трехмерных моделей. К ним можно отнести NormCAD, SCAD, SolidWorks, Autodesk Inventor и т. д. В данной работе рассмотрено применение Autodesk Inventor при создании трехмерной модели червячного редуктора комбинированного хода.

В среде Inventor реализован один из удобнейших механизмов построения зубчатых и червячных зацеплений. Помимо трехмерной модели данный пакет дает возможность произвести геометрический расчет зацеплений, их силовой анализ, а также выбрать материал, который будет обеспечивать заданную прочность. После получения данных от силового анализа производится подбор подшипников, затем проектируется корпус, а также фланцы, цапфы и др. На первом этапе работы по эскизам создаются элементы червячного редуктора и вычерчиваются. Особенность моделирования заключается в геометрии червячного зацепления. Специфика моделирования состоит в том, чтобы правильно спроектировать профиль зубьев червячного колеса и червяка. Профиль витка червяка обычно представляет собой трапецию с углом в 30–40°. Боковые стороны профиля чаще всего прямолинейны, однако могут быть и криволинейными. Примечательно, что программа Inventor при расчете зацепления автоматически учитывает погрешность шага, винтовой линии и профиля нарезки червяка. После проектирования всех элементов редуктора собирается его трехмерная модель. В результате получаем модель редуктора, которую можно протестировать средствами Inventor до появления натурального образца, что позволяет снизить материальные затраты на разработку изделия.

Исходя из вышеописанного, можно сделать вывод, что Autodesk Inventor содержит всеобъемлющий набор функций для формирования цифровых прототипов, проверки их в действии и подготовки документации. Предприятия теперь могут выводить изделия на рынок быстрее. Потребность в физических опытных образцах снижается, а продукция становится все более инновационной и дешевой.

## **ТРЕБОВАНИЯ К ПАРАМЕТРАМ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА И ПЛАНУ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТАНЦИЙ**

*Е. А. ФИЛАТОВ  
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Одной из современных тенденций вагоностроения становится внедрение подвижного состава увеличенных габаритов и грузоподъемности. Автосцепки этих вагонов, как и любых других, долж-

ны обеспечивать автоматическое сцепление вагонов на участке сопряжения прямой и кривой расчетного радиуса, а также свободный проход состава (сцепы вагонов) по путям заданного радиуса без повреждений элементов конструкции вагона [1].

Геометрической основой этих проверок является расчетная схема, показанная на рисунке 1 [2]. Согласно схеме, с учетом допущений  $2R - C_1 \approx 2R$  и  $2R - C_0 \approx 2R$ , из  $\Delta KND$  и  $\Delta KAD$  высота сегмента, образованного базой вагона  $2l$ , составит

$$C_1 = (2l)^2 / (8R).$$

Сегмент, ограниченный полной длиной вагона  $L_{\text{ваг}}$ , имеет высоту

$$C_0 = (L_{\text{ваг}})^2 / (8R).$$

Тогда вынос консольной части вагона будет

$$C_2 = ((L_{\text{ваг}})^2 - (2l)^2) / (8R).$$

Аналогично рассчитывается смещение осей вагона внутрь кривой за счет длины базы тележки  $2l_{\tau}$ :

$$k_1 = (2l_{\tau})^2 / (8R) = 4(l_{\tau})^2 / (8R) = (l_{\tau})^2 / (2R).$$

Таким образом, вынос консольной части вагона

$$\begin{aligned} b' &= ((L_{\text{ваг}})^2 - (2l)^2) / (8R) - k_1 = \\ &= ((2l + 2n)^2 - (2l)^2) / (8R) - (2l_{\tau})^2 / (8R) = \\ &= [((2l)^2 + 2 \cdot 2l \cdot 2n + 4n^2) - (2l)^2] / (8R) - \\ &- (2l_{\tau})^2 / (8R) = [(8ln + 4n^2) - (2l_{\tau})^2] / (8R) = \\ &= [4n(2l + n) - 4(l_{\tau})^2] / (8R) = \\ &= [n(4l + n) - (l_{\tau})^2] / (2R). \end{aligned}$$

С учетом возможного дополнительного смещения центров автосцепок  $\lambda$  [1]

$$b = [n(4l + n) - (l_{\tau})^2] / (2R) + \lambda.$$

Учитывая, что данный расчет предполагает некоторые допущения, то рассмотрим другой способ. Для этого из рисунка 1 определим вынос консольной части вагона следующим образом:

$$C_2 = K_1O - K_2O.$$

Если рассмотреть треугольник  $\Delta K_1NO$ , то

$$K_1O = \sqrt{R^2 - \left(\frac{2l}{2}\right)^2} = \sqrt{R^2 - l^2}.$$

Из треугольника  $\Delta K_2AO$

$$K_2O = \sqrt{R^2 - \left(\frac{2l}{2} + n\right)^2} = \sqrt{R^2 - (l + n)^2}.$$

Аналогично определяется смещение осей вагона внутрь кривой, за счет длины базы тележки  $2l_{\tau}$

$$k_1' = R - \sqrt{R^2 - \left(\frac{2l_{\tau}}{2}\right)^2} = R - \sqrt{R^2 - l_{\tau}^2}.$$

Вынос консольной части вагона с учетом дополнительного смещения  $\lambda$

$$b = \sqrt{R^2 - l^2} - \sqrt{R^2 - (l + n)^2} - (R - \sqrt{R^2 - l_{\tau}^2}) + \lambda.$$

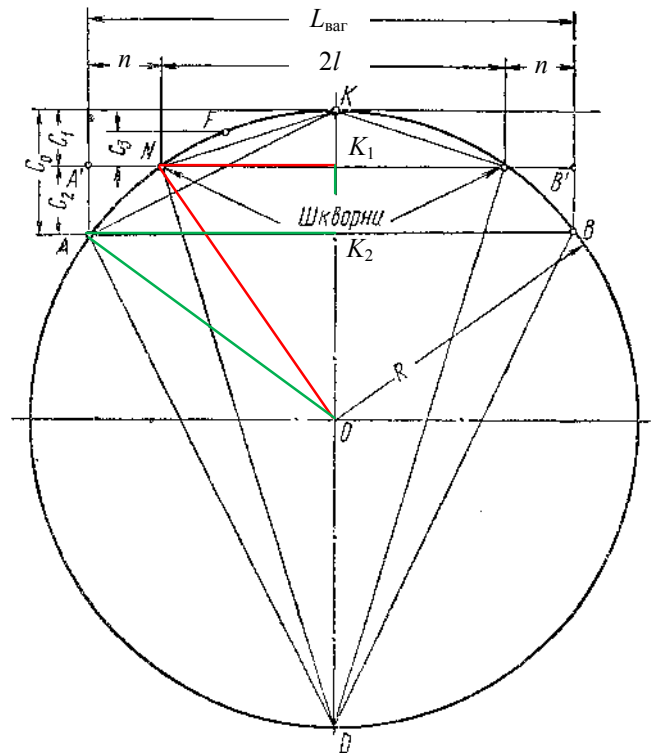


Рисунок 1 – Расчетная схема определения выноса консольной части вагона при сопряжении кривого и прямого участков путей

Приведенное уравнение может использоваться при расчете условия обеспечения автоматического сцепления вагонов на участке сопряжения кривой и прямой  $B \geq b$ , а также при расчете поперечного отклонения головы автосцепки  $X$  [1]. Кроме того, предложенный подход, с учетом влияния длины корпуса автосцепки от центра шарнира хвостовика до оси зацепления  $a$ , может применяться для определения величин  $b$  и  $b'$  при проверке автосцепного устройства на обеспечение прохода вагонов в сцепе по криволинейным участкам пути [1].

Следует отметить, что с учетом малых углов между осями взаимодействующих автосцепок, результаты по предложенному методу и принятому в [3] для большинства ситуаций будут иметь незначительное расхождение. Наибольшая разница может достигаться при выполнении описанных проверок с длиннобазными вагонами в криволинейных участках пути малых радиусов, особенно при проверке  $s$ -образных кривых. Следует учитывать, что рассмотренный способ расчета справедлив не только для расчета параметров подвижного состава. На этих расчетах основан графический и аналитический методы определения допустимых по условию автоматического сцепления радиусов круговых и  $s$ -образных кривых [3]. Аналогичные расчеты могут быть применены при определении величин габаритов погрузки, подвижного состава или приближения строений, где точность расчетов играет особую роль.

Таким образом, предложенный способ расчета в некоторых ситуациях может повысить точность расчетов, обеспечив тем самым большую достоверность полученных результатов.

#### Список литературы

- 1 Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных) ГосНИИВ – ВНИИЖТ. – М., 1996. – 319 с.
- 2 Кузмак, Е.М. Основы технологии аппаратостроения. / Е.М. Кузмак. – М. : Недра, 1967. – 468 с.
- 3 Филатов, Е.А. Повышение безопасности функционирования железнодорожных станций / Е.А. Филатов // Сборник научных трудов Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта им. акад. В. Лазаряна «Транспортные системы и технологии перевозок». – Д. : ДНУЖТ, 2017. – Вып. 13. – С. 78–83.

УДК 629.463.001.63

### СОЗДАНИЕ ИМИТАЦИОННО-РАСЧЕТНОЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ БАЗОВОЙ КОНСТРУКЦИИ ПОЛУВАГОНОВ

*А. В. ФОМИН, Г. А. КОВАЛЬЧУК, В. В. ФОМИН, В. В. КОВАЛЕНКО*

*Государственный университет инфраструктуры и технологий, г. Северодонецк, Украина  
Восточноукраинский национальный университет им. В. Даля, г. Киев*

Цель работы – отобразить особенности разработки имитационно-расчетной пространственной компьютерной модели базовой конструкции полувагонов, а также представление возможных вариантов ее использования.

Для исследования прочности несущей конструкции кузова полувагона создана компьютерная пространственная модель в среде современного программного обеспечения (рисунок 1). Оптимальное количество элементов сетки определено с использованием графаналитического метода. В качестве конечных элементов использованы изопараметрические тетраэдры. При этом количество элементов сетки 473652, узлов – 154365. Максимальный размер элемента сетки равен 80 мм, минимальный – 16 мм, максимальное соотношение сторон элементов – 566,7, процент элементов с соотношением сторон менее трех – 25, более десяти – 27,4.

В соответствии с поставленными задачами компьютерная модель имеет ряд ограничений, в частности отсутствие возможности учета разницы уровней корпусов автосцепок полувагонов, взаимодействующих между собой. В модели не учитывались сварные швы, т. е. она рассматривалась как монолитная конструкция.

Закрепление модели осуществлялось за счет пятников и скользунов шворневых балок как реакций в соответствующих узлах.



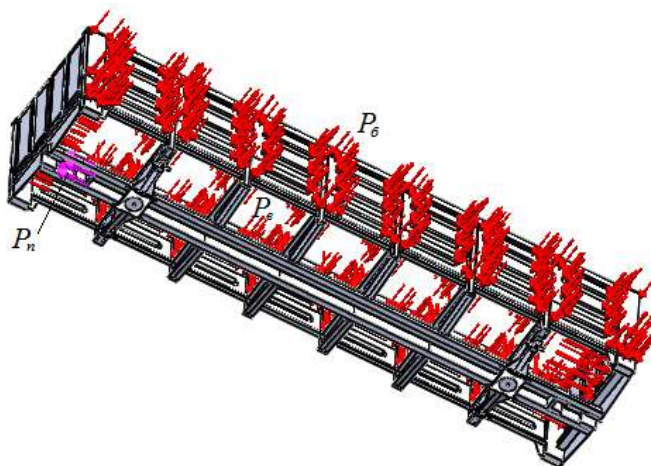


Рисунок 1 – Компьютерная модель прочности несущей базовой конструкции полувагона с приложенными нагрузками

При исследовании прочности полувагона в условиях нагрузок, соответствующих режиму «удар – сжатие», продольное усилие прикладывалось к заднему упору автосцепки, а с другой стороны уравнивалось силой инерции массы кузова. При моделировании прочности полувагона в условиях режима «растяжение – рывок» продольное усилие прикладывалось к передним упорам с одного конца вагона, а с другой уравнивалось силой инерции массы кузова. При составлении модели прочности несущей конструкции кузова полувагона при воздействии ремонтных нагрузок во внимание приняты различные схемы ее нагружения, когда модель прочности несущей конструкции кузова полувагона при действии силы тяжести уравнивается:

1) двумя реакциями в концевых частях одной шворневой балки и пятником с противоположной стороны вагона (рисунок 2);

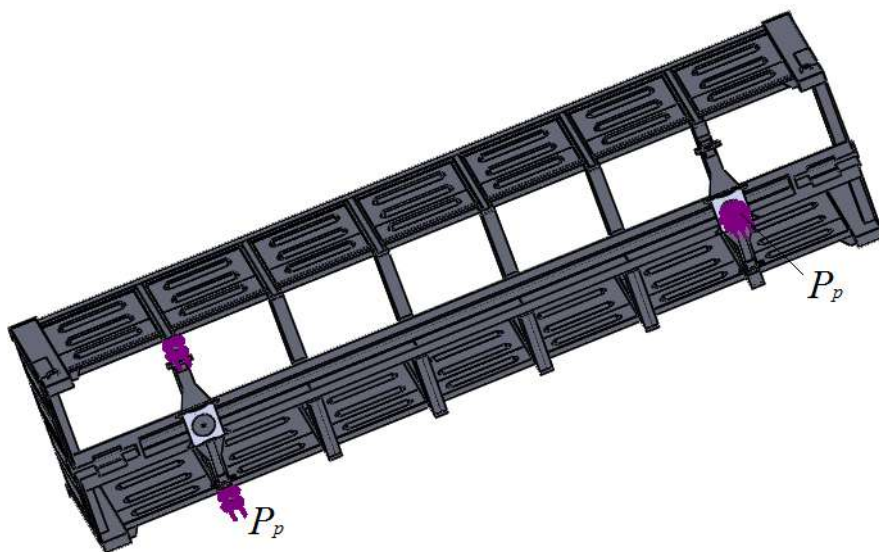


Рисунок 2 – модель прочности несущей конструкции кузова полувагона при действии силы тяжести уравнивается двумя реакциями в концевых частях одной шворневой балки и пятником с противоположной стороны вагона

2) реакциями в двух концевых частях шворневых балок, расположенных по диагонали вагона (без учета силы тяжести груза);

3) двумя реакциями в конечной балке в зонах на расстоянии 0,79 м от оси пути и пятником с противоположной стороны вагона.

Выводы: разработанную имитационную-расчетную адекватную пространственную компьютерную модель базовой конструкции полувагонов целесообразно использовать при моделировании различных случаев их эксплуатации, например при имитации динамических процессов, определении конструктивных напряжений соответственно нормативным расчетным случаям, а также определении ресурса. Модель будет полезна как при проектировании новых конструкций вагонов, так и при возможных расчетах соответствующих конструкций в различных технических состояниях.

## НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА НОРМИРОВАНИЯ РАСХОДА ЭНЕРГОРЕСУРСОВ НА ТЯГУ Поездов

С. Я. ФРЕНКЕЛЬ, В. В. ВОЛОДЬКО

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Нормирование расхода энергоресурсов на тягу поездов служит для оценки профессионального мастерства локомотивной бригады и технического состояния локомотива. Это в свою очередь позволяет влиять на эффективность использования энергоресурсов. Очевидно, что при нормировании следует максимально учитывать влияние факторов, определяющих расход энергоресурсов. Норма расхода должна определяться таким образом, чтобы на её выполнение оказывали влияние только работа локомотивной бригады и техническое состояние локомотива. Все остальные факторы, определяющие расход энергоресурсов, не должны или могут минимально влиять на выполнение нормы расхода дизельного топлива или электроэнергии на поездку [1].

Исследовать качество нормирования и, опираясь на результаты этого исследования, совершенствовать методы нормирования можно, используя данные из маршрутных листов машинистов, обработанных и хранящихся в базе данных автоматизированной системы интегрированной обработки маршрутов машиниста (АС ИОММ). Опыт такой работы накоплен на кафедре «Локомотивы» БелГУТа [1, 2].

Для объективной оценки технического состояния локомотива или качества работы локомотивной бригады по топливо(энерго)сбережению необходимо, как сказано выше, чтобы все остальные факторы, определяющие расход топлива или электроэнергии на тягу поездов, не влияли на величину отклонения фактического расхода от нормы. Чтобы оценить, так ли это, по данным из маршрутных листов машиниста в координатах  $\Delta B_n$  (отклонение от нормы расхода топлива за поездку),  $Q$  (масса состава),  $q_o$  (средняя осевая нагрузка вагонов),  $A$  (перевозочная работа),  $k_y$  (коэффициент участковой скорости, определяемый как отношение участковой скорости к технической) нанесены точки, каждая из которых представляет одну поездку. Примеры таких построений по данным одного из локомотивных депо Белорусской железной дороги для грузовых тепловозов серии 2ТЭ10УК приведены на рисунках 1, 4.

На рисунках средствами Microsoft Excel построены линии тренда, иллюстрирующие зависимость отклонения  $\Delta E$  от массы состава, средней осевой нагрузки вагонов, коэффициента участковой скорости, перевозочной работы. Из рисунков хорошо видно влияние названных выше факторов на выполнение нормы расхода топлива за поездку. Так, например, на рисунке 1 видно, что при массе состава до 4000 т преобладает экономия топлива, а выше 4000 т – перерасход. Это говорит о несовершенстве применяемого подхода к нормированию, что безусловно сказывается на эффективности управляющих воздействий, принимаемых на основе анализа выполнения нормы.

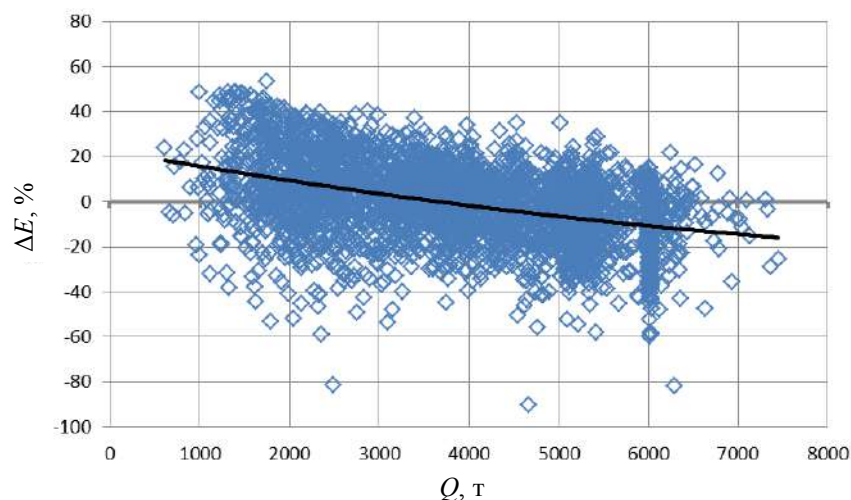


Рисунок 1 – Влияние массы состава на выполнение нормы расхода топлива за поездку

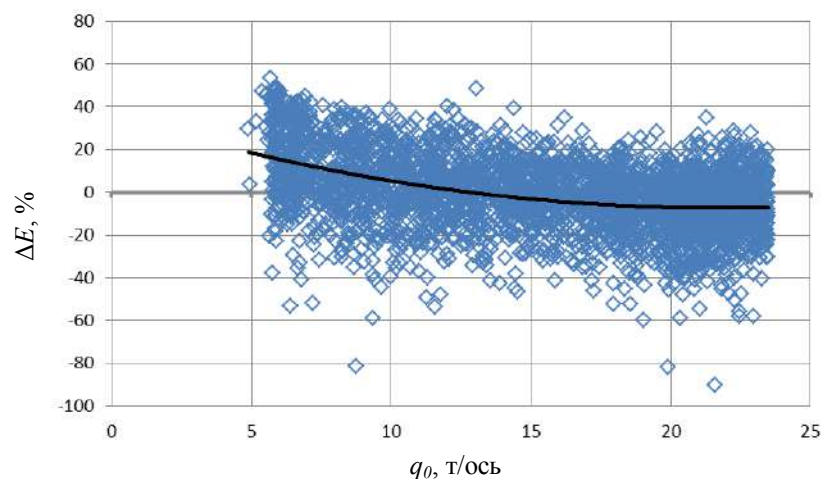


Рисунок 2 – Влияние осевой нагрузки на выполнение нормы расхода топлива за поездку

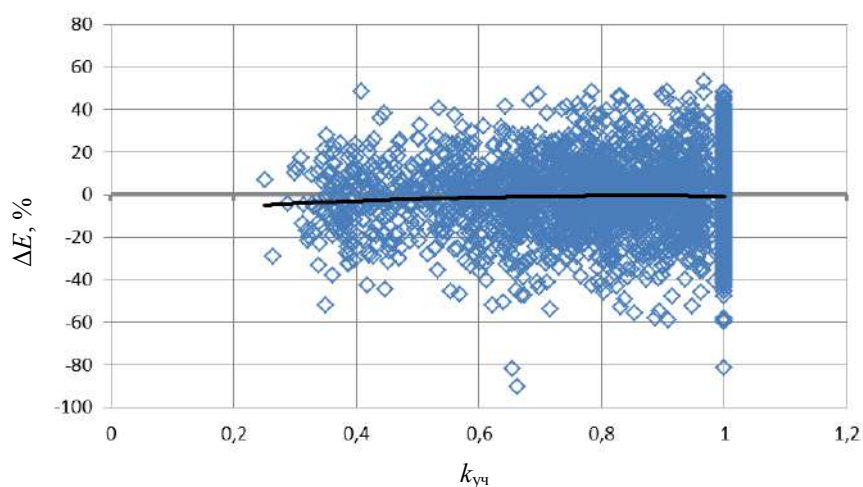


Рисунок 3 – Влияние коэффициента участковой скорости на выполнение нормы расхода топлива за поездку

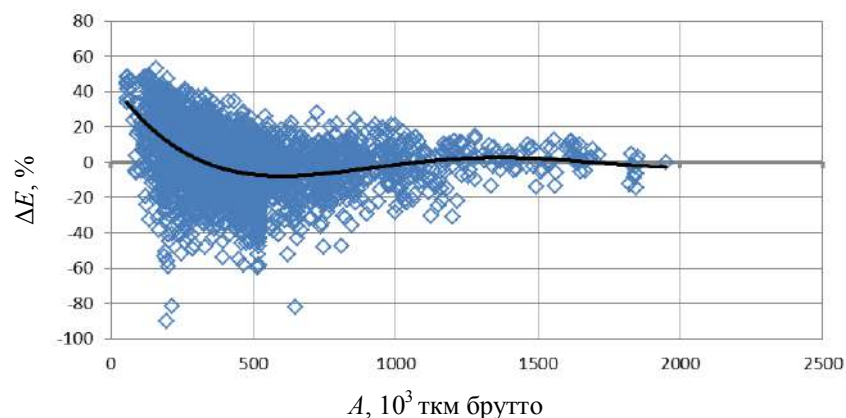


Рисунок 4 – Влияние перевозочной работы на выполнение нормы расхода топлива за поездку

Полученные результаты указывают на необходимость совершенствования подходов к нормированию с тем, чтобы влияние эксплуатационных факторов на расход энергоресурсов за поездку учитывалось при определении нормы более адекватно. Аналогичные исследования, выполненные по данным других локомотивных депо Белорусской железной дороги для различных серий тепловозов и электровозов при работе не только в грузовом, но и в пассажирском и пригородном движении, позволили оценить и сравнить качество нормирования в разных депо.

Установлено, что влияние названных выше эксплуатационных факторов на выполнение нормы расхода энергоресурсов за поездку в различных депо отличаются. Это можно объяснить субъективным влиянием квалификации теплотехника, определяющего подходы к формированию норм.

#### Список литературы

1 Френкель, С. Я. Исследование качества нормирования расхода энергоресурсов на тягу поездов / С. Я. Френкель, В. В. Володько // Локомотивы. Транспортно-технологические комплексы. XXI век : сб. тр. V Междунар. науч.-техн. конф. – СПб. : ПГУПС, 2017.

2 Френкель, С. Я. Об исследовании эксплуатационных факторов, определяющих расход дизельного топлива магистральными тепловозами / С. Я. Френкель // Совершенствование конструкции и системы обслуживания локомотивов : межвуз. сб. науч. тр. / под ред. А. В. Грищенко. – СПб. : ПГУПС, 2004. – С. 72–76.

УДК 629.424.1:629.4.016.15

### СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ НОРМИРОВАНИЯ РАСХОДА ЭНЕРГОРЕСУРСОВ НА ТЯГУ ПОЕЗДОВ

*С. Я. ФРЕНКЕЛЬ, В. В. ВОЛОДЬКО*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Расходы на топливо и электроэнергию, потребляемые на тягу поездов, являются наибольшей составляющей расходов локомотивного хозяйства. В связи с этим бесспорна актуальность проблемы снижения расхода энергоресурсов на тягу поездов. Оно возможно как за счет совершенствования конструкции подвижного состава, так и в результате проведения организационно-технических мероприятий, к которым, в частности, можно отнести стимулирование топливо(энерго)сбережения локомотивными бригадами и другими причастными работниками железнодорожного транспорта. Это стимулирование должно опираться на объективную оценку работы локомотивных бригад и теплотехнического состояния локомотивов. Но она требует научно обоснованного нормирования расхода энергоресурсов на тягу поездов, которое должно осуществляться таким образом, чтобы на её выполнение оказывали влияние только работа локомотивной бригады и техническое состояние локомотива. Все остальные факторы, определяющие расход энергоресурсов, не должны или могут минимально влиять на выполнение нормы расхода дизельного топлива или электроэнергии на поездку [1].

Чтобы оценить так ли это, по данным из маршрутных листов машиниста в координатах  $\Delta B_n$  (отклонение от нормы расхода топлива за поездку),  $Q$  (масса состава),  $q_o$  (средняя осевая нагрузка вагонов),  $A$  (перевозочная работа),  $k_y$  (коэффициент участковой скорости, определяемый как отношение участковой скорости к технической) нанесены точки, каждая из которых представляет одну поездку [2]. Примеры таких построений по данным некоторых локомотивных депо Белорусской железной дороги для грузовых тепловозов показали, что на выполнение нормы расхода топлива за поездку при действующей системе нормирования оказывают влияние не только машинист и теплотехническое состояние тепловоза, но и масса состава, осевая нагрузка, другие эксплуатационные факторы. Степень влияния названных факторов в значительной степени определяется совершенством методики нормирования и квалификацией машиниста-инструктора по теплотехнике. В практике энергетических расчётов, связанных с движением поездов, все более широкое применение находят статистические методы прогнозирования расхода энергоресурсов на тягу поездов. Сущность таких методов состоит в определении корреляционных связей между значением расхода энергоресурсов и случайными значениями факторов, его определяющих, в виде уравнения регрессии.

Исходными данными для составления уравнений регрессии может служить информация из маршрутных листов о выполненных поездках, например, за предшествующий год.

Применение статистических методов обработки информации из маршрутных листов может позволить, автоматизировав процесс расчета и корректировки норм расхода топлива и электроэнергии, вне зависимости от опыта и квалификации машиниста-инструктора по теплотехнике, обеспечить объективное нормирование расхода энергоресурсов на поездку.

Регрессионная модель представляет собой зависимость фактического расхода топлива  $E_T$  за поездку от эксплуатационных факторов и может иметь вид



$$E_T = a + a_s s + a_A A + a_N N + a_v v_T + a_q q_0 + k_{yч} ,$$

где  $a, a_s, \dots$  – коэффициенты пропорциональности;  $s$  – линейный пробег;  $A$  – выполненная перевозочная работа;  $N$  – количество осей в составе;  $v_T$  – техническая скорость;  $q_0$  – нагрузка на ось;  $k_{yч}$  – коэффициент участковой скорости;  $v_y$  – участковая скорость.

Применение для расчета норм расход топлива на поездку построенных таким образом регрессионных моделей позволило значительно снизить влияние рассмотренных эксплуатационных факторов на выполнение нормы расхода, что видно из рисунка 1, на котором каждая точка соответствует одной поездке. На массивах точек построены линии тренда, иллюстрирующие влияние соответствующего фактора на отклонение фактического расхода топлива за поездку от нормы. Левый столбец иллюстрирует нормирование по действующей системе, а правый – при расчете нормы расхода топлива по уравнению регрессии.

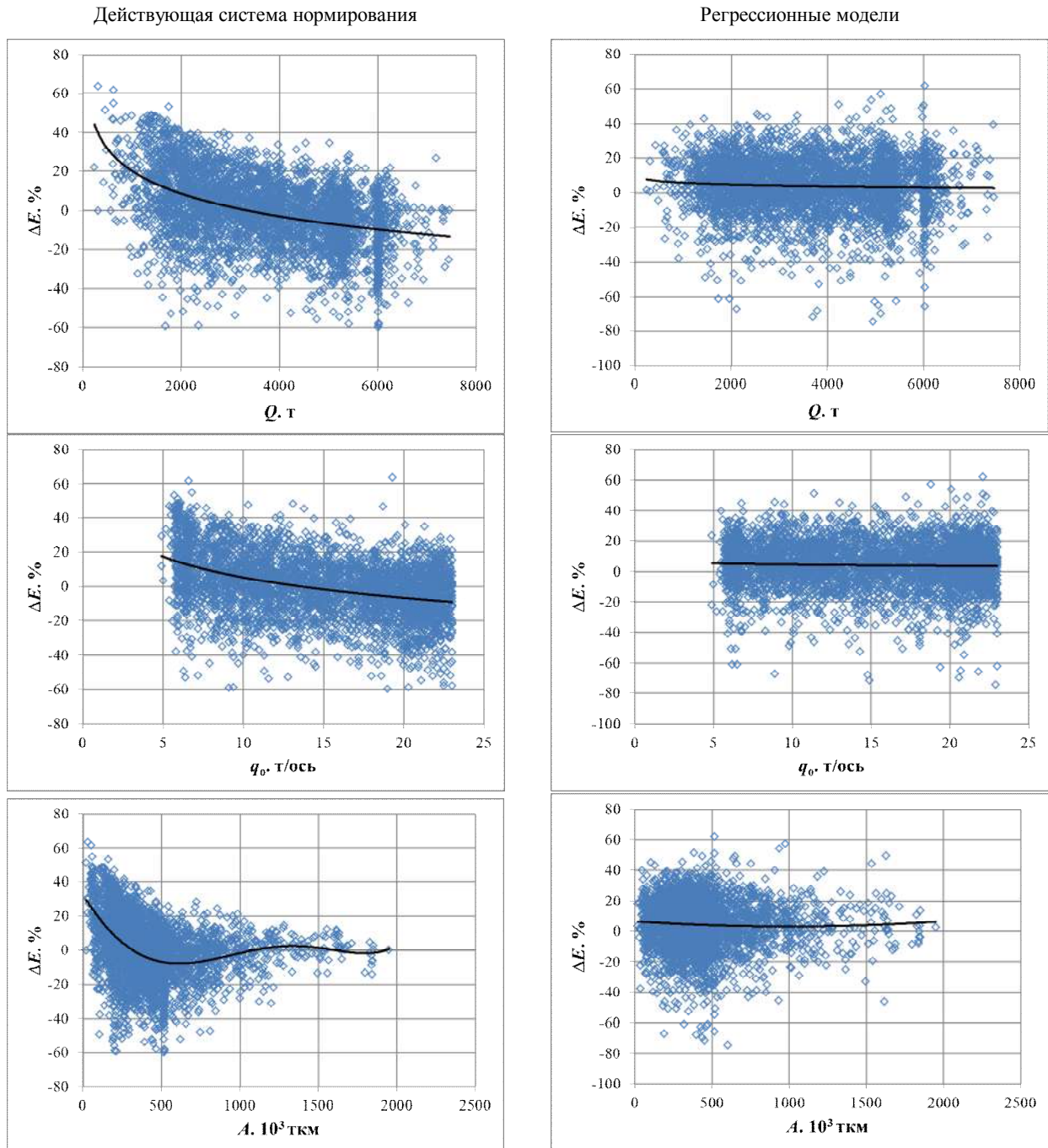


Рисунок 1 – Влияние некоторых эксплуатационных факторов на выполнение нормы расхода топлива

Очевидно, что применение регрессионных моделей значительно повышает качество нормирования расхода топлива на поездку, позволяет на основании анализа выполнения норм принимать адекватные, а следовательно, эффективные организационно-технические и управленческие решения.

Дальнейшее повышение качества нормирования расхода энергоресурсов возможно при введении в качестве аргументов уравнения регрессии средних за поездку значений температуры атмосферного воздуха, скорости и направления ветра.

#### Список литературы

- 1 Френкель, С. Я. Повышение качества нормирования расхода энергоресурсов магистральными локомотивами / С. Я. Френкель и др. // Вестник БелГУТа : Наука и транспорт. – 2007. – № 1–2 (14–15). – С. 137–140.
- 2 Френкель, С. Я. Исследование качества нормирования расхода энергоресурсов на тягу поездов / С. Я. Френкель // Локомотивы. Транспортно-технологические комплексы. XXI век : сб. тр. V Междунар. науч.-техн. конф. – СПб. : ПГУПС, 2017.

УДК 629.4.027.5

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ СОЕДИНЕНИЙ С ГАРАНТИРОВАННЫМ НАТЯГОМ ЭЛЕМЕНТОВ КОЛЕСНОЙ ПАРЫ ВАГОНА ПРИ ИЗМЕНЕНИИ МАКРОГЕОМЕТРИИ СОПРЯГАЕМЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

*И. Л. ЧЕРНИН, О. В. ПУТЯТО, А. В. ПУТЯТО*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В настоящее время в области вагоностроения активно ведутся работы по увеличению осевых нагрузок, интенсивности использования подвижного состава, что вызывает повышение требований к его безопасной эксплуатации. К одному из наиболее ответственных элементов подвижного состава относятся колесные пары. Поэтому при их изготовлении и ремонте необходимо осуществлять мероприятия технологического характера по улучшению формирования и расформирования узлов колесных пар, а также по дальнейшему совершенствованию контроля их прочности. Соединение может работать на осевой сдвиг, проворачивание или испытывать комбинированную нагрузку, и недостаточная их прочность может привести к относительному сдвигу элементов и вызвать катастрофические последствия.

В соответствии с нормативной документацией значение натяга внутренних колец подшипников должно находиться в пределах 0,045–0,11 мм, причем значение конечного усилия запрессовки комплекта колец (при прессовой посадке) – 245,4–294,3 кН. При формировании соединения «колесо – ось» значение фактического натяга должно быть 0,1–0,25 мм, причем значение конечного усилия запрессовки, учитывая номинальный диаметр подступичной части равный 194 мм, должно быть от 826,7 до 1115 кН при значении шероховатости поверхности ступицы колеса  $Rz \leq 20$  мкм и от 749,89 до 1115 кН при значении шероховатости поверхности ступицы колеса  $20 \text{ мкм} < Rz \leq 30$  мкм.

Расчет статической прочности цилиндрического прессового соединения выполняется, как правило, по формулам, основанным на решении плоской осесимметричной задачи теории упругости (задача Ляме – Гадолина). Несмотря на очевидность прямо пропорциональной зависимости прочности продольно-прессового соединения с натягом от площади контактирования, часто имеют место несоответствия с практическими результатами. В таком случае несоответствия устраняют за счет коэффициента трения, величина которого должна аккумулировать все неучтенные параметры. Отдельные факторы, влияющие на прочность соединения с натягом, исследованы достаточно детально. Так, известно, что наибольшее влияние на прочность такого соединения оказывает величина натяга, а также материал и характеристики поверхностного слоя сопрягаемых деталей, микро- и макрогеометрия посадочных поверхностей, наличие промежуточных сред (смазка, клеевые прослойки).

Таким образом, актуальной и практически важной является задача оценки влияния макрогеометрии сопрягаемых поверхностей на прочность соединения.

Моделирование прочности соединений с гарантированным натягом элементов колесной пары вагона выполнено с использованием программы ANSYS. Учитывая симметрию конструкции, задача решалась в осесимметричной постановке, для чего разработана геометрическая модель плоскости

сопряжения внутренних колец буксовых подшипников с шейкой оси колесной пары и колеса с подступичной частью. Для сокращения объемов расчетов, учитывая отсутствие необходимости определения напряженно-деформированного состояния оси в целом, а также руководствуясь принципом Сен-Венана, модели представляют собой части колесной пары, включающие исследуемые объекты. В качестве материала принята сталь с модулем упругости  $E = 2,1 \cdot 10^5$  МПа, коэффициентом Пуассона  $\mu = 0,3$ . Для построения конечно-элементной модели использован элемент PLANE82 с включенной опцией «axsymmetric», что дало возможность свести объемную задачу к плоской. В месте сопряжения колец и колеса с осью задана контактная пара.

Для оценки значений усилий запрессовки комплекта внутренних колец и колеса на ось в модели задавалось перемещение 1 мм оси, а торцевой край внутреннего кольца или торец ступицы колеса закреплялись в осевом направлении. Также ограничивалось перемещение оси в вертикальном направлении.

В процессе разработки компьютерной модели достаточно проблемным оказался вопрос назначения коэффициента трения в зоне сопряжения при создании контактных пар, который оказывает существенное влияние на значение усилия сдвига напрессованных элементов.

В классической теории контактирования тел полагается, что сила трения пропорциональна силе контактного давления. Величина погрешностей геометрии на порядок превосходит величину шероховатости контактирующих поверхностей, и удельное давление на различных участках будет переменным. Поскольку элементы колесной пары вагона имеют достаточно высокую жесткость, нагрузка преимущественно будет приходиться на «выступы» погрешности геометрии, а на «впадинах» поверхности могут не соприкасаться вовсе. В связи с этим коэффициент трения на «впадинах» будет иметь меньшее значение. При моделировании коэффициент трения представлен двухкомпонентной линейной моделью, в которой первая компонента определяется величиной коэффициента трения в условиях постоянного нормального давления для данной контактной пары, а вторая зависит от изменения нормального давления в каждой точке контакта при наличии погрешности геометрии формы.

Опуская промежуточные расчеты коэффициентов трения, результаты компьютерного моделирования прочности сопряжений, выполненного для случая реализации в сопряжениях средних натягов (для колец –  $N_{cp} = 0,0775$  мм; для колеса –  $N_{cp} = 0,175$  мм) с учетом изготовления соответствующего конструктивного элемента оси (шейки и подступичной части) с максимальным значением отклонения от профиля продольного сечения показали, что наибольшее снижение прочности соединений вызывает седлообразность. Так, для комплекта внутренних колец буксового подшипника снижение составило порядка 14 %, а прочность сопряжения колеса с подступичной частью может снизиться до 40 %.

УДК 629.44:629.48; 629.487

## **ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ ПОСАДКИ ВНУТРЕННИХ КОЛЕЦ БУКСОВЫХ ПОДШИПНИКОВ НА ШЕЙКИ ОСЕЙ КОЛЁСНЫХ ПАР ВАГОНОВ**

*Р. И. ЧЕРНИН, О. М. МОИСЕЙЧИКОВА*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Случаи отказов буксовых узлов колёсных пар вагонов с тепловой посадкой внутренних колец подшипников качения на шейки осей не носят массового характера, но представляют реальную угрозу для безопасности движения поездов. Поэтому оценка прочности напрессовки внутренних колец буксовых подшипников при изготовлении и ремонте колёсных пар вагонов и локомотивов заслуживает особого внимания в решении задачи повышения надёжности железнодорожного подвижного состава. По данным ОАО «РЖД» [1] опасные неисправности, из-за которых вагоны отцеплялись в текущий отцепочный ремонт, составляют по буксовому узлу 57,4 % от всего количества отказов. Это свидетельствует о неудовлетворительном качестве ремонта и недостатках формирования а также выходного контроля соединений с гарантированным натягом.

Используемый в вагоноремонтном производстве и в вагоностроении способ косвенного контроля напрессовки колец буксовых подшипников на шейки осей колёсных пар получил распростра-

нение в связи с тем, что не разработаны и не внедрены в производство альтернативные методы контроля. Вместе с тем применяемый контроль напрессовок не обеспечивает получения вполне достоверных оценок упругого напряжённого состояния деталей формируемых соединений.

Качественно новым этапом в развитии системы контроля прочности сопряжения деталей с гарантированным натягом колёсных пар вагонов является создание и внедрение в производство средств контроля технического состояния тепловых напрессовок внутренних колец буксовых подшипников, при помощи которых осуществляются измерения напряжённо-деформированного состояния (НДС) охватывающей детали соединения с гарантированным натягом.

Следует отметить, что для повышения достоверности оценки прочности напрессовок по уровню НДС охватывающей детали необходимы дополнительные теоретические и экспериментальные исследования по выявлению влияния многих факторов (материала сопрягаемых деталей, способа сборки, шероховатости поверхностей контакта, физико-механического состояния последних и пр., вытекающих из молекулярно-механической теории трения), в том числе и точности определения окружных нормальных напряжений и деформаций на наружной поверхности контролируемой охватывающей детали соединения с гарантированным натягом.

Поэтому для разработки теории неразрушающего контроля напрессовки внутренних колец буксовых подшипников для изготовления действующих образцов технологической оснастки для вагоностроительного и вагоноремонтного производства необходимо создание конечно-элементной модели сопряжения для дальнейшего исследования напряжённо-деформированного состояния посадки с учётом изменения входных параметров, таких как конусность и овальность.

Задачи исследования модели:

– получить зависимость величины фактического натяга в сопряжении от деформации наружного диаметра внутреннего кольца буксового подшипника от натяга при различных сочетаниях конусности и овальности по средним значениям для возможности сравнения с результатами эксперимента;

– установить влияние конусности и овальности кольца при «идеальной» шейке на величину фактического натяга в сопряжении.

#### Список литературы

1 Моя колея 1520 Сайт о ремонте и эксплуатации подвижного состава [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://мояколея1520.рф/new//2178/> – Дата доступа : 16.09.2017.

УДК 614.841:629.45

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

*С. Н. ШАТИЛО*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Обеспечение пожарной безопасности железнодорожного подвижного состава является одной из актуальных задач отрасли. Несмотря на постоянное совершенствование системы противопожарной защиты и имеющийся опыт в обеспечении пожарной безопасности железнодорожного подвижного состава, имеются и проблемы. Это связано с тем, что в вагоно- и локомотивостроении появляются новые материалы, предлагаются конструктивные решения, применяется более сложное электрооборудование, увеличилась энергоёмкость и мощность источников электрической энергии. Проблема пожарной безопасности тягового подвижного состава, электро- и дизель-поездов, пассажирских вагонов остается острой. Причины возникновения пожаров разнообразны. Так, в пассажирском подвижном составе они зачастую носят случайный характер, однако до 30 % пожаров являются следствием технической неисправности, включая неисправность электрооборудования. Чаще всего возгорание происходит в купейных и плацкартных вагонах (более 70 % всего парка пассажирских вагонов). Остается высокой степень повреждения пассажирских вагонов в результате пожаров, т.к. более 25 % поврежденных вагонов при этом исключаются из эксплуатации. При нормативных значениях вероятности пожара и риска для жизни человека по ГОСТ 12.004–91 для данных объектов



$1 \cdot 10^{-6}$  расчетные показатели по данным ОАО РЖД составляют, соответственно,  $4,5 \cdot 10^{-4}$  и  $5,7 \cdot 10^{-3}$ . Повышенная опасность пожаров в пассажирских вагонах обусловлена наличием потенциальных источников загорания, значительной пожарной нагрузкой и высокой населенностью вагонов. В замкнутом и ограниченном пространстве более интенсивно развиваются опасные факторы пожара: открытый огонь, повышенная температура, дым и токсичные продукты горения, снижение концентрации кислорода в воздухе, разрушение конструктивных элементов локомотивов и пассажирских вагонов.

Безопасность пассажиров при пожаре во многом зависит от скорости его развития, которая в коридорах может достичь 5 м/мин. В современном подвижном составе сосредоточена значительная пожарная нагрузка, что естественно повышает категорию объекта по взрывопожарной и пожарной опасности. Пожарная нагрузка в данном случае включает постоянную (горючие материалы конструкции и внутренней отделки) и переменную (багаж, постельные принадлежности и др.) составляющие. При пожарной нагрузке, включающей в себя различные сочетания (смесь) твердых горючих веществ и материалов в пределах пожароопасного участка, пожарная нагрузка  $Q$ , МДж, определяется из соотношения

$$Q = \sum_{i=1}^n G_i Q_{ni}^p,$$

где  $G_i$  – количество  $i$ -го материала пожарной нагрузки, кг;  $Q_{ni}^p$  – низшая теплота сгорания  $i$ -го материала пожарной нагрузки, МДж·кг<sup>-1</sup>.

При известном значении  $Q$  удельная пожарная нагрузка  $q$ , МДж·кг<sup>-2</sup>, определяется из соотношения

$$q = \frac{Q}{S},$$

где  $S$  – площадь размещения пожарной нагрузки, м<sup>2</sup> (но не менее 10 м<sup>2</sup>).

Средняя суммарная пожарная нагрузка в современных пассажирских вагонах достигает 200 кг/м<sup>2</sup>. При этом основная ее доля приходится на древесину и древесные изделия (до 70 %), а остальная доля – на термогидроизоляцию, облицовку, обивку внутренних поверхностей и мебели. Материалы, входящие в постоянную пожарную нагрузку, как правило, характеризуются быстрым распространением пламени по поверхности, высокой дымообразующей способностью и токсичностью. Таким образом, приведенная выше характеристика объекта и пожаров, показывает, что уже на стадии проектирования и капитального ремонта должны приниматься соответствующие решения, направленные на снижение пожарной нагрузки, ограничение распространения пожара, его современное обнаружение, локализацию и тушение, безопасную эвакуацию пассажиров и обслуживание персонала.

В настоящее время для изготовления внутреннего оборудования пассажирских вагонов и отделки интерьера широко применяются пластиковые материалы, что создает определенные сложности в решении поставленных задач.

Процесс распространения пожара в подвижном составе, в частности, в пассажирских вагонах, можно разделить на две фазы. В начальной фазе пожар ограничивается объемом одного помещения или отсека (в пассажирских вагонах – это купе, служебное помещение или коридор). При этом горение распространения по поверхности стен, перегородок, т. е. имеет место линейное распространение пожара, которое характеризуется определенной скоростью. При температурах 300–400 °С горючие материалы уже способны поддерживать горение, происходит быстрое развитие пожара по всему внутреннему объему подвижного состава, т.е. наступает объемное распространение пожара. Поэтому при выборе отделочных и облицовочных материалов необходимо учитывать в первую очередь показатели их горючести, воспламеняемости и распространение пламени по поверхности.

Как показывает практика и результаты сертификационных испытаний, наиболее часто возникают проблемы с материалами, применяемыми для термоизоляции пассажирских вагонов, локомотивов и электропоездов и для напольных покрытий. Некоторые материалы не соответствуют нормативным требованиям по показателям горючести, индексу распространения пламени по поверхности, коэффициенту дымообразования и показателю токсичности продуктов горения. Несмотря на большое разнообразие новых материалов, многие из них не отвечают одновременно всем

нормируемым показателям пожарной опасности, особенно по коэффициенту дымообразования и показателю токсичности. При проектировании и постройке подвижного состава должны также предусматриваться меры по уменьшению пожарной опасности путем применения соответствующих объемно-планировочных и конструктивных решений.

УДК 629.4

## **ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТРАВМИРОВАНИЯ ПАССАЖИРОВ ПРИ ОПРОКИДЫВАНИИ ВАГОНА НА БОКОВУЮ СТЕНУ**

*С. Г. ШОРОХОВ, Д. Я. АНТИПИН, О. И. БОНДАРЕНКО*

*Брянский государственный технический университет, Российская Федерация*

Железные дороги России играют важную роль в транспортном комплексе страны, обеспечивая перевозку пассажиров на дальние расстояния в кратчайшие сроки. Конкурируя с автомобильным и авиационным транспортом, железные дороги имеют ряд преимуществ по скорости и обеспечению максимального комфорта для пассажиров. При этом все большее внимание уделяется безопасности перевозочного процесса: модернизируются существующие и вводятся в эксплуатацию новейшие технические средства регулирования движения, проектируется и изготавливается современный подвижной состав, развивается железнодорожная инфраструктура. Однако большое количество эксплуатируемого подвижного состава постройки 90-х годов XX века, не выработавшего свой ресурс, повышает риск возникновения аварийных ситуаций, в т.ч. связанных с продольными соударениями поездов с препятствиями. Данные ситуации могут приводить к опрокидыванию вагонов на боковую стену при сходе состава с рельсов, что сопровождается травмированием и гибелью пассажиров.

Для снижения тяжести получаемых пассажирами травм кузова всех пассажирских вагонов обладают минимальным уровнем механической безопасности, обеспечивая необходимую жесткость, препятствующую значительному деформированию кузовов. Для этого при проектировании кузовов вагонов учитывают минимально допустимые характеристики подкрепляющих элементов – стоек боковых и торцевых стен, дуг крыши. Однако в зависимости от характера развития аварии возможно разрушение несущей конструкции кузова вагона, особенно при условии его перекатывания по железнодорожной насыпи. В этом случае наблюдаются тяжелые травмы, получаемые пассажирами при соударении с элементами интерьера вагона.

Целью работы является моделирование аварийного опрокидывания кузова пассажирского вагона на боковую стену с использованием явного динамического анализа. Для решения данной задачи разработана пластинчатая конечно-элементная модель кузова пассажирского вагона модели 61-4440, состоящая из 48,7 тысяч элементов, объединенных в 63 тысячах узлах (рисунок 1). Для моделирования поверхности соударения создана твердотельная модель земляного полотна.

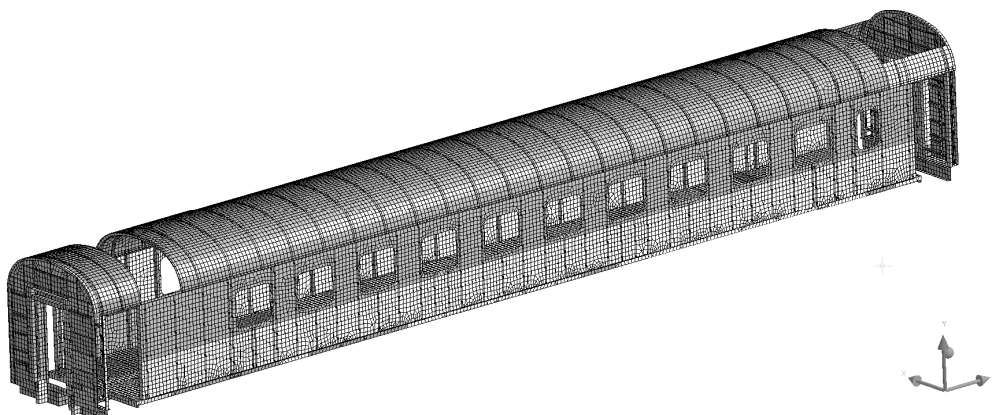


Рисунок 1 – Конечно-элементная модель кузова пассажирского вагона

Для моделирования соударения пассажирского вагона с насыпью к конструкции кузова приложена эквивалентная сила, являющаяся результирующей всех внешних сил, действующих на кузов: скорость движения вагона и ускорений, возникающих в момент опрокидывания кузова.

Для оценки уровней возможного травмирования пассажиров и членов поездных бригад в аварийной ситуации модель кузова вагона дополнена компьютерными моделями антропометрических манекенов, моделирующих пассажиров. Неоднократно апробированные модели позволяют с высокой степенью достоверности оценить уровни возможного травмирования при различных сценариях развития аварийной ситуации [1–4].

Компьютерная модель антропометрического манекена представляет собой совокупность взаимосвязанных шарнирами абсолютно твердых тел, геометрические и инерциальные характеристики которых соответствуют аналогичным параметрам тела человека.

В результате моделирования получены значения динамических усилий, действующих на элементы несущей конструкции кузова вагона и манекена. Анализ полученных данных показывает, что при опрокидывании вагона пластическим деформациям подвергается вся боковая стена кузова. При этом наибольшие напряжения возникают в местах крепления обшивки стены с верхней обвязкой кузова, которые приводят к частичному разрушению кузова. По полученным усилиям проведен расчет универсальных критериев травмирования пассажиров, оценивающих тяжесть получаемых травм. Установлено, что при опрокидывании кузова пассажирского вагона на боковую стену наибольшие усилия воздействуют на голову и шею пассажира, что может привести к получению черепно-мозговых травм и травм шейного отдела позвоночника. При этом полученные значения критериев травмирования не превышают допусковые.

#### Список литературы

1 Антипин, Д.Я. Оценка безопасности локомотивной бригады электропоезда при продольном аварийном соударении с препятствием / Д.Я. Антипин, В.В. Кобищанов, С.Г. Шорохов // Транспорт Российской Федерации. – 2015. – № 3. – С. 47–49.

2 Шорохов, С.Г. Анализ уровней черепно-мозговых травм пассажиров при аварийном соударении поезда с грузовым вагоном / С.Г. Шорохов, Д.Я. Антипин // Материалы IV Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Проблемы техносферной безопасности – 2015». – М. : Академия ГПС МЧС России, 2015. – С. 251–254.

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 Use of anthropometric dummies of mathematical models in the safety and comfortableness analysis of a passenger rolling stock / V. Kobishchanov [etc.] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering «International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems 2015, MEACS 2015». – 2016. – P. 012065.

### 3 НАДЕЖНОСТЬ И БЕЗОПАСНОСТЬ СИСТЕМ АВТОМАТИКИ, ТЕЛЕМЕХАНИКИ И СВЯЗИ

УДК 621.391

#### ВЛИЯНИЕ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА НА НАДЕЖНОСТЬ И ПАРАМЕТРЫ СИСТЕМ АВТОМАТИКИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

*А. М. АТАЕВ*

*Туркменский государственный институт транспорта и связи, Ашгабат*

Учитывая эксплуатационные особенности элементов автоматики железнодорожного транспорта, к ним предъявляются особые требования, относящиеся к экстремальной электронике. При проектировании систем автоматики для железнодорожного транспорта, эксплуатируемого в климатических условиях Туркменистана, необходимо исследовать влияние температурного режима на надежность элементов проектируемой системы. Под надежностью подразумевается свойство электронных приборов сохранять во времени значения всех параметров и выполнять требуемые функции в заданных условиях применения [1].

Надежность является составным понятием. Оно может включать в себя понятия безотказности, долговечности и сохраняемости. В электронной технике для количественной оценки надежности чаще всего используется параметр «интенсивность отказов» [1]:

$$\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{1}{n(t)} \cdot \frac{n(t) - n(t + \Delta t)}{\Delta t} = - \frac{1}{n(t)} \cdot \frac{dn(t)}{dt}, \quad (1)$$

где  $n(t)$  и  $n(t + \Delta t)$  – количество годных приборов в моменты времени  $t$  и  $(t + \Delta t)$  соответственно. Следовательно, разность  $n(t) - n(t + \Delta t)$  характеризует количество приборов, вышедших из строя в процессе испытаний на надежность за промежуток времени  $\Delta t$ .

Интенсивность отказов  $\lambda(t)$  быстро уменьшается в начале эксплуатации приборов (период приработки), затем длительное время остается постоянной [ $\lambda(t) = \lambda = \text{const}$ ] и после исчерпания срока службы резко возрастает [2].

Одним из основных факторов, отрицательно влияющих на надежность приборов, является температура. Это хорошо согласуется с физической теорией надежности, согласно которой эксплуатация любого технического устройства является необратимым процессом. Из-за наличия различного рода дефектов, образовавшихся на пути от исходного сырья до готового изделия, любое внешнее воздействие (электрическое, магнитное, тепловое, механическое и т.д.) вызывает ответную реакцию, которая сопровождается необратимым переходом всего объекта в иное предельное состояние (ухудшение выходных параметров или отказ). В соответствии с принципами термодинамики такой переход связан с преобразованием энергии активации дефектов, средняя скорость рассеяния которой определяется соотношением Аррениуса [2]

$$v = a \frac{kT}{h} \cdot \exp\left(-\frac{\Delta W}{kT}\right), \quad (2)$$

где  $a$  – масштабный коэффициент;  $k$  – постоянная Больцмана;  $T$  – абсолютная температура;  $h$  – постоянная Планка;  $\Delta W$  – энергия активации процесса.

Исходя из этого, время, протекающее от начала эксплуатации до разрушения или достижения иного предельного состояния любого технического объекта, должно удовлетворять условию [2]

$$t = \tau_0 \exp\left(\frac{1}{k} \sum_{i=1}^n \frac{\Delta W_i}{T_i}\right), \quad (3)$$

где  $\tau_0$  – масштаб времени;  $\Delta W_i$  — величина активационного барьера или запас энергии до разрушения  $i$ -й области;  $T_i$  – ее температура.

Величина активационного барьера  $\Delta W_i$  может иметь различную природу, и поэтому для конкретного прибора динамика процессов разрушения различных областей может отличаться на несколько порядков. Поскольку определяющее значение имеет ресурс наиболее теплонапряженной области, то уравнение (1) можно свести к выражению [3]

$$t = \tau_0 \exp\left(\frac{b}{T}\right), \quad (4)$$

где  $b$  – некоторый постоянный коэффициент, величина которого устанавливается путем статистической обработки опытных данных.

Справедливость выражения (4) хорошо подтверждается многими экспериментальными исследованиями по долговечности различных радиотехнических устройств [3].

Основным источником проблем, связанных с обеспечением высокой надежности радиоэлектронного оборудования, является внутренний фактор. Из анализа энергетических показателей электронной аппаратуры [4] следует, что в среднем только 5–10 % подводимой мощности отводится в виде полезных сигналов. Остальная мощность рассеивается в виде тепла. Поэтому важно, чтобы тепловой режим работы приборов и оборудования соответствовал тем условиям, на которые они рассчитаны. Так, например, невыполнение этих условий для электровакуумных приборов вызывает интенсивное газоотделение с анода, «отравляющее» катод.

Превышение температуры сеточного блока электронных ламп приводит к возникновению остаточных деформаций в витках и траверсах и, как следствие, к изменению формы блока с нарушением условий формирования электронного потока [4]. Перегрев катода вызывает интенсивное испарение оксидного покрытия, что, в свою очередь, приводит к снижению электрической прочности прибора и увеличивает термомиссионную составляющую обратного тока [5].

Не менее жестким тепловым режимом характеризуется работа СВЧ приборов [7]. В частности, долговечность ЛБВ ограничена несколькими тысячами часов, что обусловлено расплавлением спирали, а также напылением ее материала на керамические стержни при перегреве [8].

В газоразрядных приборах нарушение теплового режима водородного генератора сопровождается изменением рабочего давления газа. Это ухудшает стабильность управления разрядом, снижает электрическую прочность прибора и в отдельных случаях приводит к росту мощности, выделяющейся на его электродах [9].

Неравномерное распределение температуры по элементам электронных приборов может вызывать значительное отклонение важных геометрических размеров. В ряде случаев эта проблема представляет собой сложную задачу, как, например, при разработке электронных пушек, фокусирующих систем [7] и резонаторов оптических квантовых генераторов [6, 7].

Что касается дискретных полупроводниковых приборов, то их тепловой режим лимитируется не только свойствами полупроводниковых структур, но и температурой плавления припоев, применяемых при их изготовлении [7]. Тем не менее, основным результатом воздействия повышенных температур является тепловой пробой ( $p-n$ )-переходов [9]. В случае интегральных микросхем и процессоров помимо теплового пробоя ( $p-n$ )-переходов, среди возможных результатов воздействия повышенных температур отмечаются также пробой диэлектриков тонкопленочных конденсаторов, нестабильность и деградация электрических параметров, обрывы и короткие замыкания металлизации [9].

В целом же, применение полупроводниковых приборов значительно улучшает энергетические соотношения в системах автоматики [5], однако для них свойственна более сильная зависимость выходных параметров от температуры [6, 8–10].

Современное развитие электроники направлено на миниатюризацию электронных схем за счет увеличения вычислительных мощностей на единицу объема. Эта тенденция основывается на увеличении степени интеграции, что в свою очередь неизбежно приводит к увеличению плотности выделяемой тепловой мощности и, как следствие, к проблемам отвода тепла.

Мировой лидер по производству процессоров компания «Intel» в 2015 г. выпустила в продажу процессор «Core i7-6700K», основанный на 14 нм техпроцессе. Исследования по изучению характе-

ристик процессора показали значительное увеличение выделяемой плотности теплового потока в сравнении с предыдущими версиями процессоров [11]. При площади процессора в 14 см<sup>2</sup> выделяемая тепловая мощность равна 91 Вт. В соответствии с планами «Intel» во втором полугодие 2017 г. ожидается выпуск процессора, основанный на 10 нм технологическом процессе. Учитывая устоявшееся соотношение вычислительной мощности на потребляемую, предполагается увеличение тепловыделения ожидаемого процессора. Это подтверждает актуальность проводимых исследований, направленных на разработку новых, высокоэффективных систем охлаждения микроэлектронных приборов.

В настоящее время в плане повышения надежности работы и стабильности выходных параметров электронных приборов, используемых в системах автоматики железнодорожного транспорта, большое внимание уделяется не только совершенствованию традиционных способов охлаждения, но и поиску новых технических решений, обеспечивающих отвод и эффективное рассеяние тепловой энергии при минимальных энергетических и масса-габаритных показателях устройств в целом. В этой связи актуальным направлением, требующим детального изучения, является разработка высокоэффективных систем стабилизации температуры для систем автоматики железнодорожного транспорта на основе тепловых трубок.

#### Список литературы

- 1 ГОСТ 27.002-2009. Надежность в технике. Термины и определения. – М. : Стандартинформ. – 2011.
- 2 **Жарких, А. П.** // Воронежский государственный технический университет, 2005. – 46 с.
- 3 **Шехмейстер, Е. И.** Технология производства электровакуумных и полупроводниковых приборов : учеб. пособие / Е. И. Шехмейстер. – М. : Высш. школа: 1992. – 368 с.
- 4 **Савенченко, В. П.** Методы и модели исследования остаточного ресурса изделий радиоэлектронной техники. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. – Фрязино, 1999 г.
- 5 **Алямовский, А. А.** Инженерные расчёты в Solidworks Simulation / А. А. Алямовский. – М. : ДМК-Пресс, 2010. – 235 с.
- 6 **Ткаченко, Ф. А.** Электронные приборы / Ф. А. Ткаченко. – М. : ИНФРА, 2011. – 160 с.
- 7 **Улитенко, А. И.** Система стабилизации температуры оболочек мощных электронных устройств / А. И. Улитенко, В. В. Прадед, В. А. Пушкин // ПТЭ. – 2003. – № 5. – С. 156–159.
- 8 Улитенко, А.И., Прадед В.В., Пушкин В.А. // Холодильная техника, 2003, № 11. – С. 14-16.
- 9 Улитенко А.И. // Электроника. Межвуз. сб. науч. трудов, Рязань, 2003. – С 15-16.
- 10 Обзор процессоров Intel Core 6-го поколения // <http://www.intel.ru/content/www/ru/ru/pc-upgrades/6th-gen-core-processor-family.html>.
- 11 Electronics-review. Система водяного охлаждения компьютера // <http://www.electronics-review.ru/sistema-vodyanogo-oxlazhdeniya-kompyutera>.
- 12 Пат. № 562, G06 1/20. Охлаждающее устройство на основе диэлектрической жидкости и тепловых труб / Аширбаев М.Х., Кулиев Н.А., Атаев А.М. // Государственная служба интеллектуальной собственности (Туркменистан). Заявлено 11.01.2013. Опубликовано 24.05.2013.
- 13 Пат. № 630, H05K 7/20, G06 1/20. Способ охлаждения микроэлектронных схем на основе испарения в вакуумных средах / Аширбаев М.Х., Кулиев Н.А., Атаев А.М. // Государственная служба интеллектуальной собственности (Туркменистан). Заявлено 04.03.2013. Опубликовано 12.02.2015.

УДК 338.47+656.256

## ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ

*К. А. БОЧКОВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

*Д. В. КОМНАТНЫЙ*

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

К современным микропроцессорным и микроэлектронным системам обеспечения безопасности движения поездов, равно как и к системам управления ответственными технологическими процессами, предъявляются высокие требования по безопасности и электромагнитной совместимости (ЭМС). Поэтому усилия разработчиков и производителей направлены на удовлетворение этим требованиям. При этом производятся существенные затраты денежных средств. Современное состоя-

ние экономики таково, что необходимо всемерно снижать затраты, но разумеется не в ущерб техническим показателям, с целью получения выгод в конкурентной борьбе производителей. Для количественной оценки эффективности затрат на ЭМС необходима методика экономического анализа, которая до настоящего времени практически отсутствует. В докладе предлагается такая методика, основанная на результатах монографии А. Д. Фролова.

Для оценки эффективности мероприятий по обеспечению ЭМС может применяться частный показатель эффективности, зависящий от особенностей проектируемой системы как системы обеспечения безопасности. Его расчет осуществляется следующим образом.

Количественная оценка полезного выхода  $Y = NW$ , где  $Y$  – оценка, бит·Вт;  $N$  – число состояний энергии сигналов аппаратуры в одну секунду, бит;  $W$  – энергия выходных сигналов, Вт.

Число состояний энергии в 1 секунду

$$N = F \lg_2 \left( 1 + \frac{W_c}{W_n} \right), \quad (1)$$

где  $F$  – полоса частот аппаратуры, Гц;  $W_c$  – энергия сигнала, Вт;  $W_n$  – энергия помех, Вт.

Если энергия помех значительно больше энергии сигнала, то выражение в скобках практически равно 1, а логарифм равен нулю. Следовательно, соотношение (1) верно описывает воздействие помех.

На основании работ по оценке воздействия помех на микроэлектронную аппаратуру можно принять, что энергия полезного сигнала снижается с ростом энергии помех. Тогда для описания этого эффекта можно принять зависимость между энергиями в виде логистической кривой

$$W_c = \frac{W_{c,ном}}{0,5 + 05 \exp(bW_n)}, \quad (2)$$

где  $W_{c,ном}$  – номинальная энергия сигнала, Вт;  $b$  – расчетный коэффициент.

Из формулы (2) следует, что при малой энергии помех энергия сигнала равна номинальной, а при очень высокой энергии помех энергия сигнала равна практически нулю. Таким образом, формула (2) правильно отражает процесс воздействия помех.

За  $T$  часов эксплуатации оценка полезного выхода

$$Y = \left[ F \lg_2 \left( 1 + \frac{W_c}{W_n} \right) \right] \left[ \frac{W_{c,ном}}{0,5 + 05 \exp(bW_n)} \right] \cdot 3600T^2. \quad (3)$$

Суммарная наработка  $Y_\Sigma$  есть сумма оценок полезного выхода отдельных элементов аппаратуры. Тогда эффективность  $E$  может быть определена по формуле  $E = \frac{Y_\Sigma}{C}$ , где  $C$  – суммарные затраты на обеспечение ЭМС, ден. ед.

Предлагаемая методика анализа экономической эффективности адекватно отражает взаимосвязь в денежном выражении между затратами и уровнем ЭМС и может использоваться на практике.

УДК 004.021

## АВТОМАТИЗАЦИЯ МЕТОДА ОБНАРУЖЕНИЯ ОТКАЗОВ НА ОСНОВЕ ДОСТУПНОСТИ АДРЕСНЫХ ДАННЫХ

*К. А. БОЧКОВ, С. Н. ХАРЛАП, Б. В. СИВКО*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Современные железнодорожные аппаратно-программные комплексы относятся к системам, критичным по безопасности (СКБ), и к ним предъявляются соответствующие требования. Для обеспечения надлежащего уровня безопасности во время проектирования задействуется комплекс методов и средств, в которые входит решение проблемы обнаружения аппаратных отказов, и это регламентируется стандартом ИЕС 61508. Часть работ во время проектирования и реализации может

быть автоматизирована, что не только уменьшает затраты во время разработки и верификации, но и снижает влияние человеческого фактора.

Одним из способов обнаружения отказов микропроцессорных систем является метод обнаружения отказов на основе доступности адресных данных, при применении которого происходит выбор определённого набора адресов, зависящего от того множества отказов, наличие которых требуется проверить. Ключевая идея метода состоит в том, что в случае отказа один из адресов становится недоступным, и на этом основании система может перейти в безопасное состояние или запустить процедуры самовосстановления. Данный метод предоставляет способы для быстрого определения требуемого набора адресов, которые применяются вручную.

Задачу автоматического поиска адресов можно решить с помощью программных средств. На практике требуется на основании множества проверяемых отказов и разрешенных адресных диапазонов вычислить возможные наборы адресов и определить оптимальные согласно заданным критериям. Целью данной автоматизации является уменьшение ошибок во время поиска адресов, нахождение оптимального из возможных наборов и уменьшение затрат. Разработанный алгоритм может применяться на стадии компиляции, когда становятся известными доступные свободные адресные диапазоны и автоматически на их основании определяются адреса по рассматриваемому методу.

Множество проверяемых отказов для СКБ, как правило, регламентируется стандартом IEC 61508, где описаны наиболее часто проявляющиеся на практике отказы константного нуля или единицы (*stack-at faults, SA*) и отказы короткого замыкания (*bridge faults, B*). Рассмотрение данных моделей в контексте автоматизации показало, что решение для *SA*-отказов не является сложным, так как каждая из проверок маскирует по биту один или два адреса. Для *B*-отказов проверка короткого замыкания потребуется между любыми двумя битами, и для решения необходим перебор  $n!$  вариантов (где  $n$  – размер рассматриваемого регистра). Если существует решение для одного адреса, то данная задача становится эквивалентной задаче о раскраске графа двумя цветами, которая если имеет решение, то оно находится за линейное время. Если решения нет, то задача становится *NP*-сложной.

На практике метод обнаружения отказов на основе доступности адресных данных в основном применяется для небольшого числа *B*-отказов и соответственно решением является малое число адресов. В данной ситуации было принято решение, что программное обеспечение должно хорошо решать задачу для одновременно рассматриваемых обоих типов отказов и предоставлять удобные параметры поиска и критерии выбора. При рассмотрении большого числа *B*-отказов могут быть эффективно применены вероятностные алгоритмы, решающие задачу поиска максимального разреза графа.

Разработанное программное обеспечение *Address Detection* позволяет определять возможные решения для 1 и 2 адресов, при этом задается произвольное множество *SA*- и *B*-отказов, имеется возможность указания запрещённых диапазонов (где располагается программа, данные и др.). При обнаружении решения из 1 адреса программа предоставляет максимальный и минимальный адреса из возможных, а для 2 адресов в решении выбираются пары по двум критериям: минимальное расстояние между адресами и выбор таких пар, где минимальный адрес максимален (в этом случае весь диапазон до минимального остается свободным для использования). Имеется возможность определения всех решений при указанных условиях.

Критерии и настраиваемые параметры выбраны и реализованы исходя из практического опыта применения для СКБ.

Программное обеспечение *Address Detection* опробовано в лаборатории «БЭМС ТС» БелГУТа и зарегистрировано в 2017 году в Национальном центре интеллектуальной собственности, г. Минск.

УДК 656.2.08

## ОЦЕНКА БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ ИНФОРМАТИЗАЦИИ БЕЛОРУССКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

П. М. БУЙ, С. Г. КУЛЬГАВИК

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

На Белорусской железной дороге активно внедряются и используются автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУ ТП), содержащие в своем составе или ис-



пользующие такие элементы информационных технологий, как компьютеры и телекоммуникационные системы. Проанализировав тенденции эволюции угроз, направленных на нарушение как информационной, так и функциональной безопасности объектов информатизации [1], становится очевидной необходимость системного подхода при организации защиты таких АСУ ТП.

В последние годы в статистике нарушений информационной безопасности зафиксирован резкий сдвиг от внешних к внутренним угрозам безопасности объектов информатизации: примерно две трети от общего числа всех наиболее серьезных инцидентов, связанных с безопасностью, составляют нарушения или ошибки законных пользователей объектов информатизации [2]. В таких условиях функционирования объектов информатизации Белорусской железной дороги необходимо адекватно подходить к разработке моделей нарушителей безопасности таких объектов, а также максимально объективно оценивать опасность потенциальных угроз, реализуемых против безопасности объекта, и возможных его уязвимостей.

В качестве потенциального внутреннего нарушителя объекта информатизации Белорусской железной дороги был выбран законный пользователь одного из компьютеров, подключенных к сети. Сокращенная неформальная модель такого нарушителя имеет следующий вид:

- нарушитель имеет точку доступа к сети и собственное помещение или закрытое пространство общего помещения, позволяющее ему скрытно подключать собственное сетевое оборудование;
- нарушитель обладает достаточно неплохими знаниями в сфере IT, включающими, в частности, знания о работе протоколов IP, TCP, UDP, SNMP, TFTP, стандарта IEEE 802.1Q для VLAN, навыками конфигурирования сетевого оборудования;
- нарушитель своей целью ставит доступ к трафику других пользователей сети;
- причинами, побуждающими внутреннего нарушителя к неправомерным действиям, могут быть демонстрация своего превосходства (самоутверждение), «борьба с системой», корыстные интересы;
- характер действий нарушителя – скрытый;
- финансовые возможности нарушителя достаточны для приобретения в собственность необходимого сетевого оборудования.

Такой нарушитель способен после непродолжительной подготовительной работы анализировать сетевой трафик любых двух пользователей локальной сети, к которой он относится, что было экспериментально проверено в среде моделирования Cisco Packet Tracer.

Максимально объективно разработанная модель нарушителя является гарантией построения адекватной системы обеспечения информационной безопасности [3].

Для совокупной оценки угроз и уязвимостей целесообразно использовать метод экспертных оценок, при котором экспертам предлагается оценить возможность реализации некоторого перечня угроз. Совокупная оценка позволяет не просто определить оторванные друг от друга перечни угроз и уязвимостей, но и проследить их возможное взаимодействие в процессе реализации данных угроз через уязвимости объекта информатизации. При этом необходимо использовать следующие критерии:

- 1) возможность возникновения источника угрозы в достаточном окружении от объекта информатизации для реализации угрозы через уязвимость;
- 2) степень готовности источника угрозы воспользоваться уязвимостью объекта информатизации и реализовать угрозу;
- 3) распространенность уязвимости по объекту информатизации или частота ее появления;
- 4) доступность уязвимости для реализации угрозы ее источником;
- 5) фатальность от реализации угрозы источником угрозы через уязвимость объекта информатизации.

Для оценки угроз и уязвимостей объекта информатизации необходимо:

- определить совокупности угроз и уязвимостей безопасности объекта информатизации;
- увязать между собой угрозы и уязвимости, установив потенциальную реализацию первых через вторые;
- перевести в резерв несвязанные уязвимости и угрозы;
- вычислить коэффициент опасности реализации каждой угрозы через каждую увязанную с ней уязвимость;
- для каждой из угроз и уязвимостей определить коэффициенты их опасностей;
- произвести ранжирование угроз и уязвимостей, определив тем самым наиболее опасные из них.

## Список литературы

- 1 Kaspersky security bulletin 2016 [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https://securelist.ru/files/2016/12/Kaspersky-Security-Bulletin-2016\\_RUS.pdf](https://securelist.ru/files/2016/12/Kaspersky-Security-Bulletin-2016_RUS.pdf) – Дата доступа: 11.09.2017.
2. **Олифер, В.** Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы : учеб. – 5-е изд. / В. Олифер, Н. Олифер. – СПб. : Питер, 2016. – 992 с.
3. **Бочков, К. А.** Модель внутреннего нарушителя информационной безопасности сети дистанции сигнализации и связи / К. А. Бочков, П. М. Буй, М. В. Лукашени // Проблемы и перспективы развития транспортных систем и строительного комплекса : материалы III Междунар. науч.-практ. конф. / под общ. ред. В. И. Сенько. – Гомель : БелГУТ, 2013. – С. 109–110.

УДК 621.311

## ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ ЛИНИЙ ДПР С ПОТРЕБИТЕЛЯМИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ДОРОГАХ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

*Д. Р. ЗЕМСКИЙ*

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

На железнодорожном транспорте, как и в промышленности, немалую роль играет оборудование, чувствительное к качеству электроэнергии, от которого зависит не только производственный процесс, но и безопасность работы персонала. Устройства СЦБ относятся к потребителям электроэнергии первой категории, что вызвано исключительной важностью системы автоматики и управления в вопросе обеспечения безопасности движения поездов. Следовательно, к надежности электроснабжения таких потребителей предъявляют высокие требования. Тем не менее, резервное питание устройств СЦБ осуществляется линиями ДПР («два провода – рельс»), которые уступают линиям продольного электроснабжения в области электромагнитной совместимости.

Отличительной особенностью линий ДПР является использование рельсов железнодорожного пути в качестве третьей фазы линии. Вследствие этого передача электроэнергии сопровождается дополнительным ухудшением ее качества, что проявляется в виде искажения синусоиды, несимметрии, колебаний и отклонения питающего напряжения в точке присоединения потребителей.

Провода линии ДПР, как и у линии продольного электроснабжения, размещены на опорах контактной сети и подвергаются сильному воздействию её электромагнитного поля. Наведенное в проводах напряжение, в случае электрификации железной дороги на переменном токе, имеет в своем составе гармонические составляющие, кратные 50 Гц. Наличие лежащей на земле фазы приводит к тому, что потенциал рельса, относительно земли, в отличие от потенциала двух размещенных на опоре проводов, остается практически неизменным вдоль всей длины сближения контактной сети и линии ДПР. В результате возникает смещение треугольника линейных напряжений у потребителя по отношению к треугольнику напряжений на шинах подстанции, что проявляется в виде несимметрии питающего напряжения. При большой несимметрии происходит значительное снижение мощности асинхронных двигателей, в частности стрелочных электроприводов.

Качество электроэнергии на шинах тяговой подстанции может ухудшаться из-за неравномерной загрузки фаз трансформатора, гармонического состава тягового тока, воздействия системы внешнего электроснабжения, интенсивности и режима работы электроподвижного состава. Кроме того, ток нагрузки нетяговых потребителей неравномерно распределяется по рельсам железнодорожного пути, что создает дополнительное мешающее воздействие на сигналы автоблокировки. Сильные помехи могут стать причиной отказов работы устройств СЦБ, оказавшихся под их воздействием.

К вышесказанному стоит добавить, что вследствие особенности подключения вводов тяговых подстанций переменного тока к системе внешнего электроснабжения, в большинстве случаев невозможно обеспечить двустороннее питание линий электроснабжения нетяговых потребителей. В результате этого эксплуатация линии ДПР, с позиции надёжности питания и потерь мощности в системе, имеет существенные недостатки по сравнению с аналогичной системой на дорогах постоянного тока.

В целом, неудовлетворительное качество питающего напряжения приводит к ухудшению условий работы нетяговых потребителей, подключенных к линии ДПР, вызывает дополнительные потери мощности, уменьшает срок эксплуатации оборудования.

Таким образом, возникает задача повышения эффективности и надёжности передачи электрической энергии потребителям, подключенным к линиям ДПР, что требует глубокого исследования влияния системы тяги на качество электрической энергии в смежной линии с учетом частичного вклада потребителей в ухудшение качества электроэнергии.

УДК 621.397

## ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПЕРЕДАЧИ СИГНАЛОВ СИСТЕМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ

*М. Р. ИВАШЕВСКИЙ, Н. В. ЯЦКИВСКИЙ, Я. Ю. МЯГКОВ*  
*Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва*

В настоящее время широкое распространение в сферах обеспечения безопасности жизнедеятельности человека получили системы интеллектуального видеонаблюдения (СИВ). Проблема обеспечения безопасности особенно актуальна на железнодорожном транспорте. Тревожная статистика дорожно-транспортных происшествий (ДТП) на переездах и других аварий на участках железных дорог со сложным рельефом заставляет внедрять специальные технические средства, способствующие предотвращению и минимизации последствий. Наиболее перспективными средствами повышения безопасности движения поездов являются системы интеллектуального видеонаблюдения (СИВ), которые включают в себя видеокамеры, установленные, например, на переездах, видеосервер, находящийся в диспетчерском центре управления, и каналы связи. Наличие в сервере функции видеоаналитики изображений, поступающих от видеокамер, позволяет осуществлять распознавание и классификацию опасных объектов на основании разработанных шаблонов.

Совместное использование систем интеллектуального видеонаблюдения с системой интервального регулирования поездов, например СИРДП, позволит решить главную задачу – повышение безопасности движения поездов. Однако системы СИВ имеют существенный недостаток: высокая вероятность ложного обнаружения, что может привести к необоснованным командам экстренного торможения и, как следствие, к негативным последствиям в виде задержек движения поездов. Причина ложных обнаружений – в недостаточно высоком качестве формирования цифрового видеосигнала, искажениях в линиях связи, несовершенных алгоритмах работы видеоаналитики. Поэтому одной из задач внедрения СИВ является оценка качества передачи видеосигналов и разработка путей снижения вероятности ложного обнаружения. Так, вероятность ложного срабатывания при распознавании опасных объектов зависит от характеристик оптоэлектронных средств и качества видеоаналитики, погрешностей в телекоммуникационных системах и применяемых в них информационных технологий передачи информации. Проблема ложных срабатываний постепенно решается путем совершенствования алгоритмов видеоанализа, способов линейного кодирования и модуляции, внедрения современных технологий проектирования и создания новых электронных средств (пикселей, фотоприемников). Последнее особенно важно, так как именно фотосенсоры видеокамер являются основным источником цифрового шума и главным фактором, определяющим качество передачи цифрового видеосигнала.

Как отмечено выше, результат распознавания образа в видеосервере СИВ зависит от многих факторов: качества формирования цифрового сигнала на передающей стороне (разрешения фотосенсора видеокамер, погрешностей цифрового преобразования, погодных условий, освещенности, посторонних источников света и т.д.), помех и искажений в линии связи, шумов фотоприемника и погрешностей интерполяции на приемной стороне, алгоритма распознавания. Большинство из этих факторов вызывают искажения видеосигнала, которые можно оценить в виде показателя качества приведенной к мощности полезного сигнала суммарной погрешности  $\delta_c^2$ . Общий вид приведенной суммарной погрешности  $\delta_c^2$ , определяющей качество передачи видеосигналов в цифровой форме, можно представить следующим образом:

$$\delta_c^2 = \delta_c^2 + \delta_{кв}^2 + \delta_l^2 + \delta_{ан}^2 + \delta_n^2, \quad (1)$$

где  $\delta_c^2$  – приведенная погрешность фотосенсора видеокамеры (зависит от размеров и темнового тока фотодиодов пикселей);  $\delta_{кв}^2$  – приведенная погрешность квантования видеосигнала (зависит от динамического диапазона сигнала, шага квантования, позиционности кода);  $\delta_n^2$  – приведенная погрешность, вносимая линией связи (зависит от типа линии);  $\delta_{ан}^2$  – приведенная аномальная погрешность от шума фотоприемника (в случае использования волоконно-оптической линии связи);  $\delta_{ин}^2$  – приведенная погрешность интерполяции (определяется алгоритмом обработки выборок).

В выражение для оценки  $\delta_c^2$  не включены искажения от плохих условий съемки объекта, негативных эффектов от порядка и плотности расположения пикселей на ПЗС-матрице и др. Однако с помощью  $\delta_c^2$  можно оценить величину искажений за счет приемо-передающей аппаратуры и линии связи, которые вносят существенный вклад в качество распознавания образа в видеосервере системы видеонаблюдения.

Кроме погрешностей, вносимых физической линией связи и связанных с модуляцией и помехами, следует отметить возможные ошибки в цифровых видеосигналах за счет различных протоколов передачи информации.

Анализ влияния различных факторов на величину приведенной суммарной погрешности передачи цифрового видеосигнала позволит повысить эффективность распознавания опасных объектов и, как следствие этого, безопасность движения поездов на железнодорожном транспорте.

Главным источником шума являются фотосенсор и линия связи. Для улучшения качества сигнала фотосенсора необходимо совершенствовать технологии изготовления фотодиодов и создание новых функциональных материалов для оптоэлектроники.

Для снижения помех в радиолиниях необходимо совершенствовать электромагнитную обстановку и технологии кодирования и модуляции.

При использовании ВОСП нужно совершенствовать приемо-передающие модули и повышать пропускную способность ВОСП для возможности передачи сигналов высокой четкости, имеющих полосу частот порядка 1 ГГц.

Среди разных вариантов организации систем интеллектуального видеонаблюдения меньше искажений будет иметь место в СИВ со встроенной в камеру видеоаналитикой, где на месте съемок происходит обнаружение опасных объектов. Только в случае обнаружения изображение передается на видеосервер, где информация анализируется путем сравнения с сигналами от других камер. Встроенная видеоаналитика позволяет исключить искажения видеосигнала за счет линии связи и снизить вероятность ложных обнаружений.

Совершенствование принципов организации СИВ и видеоаналитики, методов борьбы с цифровым шумом, технологий проектирования и создания элементной базы оптоэлектроники позволяют значительно повысить безопасность на железнодорожном транспорте.

УДК 621.396.97

## **ПРОБЛЕМЫ ПОМЕХОЗАЩИЩЕННОСТИ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ И ТЕЛЕМЕХАНИКИ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ СВЕРХШИРОКОПОЛОСНЫХ ИМПУЛЬСОВ ПОМЕХ**

*А. С. КАЗАКОВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Современные микропроцессорные системы управления движения поездов, обладая значительно большими функциональными возможностями, вместе с этим становятся уязвимыми по отношению к новому виду угроз – воздействию сверхширокополосных импульсов помех (СШИП) высокой энергии. Это обусловлено как использованием быстродействующей элементной базы, так и размещением устройств систем автоматики и телемеханики по станциям и перегонам, соединенными кабелями связи. При этом современные сверхширокополосные (СШП) генераторы помех способны создавать поле до 100 кВ/м которое способно привести к сбоям и отказам системы. Это создает предпосылки использования СШП импульсов для преднамеренного электромагнитного воздействия и терроризма. Так как микропроцессорные системы железнодорожной автоматики и телемеханики (СЖАТ) являются си-

стемами нижнего уровня при обеспечении безопасности поездов, то становится актуальным вопрос защиты таких систем управления движением поездов от подобного рода воздействий.

Основным способом защиты от СШП воздействия является экранирование. В микропроцессорных устройствах СЖАТ в качестве экрана выступает корпус. Эффективность экранирования во многом обеспечивается его однородностью. На практике невозможно изготовить полностью однородный корпус. Как правило, в корпусе присутствуют различного рода неоднородности: вентиляционные отверстия, болтовые соединения, зазоры и др. Эти элементы корпуса способствуют проникновению электромагнитного излучения внутрь устройства, создают внутри корпуса помеховое электромагнитное поле, которое приводит к сбоям электронной элементной базы. Однако вместе с тем в имеющихся литературных источниках вопросам расчета и анализа проникновения излучения через неоднородности экранов уделяется недостаточное влияние.

Для расчета и анализа эффективности электромагнитного экрана на стадии проектирования могут быть использованы автоматические системы моделирования, например CST Microwave Studio. В ее основе лежат два метода расчета: метод конечных разностей (Finite Difference Time Domain, FDTD) и метод матриц линий передачи (transmission-line matrix method, TLM). Они позволяют осуществлять параллельные вычисления на компьютерах, что является современным способом повышения быстродействия программного обеспечения. Основным же недостатком методов является то, что трехмерные задачи, где имеются сложная конфигурация границ и большое количество деталей, требуют значительных вычислительных затрат и обладают чувствительностью к погрешностям исходных данных. В качестве альтернативы в НИЛ «Безопасность и электромагнитная совместимость технических средств» БелГУТа реализован аналитический метод расчета электромагнитного излучения неоднородностей корпусов и разработано программное обеспечение для инженерного использования. В сравнении с имеющимися программными комплексами она имеет высокую вычислительную эффективность, не имеет проблемы ленгмюровских колебаний из-за погрешностей входных данных, не требует больших вычислительных ресурсов. Однако программное обеспечение обладает и некоторыми недостатками: в процессе расчета не учитывается материал экрана, позволяет производить расчеты только наиболее распространенных неоднородностей. Вторым по значимости каналом проникновения помех являются сети передачи данных. Информационная сеть современных микропроцессорных систем управления движением поездов организована по средствам интерфейсов: RS-232, RS-485, RS-422, Ethernet, CAN. Все виды используемых интерфейсов для приема и передачи сигналов используют многопроводные сигнально-блокировочные экранированные кабели марки КРУШЭ и жильностью  $3 \times 1$ . Обзор литературы показал, что в настоящее время отсутствуют исследования механизмов деструктивного воздействия и испытаний устойчивости сети связи хотя бы для одной из используемых технологий, например Ethernet, и при этом по общепризнанным методикам диагностики сетей.

Проблемы помехозащищенности микропроцессорных систем автоматики и телемеханики от воздействия сверхширокополосных импульсов помех не могут быть решены исключительно экспериментальным путем. Поэтому необходим комплекс методов, включающих расчетно-теоретические, имитационные методы и экспериментальные. Необходимо развитие, совершенствование и разработка новых специальных методов анализа и оценки воздействия СШП ЭМИ на устройства СЖАТ, установления перечня параметров, определяющих поражающее действие. Перспективным является разработка системных методов и средств обеспечения устойчивости микропроцессорных устройств СЖАТ к воздействию СШП импульсов помех с учетом современных требований технических нормативных правовых актов.

УДК 656.25

## **СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ СИСТЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕНТРАЛИЗАЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ**

*А. Н. КОВРИГА, К. А. БОЧКОВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В настоящее время на железных дорогах стран СНГ используется большое количество релейных систем электрической централизации (ЭЦ) и автоматической блокировки (АБ) с превышением

нормативного срока эксплуатации. Принято считать полезным сроком эксплуатации систем ЭЦ – 25 лет, систем АБ – 30 лет. В то же время на железных дорогах, например в России, на данный момент свыше этого срока эксплуатируются 80 % стрелок ЭЦ и 63 % тыс. км АБ. Более того, свыше 51 тыс. стрелок из общего количества 130 тыс. и 15 тыс. км АБ из общего числа 61 тыс. км отработало более 35 лет. Примерно такая же ситуация, но со значительно меньшими количествами стрелок и километров АБ сложилась и на Белорусской железной дороге.

Более 10 лет назад на Белорусской железной дороге было принято стратегически правильное направление совершенствования электрической централизации путём использования современной микропроцессорной элементной базы. Вместе с тем релейная элементная база, длительное время используемая при разработке систем железнодорожной автоматики и телемеханики (СЖАТ), в настоящее время ещё является основной и в системах электрической централизации, так как обладает рядом положительных качеств. К ним относятся:

- высокие уровни обеспечения безопасности работы схем на реле I класса надёжности, подтверждённые длительным опытом эксплуатации;
- устойчивость к климатическим факторам, например повышению температуры внешней среды;
- защищённость от влияния электромагнитных и других помех;
- простота и наглядность схем, обеспечивающих функциональную и кибербезопасность, что позволяет широкому кругу специалистов самостоятельно разрабатывать и вносить изменения с контролем и проверкой их действия и необходимых условий безопасности движения;
- сравнительно высокий технический ресурс электромагнитных реле и аппаратуры на их основе. В последнее время наблюдается тенденция увеличения ресурса за счёт проводимых мероприятий, таких как исключение электролитических конденсаторов, совершенствования конструкции реле, использования новых материалов и т.д.

Указанные достоинства реле как элементной базы является серьёзным фактором для возможности их дальнейшего применения при выполнении ими части ответственных функций ЭЦ, например в исполнительной группе системы ЭЦ. При этом, как показывает опыт разработки и эксплуатации ряда систем релейно-процессорных систем (РПЦ), за счёт передачи ряда функций, непосредственно не связанных с обеспечением безопасности движения компьютерной технике, уменьшения числа повторителей, изменения способов и схем предоставления информации и т.д. можно достичь существенного уменьшения числа электромагнитных реле в системах ЭЦ.

Имеется мнение специалистов и разработчиков систем ЭЦ, что стремление максимально сократить число реле в системах МПЦ экономически оправданно для крупных станций (от 30–40 и выше стрелок) с большой интенсивностью движения и объемом маневровой работы. При внедрении МПЦ на таких станциях можно ожидать более высокий эффект, в том числе и за счет снижения неправильных (ошибочных) действий дежурных по станции путем использования интеллектуальных интерфейсов (речевых подсказок, логического контроля и т.д.), а также увеличения объема предоставляемой информации по объектам контроля. На небольших станциях это достигается за счет систем диспетчерского управления.

В качестве источников экономической эффективности внедрения МПЦ приводятся такие факторы, как повышение надежности действия систем ЭЦ; уменьшение эксплуатационного штата; снижение требуемых площадей служебно-технических зданий; экономия электроэнергии. Показатели надежности ЭЦ за счет резервирования аппаратной части МПЦ изменяются незначительно, так как большая часть отказов в ЭЦ приходится на напольное оборудование. В связи с этим ожидать существенного сокращения эксплуатационного персонала ЭЦ по этой причине на данном этапе не приходится. Уменьшение требуемых площадей служебно-технических зданий существенно для крупных станций (до 50 % площади релейного помещения в системе МПЦ и около 30 % в РПЦ). Организация гарантированного электропитания микроэлектронных систем путем применения питающих установок новых типов в системах МПЦ и РПЦ может повысить их эффективность за счет сокращения потерь при перерывах в перевозочном процессе. Сокращение потребляемой энергии по сравнению с релейными системами при их внедрении на практике также не отмечается.

В пользу микропроцессорных систем и в первую очередь МПЦ крупных станций свидетельствует ряд аргументов, связанных с использованием в ЭЦ новых и эффективных функциональных возможностей, таких как:

- увеличение зон управления ДСП и, как следствие, сокращение их персонала;

- обеспечение ДСП нормативно-техническими данными, в том числе системой поддержки принятия решений (СППР);
- использование системы СППР для электромехаников;
- переход на безбумажную технологию документооборота;
- выполнение функций контролируемых пунктов диспетчерской централизации (ДЦ);
- применение средств телеизмерения, самодиагностики, протоколирования, архивации и т.д.

Внедрение в практику новых достижений техники должно происходить тогда, когда они дают ощутимый технико-экономический эффект. Для систем железнодорожной автоматики и телемеханики (СЖАТ) это получение новых функциональных возможностей, повышающих безопасность систем и устройств, улучшающих условия труда, сокращающих трудозатраты, экономящих энергоресурсы и т.д.

На Белорусской железной дороге несмотря на уже десятилетний опыт разработки, проектирования и эксплуатации систем микропроцессорной централизации (МПЦ) стоимость этих систем не уменьшается и остается относительно высокой. Это касается как первых этапов жизненного цикла систем МПЦ, включающих проектирование, строительство и монтаж, пусконаладочные работы, так и всех последующих.

Вместе с тем успех системы централизации того или иного типа определяет экономическая эффективность, при расчете которой надо учитывать инвестиции в систему как на начальных этапах жизненного цикла, так и в дальнейшем на этапах эксплуатации систем (эксплуатационные расходы). Требуется совершенствование сложившейся системы обслуживания МПЦ. Специалисты дороги сейчас самостоятельно взаимодействуют с разработчиками и производителями систем. Необходимо определен штат высококвалифицированных работников, повышение их квалификации, необходимый объем запасного оборудования, аппаратуры и комплектующих.

Возможно уже в ближайшее время возникнет ситуация замены не только старых релейных систем, но и модернизации систем МПЦ по причине отказов, необходимости совершенствования аппаратно-программного комплекса и внедрение новых разработок для управления и контроля напольными объектами электрической централизации (интеллектуальные стрелочные электроприводы, светодиодные светофоры, рельсовые цепи, устройства счета осей, ограждения, обдувки и т.д.). Однако уже в настоящее время некоторые представленные на рынке компоненты становятся недоступными (не производятся). По этой причине стоимость адаптации существующих установок МПЦ при переходе к новым компонентам должна быть экономически приемлемой. «Непрозрачность» алгоритмов работы систем и их программ может потребовать, как и при возможном изменении конфигурации путевого развития станции, дополнительных затрат на доказательство безопасности.

Таким образом, для снижения стоимости внедряемых на дороге систем МПЦ и повышения их технико-экономической эффективности требуется подробное экономическое обоснование решений и мероприятий на всех этапах жизненного цикла, начиная с выбора системы МПЦ, или релейно-процессорная централизация, и заканчивая организацией системы их эксплуатации и утилизации.

УДК 656.252.12

## **ПРИМЕНЕНИЕ СИГНАЛОВ С БОЛЬШОЙ БАЗОЙ В ТОНАЛЬНЫХ РЕЛЬСОВЫХ ЦЕПЯХ**

*Д. В. КОМНАТНЫЙ*

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

Безопасность движения поездов на перегонах во многом определяется безошибочной работой аппаратуры автоблокировки. В настоящее время широкое распространение получили тональные бесстыковые рельсовые цепи, в которых применяются сигналы с различными типами модуляции. В том числе находит применение двоичная фазовая манипуляция уникальным двоичным кодом.

Если осуществлять манипуляцию специально разработанными кодами Баркера, то в рельсовой цепи образуется так называемый сложный сигнал, который также именуется шумоподобным или сигналом с большой базой. Такие сигналы обладают многими достоинствами. Их использование снижает ошибки воспроизведения, сигналы легко скрыть в шумах и выделить из шумов. Это особен-

но важно для рельсовых цепей, в которых уровень шума достаточно велик. В заданном диапазоне частот могут работать несколько приемников и передатчиков, поскольку приемник воспринимает сигнал, на который он не настроен, как шум. Это особенно привлекательно для бесстыковых тональных рельсовых цепей, в приемники которых проникают сигналы от соседних блок-участков. Из сказанного выше следует, что шумоподобный сигнал не может создать ложной свободности блок-участка.

Квадрат параметра обнаружения шумоподобного сигнала

$$h^2 = \frac{P_c}{P_{ш}} fT,$$

где  $P_c$  – мощность сигнала, Вт;  $P_{ш}$  – мощность шума, Вт;  $f$  – полоса частот, Гц;  $T$  – длительность сигнала, с.

Поскольку для сигналов с большой базой  $B = fT \gg 1$ , то при неизменной мощности сигнала возрастает уверенность его обнаружения.

Известно, что при фазовой манипуляции выигрыш в помехоустойчивости

$$g = fT \frac{m^2}{\Pi^2},$$

где  $m$  – индекс модуляции;  $\Pi$  – пик-фактор.

Из формулы следует, что сигналы с большой базой отличаются значительным выигрышем в помехоустойчивости по той же причине большого значения  $B = fT$ .

В рельсовых цепях известна кодирующая последовательность питающего конца данной рельсовой цепи с известной фазой. Если предполагать, что амплитуда сигнала подвержена случайным искажениям по причине действия помех, то достаточно легко организовать корреляционный прием сигнала, который является одним из прогрессивных методов приема сигналов рельсовых цепей, отличающимся высокой достоверностью. Следовательно, применение таких же сигналов в рельсовых цепях может обеспечить существенное повышение их надежности и безопасности. Тем самым можно решить актуальную научно-техническую проблему обеспечения безопасности движения поездов, в том числе и высокоскоростного, на перегонах.

Обоснованность выдвигаемого в докладе предложения подтверждается результатами, полученными в Санкт-Петербургском университете путей сообщения. При проведении работ по повышению надежности работы точечной АЛС показано, что применение сигналов, манипулированных составными кодами Баркера «3 и 3» и «3 и 7», дало выигрыш в надежности приема сигнала в три раза.

УДК 656.252.12

## ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ УДАРЕ МОЛНИИ В РЕЛЬСОВУЮ ЦЕПЬ

*Д. В. КОМНАТНЫЙ*

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

Удар молнии в рельсовую цепь может привести к повреждению микроэлектронного и микропроцессорного оборудования рельсовых цепей, снижению безопасности движения поездов. Поэтому необходима разработка методов расчета волн токов и напряжений в рельсовой цепи при поражении ее молнией для использования при прогнозировании помех в рельсовой цепи и проектировании средств защиты.

Рельсовая цепь моделируется длинной линией с погонными параметрами: сопротивление  $R_0$ , индуктивность  $L_0$ , проводимость  $G_0$ . На нее воздействует ток молнии  $j(x, t)$ . Тогда из уравнений длинной линии получается уравнение типа Фурье

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{1}{L_0 G_0} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - \frac{R_0}{L_0} u + \left( \frac{1}{G_0} \frac{\partial}{\partial t} j(x, t) - \frac{R_0}{L_0 G_0} j(x, t) \right).$$

Граничные условия выводятся из следующих предположений. Рельсовая цепь длины  $l$  нагружена на обмотку путевого трансформатора с пренебрежимо малым омическим сопротивлением. На



конце рельсовой цепи можно пренебречь сопротивлением рельса в силу его малости. Удар молнии приходится в точку, не совпадающую с концами рельсовой цепи. В этом случае из уравнений длинной линии и закона электромагнитной индукции следует граничное условие третьего рода

$$u(l, t) - \frac{L}{L_0} \frac{\partial}{\partial x} u(l, t) = \varphi_1(x) = 0,$$

где  $L$  – индуктивность обмотки путевого трансформатора, Гн.

Начальное условие  $u(x, 0) = 0$ .

Полученное уравнение с заданными граничными и начальными условиями имеет аналитическое решение, приведенное в справочнике А. Д. Полянина. С учетом вида начальных и граничных условий решение записывается в виде

$$u(x, t) = \int_0^l \int_0^t f(\xi, \tau) G(x, \xi, t - \tau) d\xi d\tau,$$

где обозначено

$$G(x, \xi, t - \tau) = e^{-bt} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{\|y_n\|^2} y_n(x) y_n(\xi) e^{-a\mu_n t}; \quad y_n(x) = \cos \mu_n x + \frac{k_1}{\mu_n} \sin \mu_n x;$$

$$\|y_n\| = \frac{k_1}{\mu_n^2} + \frac{l}{2} \left( 1 + \frac{k_1}{\mu_n^2} \right); \quad f(x, t) = \frac{1}{G_0} \frac{\partial}{\partial t} j(x, t) - \frac{R_0}{L_0 G_0} j(x, t).$$

Числа  $\mu_n$  – суть корни уравнения

$$\frac{\operatorname{tg}(\mu l)}{\mu} = \frac{2k_1}{\mu^2 - k_1^2}.$$

В решении обозначено  $a = \frac{1}{L_0 G_0}$ ,  $b = \frac{R_0}{L_0}$ ,  $k_1 = \frac{L}{L_0}$ .

Полученное решение представляет собой бесконечную сумму затухающих волн напряжения, следовательно, оно физически корректно. По сравнению с уже известными решениями, полученными методом преобразования Лапласа, предлагаемое решение записывается сразу во временной области, поэтому получение расчетных соотношений требует меньших затрат вычислительной работы. В нем учтены все параметры рельсовой цепи, в то время как в имеющихся решениях пренебрегается погонным сопротивлением цепи. Поэтому допустимо считать, что полученное решение имеет более высокую адекватность и может применяться на практике.

УДК 656.25

## ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ НА ЭТАПАХ РАЗРАБОТКИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ

В. Ф. КУСТОВ

*Украинский государственный университет железнодорожного транспорта, г. Харьков*

На этапах разработки и эксплуатации микропроцессорных систем железнодорожной автоматики (МСЖА) важным является правильная оценка их функциональной безопасности (ФБ). Необходимо выделить основные особенности этой оценки.

1 Оценка ФБ зависит от достоверности исходных данных по надежности комплектующих изделий, от точного учета всех влияющих на них факторов, особенно при появлении новых воздействий в процессе эксплуатации, не учитываемых до этого при расчетах ФБ и допуске к эксплуатации систем.

2 В период эксплуатации могут появиться непрогнозируемые «ударные» нагрузки, не приводящие к отказам, но резко снижающие интенсивности опасных отказов элементов (из-за импульсных перенапряжений при отказе неконтролируемых элементов средств грозозащиты и помехоподавляющих фильтров; из-за кратковременного перегрева элементов при отказе или неправильно выбранных средств вентиляции или кондиционирования в шкафах управления и т.п.). Учитывая, что во многих случаях общая вероятность опасных отказов равна произведению вероятности опасных отказов отдельных каналов резервирования, она будет многократно и возможно недопустимо повышена.

3 При малых расстояниях между проводниками на печатных платах или разъемах (меньше допустимых значений) необходимо учитывать возможность короткого замыкания между ними. Поэтому при испытаниях на устойчивость к опасному отказу нужно моделировать при стендовых испытаниях такие замыкания и контролировать возможность появления опасных отказов как в каналах резервирования, так и в МСЖА в целом. В случае их фиксации необходимо разрабатывать меры для их гарантированного исключения. При отсутствии в этом случае опасных отказов может быть существенно и недопустимо повышена вероятность возникновения опасного отказа, поэтому для таких неконтролируемых замыканий необходимо составлять свою расчетно-логическую схему ФБ и по ней оценивать вероятность возникновения опасных отказов. Особенно это важно для МСЖА с высокой запыленностью, при наличии, например, проводящей угольной пыли на посту ЭЦ. Поэтому этот фактор требует для доказательства ФБ не только спецификации комплектующих элементов с их типами, но и открытый комплект конструкторской документации с расположением проводников на печатных платах, в разъемах и т.п. При этом особое внимание нужно уделять возможным коротким замыканиям смежных элементов, объединенных в одном корпусе (логические элементы, оптроны и т.п.).

4 При оценке ФБ резервированных структур необходимо выделить следующие особенности.

При этом основополагающим при расчете является правильная оценка ответственных функций, объектов контроля или управления МСЖА, которые условно можно разделить на два класса:

– 1-й – опасный отказ происходит в них при несанкционированном появлении сигнала (двигатель стрелочного перевода, лампа зеленого огня на светофоре, путевое реле, датчики счета осей подвижного состава при его выходе с путевого участка и т.п.);

– 2-й – опасный отказ в них происходит при несанкционированном пропадании сигнала (лампа красного огня на светофоре, датчики счета осей подвижного состава при его входе на путевой участок, датчики пожарной и другой сигнализации, датчики контроля опасного отказа в канале резервирования).

Для большинства случаев применения МСЖА единственным возможным вариантом структуры для обеспечения ее ФБ является нагруженное резервирование. С учетом введенной выше классификации для 1-го класса МСЖА необходимо для повышения ФБ использовать решающий элемент «И» для общего или отдельного нагруженного резервирования, а для мажоритарного резервирования « $n$ » из « $m$ » максимально повышать число « $n$ ».

Для 2-го класса МСЖА для повышения ФБ необходимо использовать решающий элемент «ИЛИ» для общего или отдельного нагруженного резервирования, а для мажоритарного резервирования « $n$ » из « $m$ » максимально снижать число « $n$ », т.е. решение принимать не по большинству, а по меньшинству (при этом слово «мажоритарное» теряет свой смысл).

Решающие элементы «И» и «ИЛИ» позволяют улучшать только ФБ или только готовность (односторонне). При этом повышение ФБ всегда приводит к снижению готовности МСЖА (безотказности по отношению к защитным отказам и пропускной способности поездов) и наоборот. Только решающий элемент мажоритарного резервирования « $n$ » из « $m$ » позволяет улучшать одновременно как ФБ, так и готовность МСЖА.

Использование для МСЖА, особенно с длительным сроком эксплуатации, реальных способов резервирования не решает вопросы достижения необходимой ФБ. Поэтому наиболее важным фактором влияния на повышение ФБ является использование периодического контроля исправности и своевременного устранения опасных отказов каналов резервирования.

Основополагающим при таком расчете являются вид ответственных функций, объектов контроля или управления, которые условно можно разделить на два типа: 1-й – с прогнозирующим фактором развития отказов (опасных отказов); 2-й – без прогнозирующего фактора развития отказов (опасных отказов). Для 1-го типа уменьшение времени периодического контроля всегда повы-

шает как ФБ, так и другие показатели свойств надежности. Для 2-го типа (наиболее массового в МСЖА) уменьшение времени периодического контроля приводит к повышению ФБ только в том случае, если расчетно-логические схемы ФБ будут иметь вид параллельного соединения или графы ФБ объектов будут иметь больше двух вершин. Для 2-го типа объектов при использовании общего и раздельного нагруженного резервирования будет повышаться только ФБ (при этом готовность не будет улучшаться, а даже будет ухудшаться) или только готовность (при этом ФБ наоборот будет снижаться). Одновременное повышение ФБ и готовности будет только при использовании любого мажоритарного или ненагруженного резервирования.

Расчетные формулы для определения предельно допустимых периодов контроля для обеспечения допустимых уровней ФБ для различных вариантов резервирования приведены в работах автора. Также выведены формулы для определения предельно допустимого времени устранения опасного отказа в отдельном канале резервирования и допустимой его наработки до опасного отказа в процессе постоянной эксплуатации, по которым принимается решение об оценке реальной ФБ и возможности эксплуатации МСЖА.

УДК 656.259.2:621.391.8:519.2

## ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ КАНАЛОВ С РЕЛЬСОВЫМИ И ИНДУКТИВНО-РЕЛЬСОВЫМИ ЛИНИЯМИ В УСЛОВИЯХ ДЕЙСТВИЯ ПОМЕХ ОТ ТЯГОВОГО ТОКА

В. Б. ЛЕУШИН, Ф. Р. АХМАДУЛЛИН

*Самарский государственный университет путей сообщения, Российская Федерация*

Основную роль в обеспечении безопасности и реализации графика движения поездов играют системы интервального регулирования движения поездов (СИРДП), первым звеном которых являются путевые датчики (ПД) – рельсовые цепи (РЦ) [2]. Учитывая, что РЦ подвержены влиянию помех, в частности от тягового тока и дестабилизирующих факторов, порождаемых изменениями климатических условий, и динамическому воздействию движущегося поезда, важным критерием надежности функционирования СИРДП является устойчивость работы РЦ. Сбои в функционировании СИРДП возникают, в частности, при воздействии помех в рельсовых линиях (РЛ) РЦ [3].

Разработка и проектирование РЦ, в элементную базу которых входят электромагнитные реле, всегда основывалось с учетом влияния только сосредоточенных по спектру помех в РЛ. В настоящее время при проектировании РЦ широко применяется микроэлектронная элементная база [4, 5], позволяющая применять современные методы обработки сигналов, и поэтому при разработке этого вида РЦ необходимо учитывать влияние всех видов помех в РЛ.

Современные РЦ являются составной частью каналов связи. Учитывая это, одним из решающих факторов сравнительной оценки РЦ является помехоустойчивость путевых приемников (ПП) [3].

Таким образом, при проектировании РЦ для определения их эффективности необходимо установить способность ПП РЦ обеспечить прием и обработку сигналов с заданным уровнем достоверности при наихудших условиях эксплуатации. В соответствии с целевой функцией РЦ предпочтнее следует отдать комплексной характеристике качества ПП – помехоустойчивости.

Развитие микропроцессорной элементной базы позволило при разработке новых и совершенствовании существующих РЦ применять имитационное моделирование (ИМ). На кафедре «АТС на железнодорожном транспорте» СамГУПС разработана ИМ помех в РЛ от тягового тока (рисунок 1) в среде *Simulink* пакета MATLAB на базе параметров помех, установленных в результате регистрации на участках Московской и Куйбышевской железных дорог при движении локомотивов серии ВЛ-10<sup>У</sup>, ведущих составы массой от 1 тыс. до 5 тыс. т.

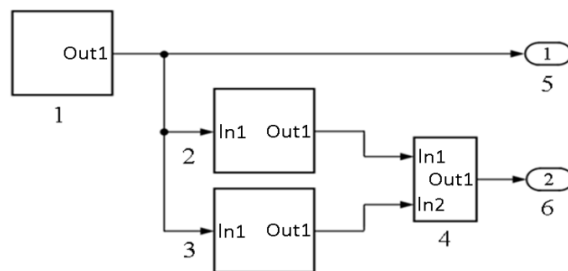


Рисунок 1 – ИМ помех в РЛ:

1 – модель переключений схем управления тяговыми электродвигателями электровоза; 2 и 3 – модели импульсных и флуктуационных помех; 4 – сумматор; 5 и 6 – выводные порты

Установлено, что помехи от постоянного тягового тока состоят из флуктуационных и импульсных помех. Флуктуационные помехи возникают вследствие некачественного токосъёма, импульсные – в моменты переключения схем управления тяговыми двигателями электровоза (0 – тяговые двигатели выключены, С – серийное, СП – серийное-параллельное, П – параллельное) и следуют пачками.

На рисунке 2 представлены осциллограммы, поясняющие процесс формирования помех ИМ (см. рисунок 1). При разработке ИМ импульсных помех от постоянного тягового тока применена марковская модель, в основу которой положены следующие параметры: длительности импульсов, межимпульсных интервалов и амплитуда импульсов, а также длительность интервалов между пачками импульсов.

Адекватность ИМ помех (см. рисунок 2) подтверждает осциллограмма фрагмента записи реальной помехи, соответствующая последовательному переключению контроллера машиниста в положения «0» – «С» – «0» – «СП» – «0» и набору позиций, представленная на рисунке 3.

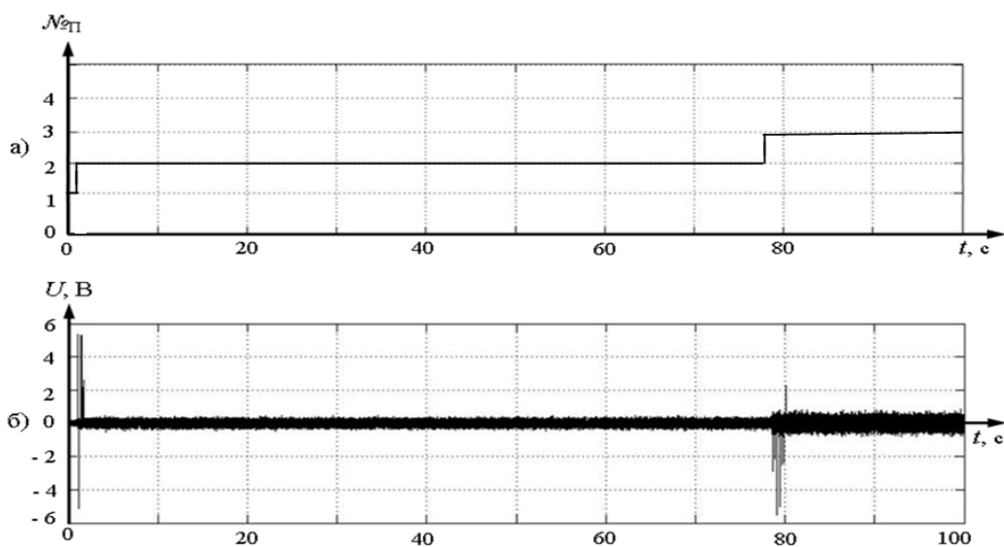


Рисунок 2 – Осциллограммы сигналов:

*a* – номер позиции ( $N_{2П}$ ) контроллера машиниста (0-С-СП); *b* – модель помехи от тягового тока

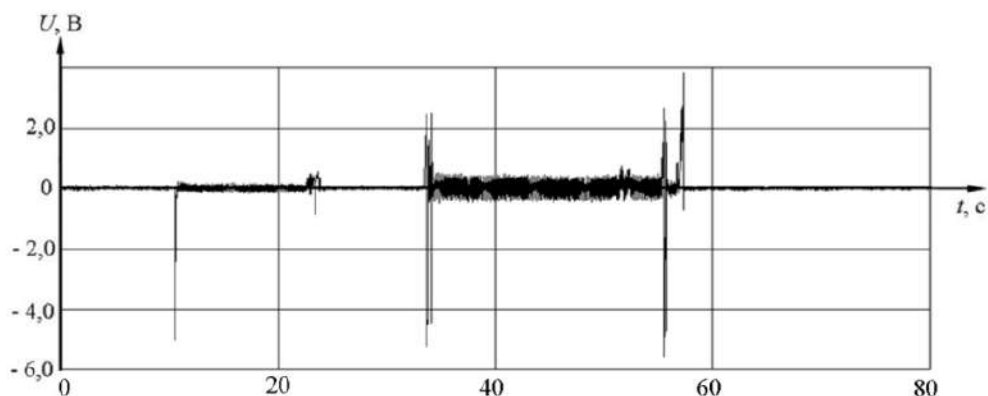


Рисунок 3 – Осциллограмма фрагмента записи реальной помехи от постоянного тягового тока при движении поездного локомотива последовательно в режимах «0», «С», «0», «СП» и «0»

Таким образом, разработанная имитационная модель помех в РЛ (см. рисунок 1) от тягового тока позволяет производить оценку помехоустойчивости каналов с РЛ и индуктивно-рельсовыми линиями.

#### Список литературы

- 1 Лисенков, В.М. Статистическая теория безопасности движения поездов : учеб. для вузов / В.М. Лисенков. – М. : ВИНТИ РАН, 1999. – 322 с.
- 2 Лисенков, В.М. Системы управления движением поездов на перегонах : учеб. : в 3 ч. / В.М. Лисенков. – М. : учеб.-метод. центр по образованию на ж.-д. трансп., 2009.

3 Лисенков, В.М. Теория автоматических систем интервального регулирования / В.М. Лисенков. – М. : Транспорт, 1987. – 150 с.

4 Беляков, И.В. Теория и методы реализации адаптивных систем контроля состояния рельсовых линий : дис. ... д-ра техн. наук : 05.22.08 / И.В. Беляков; Московский ин-т инж. ж.-д. трансп. – М., 1996.

5 Бочков, К.А. Теория и методы контроля электромагнитной совместимости микроэлектронных систем обеспечения безопасности движения поездов : дис. ... д-ра техн. наук : 05.22.08 / К.А. Бочков; Московский ин-т инж. ж.-д. трансп. – М., 1993.

УДК 656.25

## МОДЕРНИЗАЦИЯ КОМПЛЕКСА ИМИТАЦИОННЫХ ИСПЫТАНИЙ БЕЗОПАСНОСТИ

*Д. В. ПРАКОПЕНКО*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Устройства железнодорожной автоматики и телемеханики относятся к системам, критичным к безопасности. Одним из обязательных требований при использовании микроконтроллеров в данных системах является анализ их поведения при возникновении отказов. Проведение необходимых испытаний средствами, предоставляемыми поставщиком оборудования, затруднительно, вследствие этого в ИЛ «БЭМС ТС» БелГУТа разработано программное обеспечение «Комплекс имитационных испытаний безопасности» (КИИБ), позволяющий имитировать отказы в микроконтроллерах.

КИИБ предназначен для проведения имитационных испытаний на функциональную безопасность в соответствии с нормативными документами серии ГОСТ Р МЭК 61508. Целью имитационных испытаний является проверка того, что испытываемое устройство при возникновении заданного класса отказов элементов внутренней структуры функциональных блоков, входящих в систему, не формирует сигналы управления и сигнализации, нарушающие условия функциональной безопасности.

В стандарте ГОСТ Р МЭК 61508-2-2012 представлены три уровня требований к охвату диагностикой: низкий (60 %), средний (90 %) и высокий (99 %). На каждом уровне указаны ошибки и отказы, которые подлежат рассмотрению при количественной оценке случайных отказов, для каждого компонента системы.

Проведение имитационных испытаний проходит в несколько этапов. На этапе подготовки производят анализ технической документации на испытываемое устройство, выбор видов, объема и последовательности испытаний, контролируемых параметров и способов их контроля, а также определение форм отчетной документации. Далее устанавливается состав подключаемых внешних библиотек. После этого выбираются режимы работы испытываемого устройства и виды входных воздействий. Затем по методике, разработанной в рамках комплекса, составляется файл проекта, а на следующем этапе – программа проведения испытаний с помощью дополнительного ПО, разработанного в рамках комплекса. Перед началом испытаний осуществляется проверка климатических условий, напряжения электропитания в испытательной лаборатории, работоспособности испытательного оборудования и комплектности ПО. Далее проводятся испытания в основном модуле комплекса. Последним этапом является формирование файла с результатами испытания и их анализ.

В настоящее время КИИБ частично соответствует требованиям нормативных документов. Это связано с появлением новой редакции стандартов серии ГОСТ Р МЭК 61508, в частности добавление новых требований к уровням охвата диагностикой.

Приведение КИИБ в соответствие требованиям нормативных документов осуществляется путем структурного изменения программного обеспечения комплекса, в частности изменяется способ дешифрации команд. В существующей версии КИИБ дешифрация выполняется один раз при загрузке программы в память имитационной модели микроконтроллера. Это значительно повышает производительность комплекса, но не позволяет имитировать отказы в дешифраторе команд и системе адресации.

Осуществляемая модернизация комплекса позволит устранить эти недостатки и в более полном объеме выполнять имитационные испытания безопасных микропроцессорных устройств в соответствии с требованиями нормативных документов.

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ПОЕЗДОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЦИФРОВОГО РАДИОКАНАЛА И СПУТНИКОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

П. П. РУБАНИК

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В настоящее время подавляющее большинство участков железных дорог стран СНГ оборудованы традиционными системами интервального регулирования (автоблокировкой), где для передачи оперативной информации на локомотив используется автоматическая локомотивная сигнализация непрерывного действия (АЛСН). В свое время канал АЛСН рассматривался как дополнительный источник информации для машиниста, а основной информацией были показания путевых светофоров. Три активных кода, используемых в АЛСН, не могут обеспечить оптимальный безопасный интервал между попутно следующими поездами при автоблокировке для всех категорий поездов. Внедрение многозначной локомотивной сигнализации АЛС-ЕН не решает проблем, связанных с передачей данных о номере пути и маршруте следования на станции, временных ограничениях скорости и другой необходимой информации для обеспечения безопасности движения поездов.

Использование рельсовой линии в качестве канала передачи информации обуславливает то, что большинство из существующих систем интервального регулирования ограничены традиционными методами и технологиями управления движением. Этим объясняется необходимость использования координатных систем интервального регулирования с применением цифрового радиоканала. Сравнительный анализ подобных систем, разработанных различными производителями:

Критерии для сравнения	Система управления движением поездов			
	ITCS	ERTMS/ETCS (уровень 3)	СИРДП-Е	АЛС-Р (СИНТЕРА)
Разработчик	«General Electric» (США)	Европейские разработчики железнодорожной продукции	«Бомбардье Транспортс (Сигнал)» (РФ)	«Промэлектроника» (РФ)
Структура построения системы	Смешанная	Централизованная	Централизованная	Смешанная
Способы организации каналов связи с локомотивом	Цифровой радиоканал (GSM-R)	Цифровой радиоканал (GSM-R)	Цифровой радиоканал (TETRA)	Цифровой радиоканал, точечные каналы связи
Определение местоположения локомотива	Датчики пути и скорости, системы спутниковой навигации	Датчики пути и скорости, точечные радиопередатчики (Eurobalise)	Датчики пути и скорости, точечные радиопередатчики (Eurobalise), возможно применение системы спутниковой навигации	Датчики пути и скорости, точечные радиопередатчики (Eurobalise), система спутниковой навигации
Определение длины состава	По координате локомотива	По координате локомотива	По координате локомотива	По координате локомотива или с помощью модуля хвостового вагона
Точка прицельного регулирования	Виртуальный сигнал или занятый виртуальный блок-участок	Хвост впередиидущего поезда или занятый виртуальный блок-участок	Хвост впередиидущего поезда или занятый виртуальный блок-участок	Действующий сигнал автоблокировки
Определение целостности состава	С помощью бортового контроллера	По давлению в тормозной магистрали	С помощью системы контроля целостности поезда (СКЦП)	По давлению в тормозной магистрали
Необходимость использования напольного оборудования	Нет	Только точечные радиопередатчики (Eurobalise)	Только точечные радиопередатчики (Eurobalise)	Да
Внедрение	Западная часть Китая	Региональные линии Швеции с малой интенсивностью движения	Казахстан (линия Узень – Болашак)	Нет данных

Из таблицы можно выявить общие существенные достоинства систем управления движением поездов с применением цифрового радиоканала:

– расширение функциональных возможностей (ввод временных скоростных ограничений на любом участке с немедленной передачей указанной информации локомотивам в зоне контроля, а также их принудительное соблюдение, постоянный контроль за движением локомотива, предупреждение машиниста об изменении условий движения и т.д.);

– увеличение скорости движения;

– увеличение пропускной способности линий;

– оптимизация кривых торможения (тем самым осуществляется экономия топлива или электрической энергии);

– снижение затрат на установку и обслуживание напольной аппаратуры;

– возможность применения систем поддержки принятия решений в нестандартных ситуациях.

Вместе с этим, существует и ряд проблем, не решенных в полном объеме при построении систем управления движением поездов такого рода:

– низкая интероперабельность с участками, оборудованными традиционными системами интервального регулирования (локомотивы обязательно должны быть оборудованы специальными бортовыми устройствами);

– обязательное развертывание сети цифровой радиосвязи;

– низкая надежность систем спутниковой навигации и недостаточная точность датчиков пути и скорости определяют необходимость комплексирования данных от нескольких источников информации для получения координат «головы» и «хвоста» подвижного состава;

– для контроля целостности подвижного состава необходимо оборудовать хвостовой вагон в каждом поезде специальным датчиком;

– отсутствие контроля изъятия или излома рельс.

Первые две проблемы в основном носят экономический характер. Остальные же требуют более внимательного и быстрого решения, так как они влияют и на безопасность, и на экономические затраты при внедрении подобных систем.

УДК 004.021

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ОЦЕНКИ СТЕПЕНИ ДИВЕРСИТЕТА АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ**

*Б. В. СИВКО*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Разработка систем, критичных к безопасности (СКБ), сопряжена с дополнительными мероприятиями и затратами на обеспечение предъявляемых к ним требований безопасности. При этом диверситет является одним из основных способов решения проблемы, заключающийся в создании как можно более разных систем таким образом, чтобы в случае отказа они повели себя по-разному. На этом основании обнаруживается отказ и активизируются подсистемы диагностики, перехода в безопасное состояние или самовосстановления. Здесь при разработке одной из важных задач становится оценка степени полученного диверситета (то есть различия), позволяющая определить эффективность применяемых методов и средств. Её решение актуально для железнодорожных аппаратно-программных комплексов, которые относятся к СКБ, и их развитие на современном этапе идёт по пути широкого применения микропроцессорной элементной базы.

Автоматизация решений проблем, связанных с диверситетом, является сложной и актуальной задачей, так как оценка степени достигнутого диверситета на современном этапе производится неформальными методами. Например, стандартом IEC 61508 рекомендованы к применению *BETA*-метод и модель *BETAPLUS*, которые неформализованы. Для формализации оценки диверситета может быть применён аксиоматико-базисный подход (АБП), заключающийся в выделении базовых формализованных положений, на основании которых проектируется или верифицируется система. В данной работе предлагается автоматизация оценки диверситета посредством про-

граммного обеспечения, алгоритм которого основывается на проверке формализованных положений рассматриваемой микропроцессорной системы, формулируемые исходя из АБП.

Целью автоматизации является снижение влияния человеческого фактора во время оценки диверситета и дополнительный способ полного охвата заданных положений во время верификации. Снижение затрат происходит не только за счёт автоматизации, но и посредством выявления ошибок проектирования на более ранних стадиях разработки – до имитационных испытаний. Автоматизация прежде всего рассматривается как дополнительный способ повышения показателей отказоустойчивости и безопасности, что обусловлено небольшим опытом её применения, а также тем, что на практике не всегда удаётся формализовать и проверить в автоматическом режиме все положения. Трудности обусловлены разнообразием решаемых задач и особенностями задействованной элементной базы.

Таким образом, представленная оценка диверситета с помощью программных средств рассматривается как актуальная и перспективная задача для железнодорожных микропроцессорных СКБ.

УДК 565.25

## **ПРЕИМУЩЕСТВО ВНЕДРЕНИЯ СПУТНИКОВОЙ НАВИГАЦИИ В СИСТЕМУ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ПОЕЗДОВ**

*С. В. СЫТЬКО*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Главной задачей, решаемой работниками хозяйства сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ), является обеспечение нормального (штатного), непрерывного протекания основного технологического процесса перевозок. Движение поездов – это совокупный технологический процесс, состоящий из огромного ряда частных технологических процессов, каждый из которых ответственен.

Модернизация существующих и разработка новых систем интервального регулирования движением поездов основывается на том, что перспективные системы должны обладать значительно большими и качественно новыми функциональными возможностями по сравнению с уже существующими, соответствовать всем технико-эксплуатационным требованиям и повышать уровень безопасности движения поездов.

Приоритетным направлением развития систем железнодорожной автоматики было выбрано определение места дислокации и управления движением подвижного состава с использованием координатно-временной информации через глобальные спутниковые навигационные системы – ГЛОНАСС, GPS.

В настоящее время дислокация и состояние подвижных объектов определяются с помощью систем диспетчерского контроля (ДК) и ручного сбора информации (телефонограммы, телеграммы и устные доклады). Фактические данные об эффективности работы реального объекта и его состоянии имеют очень низкую достоверность, т.к. не контролируются автоматическими средствами и влияет «человеческий фактор». Именно поэтому были поставлены задачи автоматизировать данные процессы, обеспечить максимальный уровень достоверности информации, получаемой от спутниковых навигационных систем и систем подвижной цифровой связи.

Эффективным направлением использования спутниковых координат и каналов связи является создание систем интервального регулирования на малодеятельных участках. Это решение позволяет уйти от использования воздушных линий связи и сократить расходы, связанные с содержанием большого штата работников.

В целом, совершенствование систем безопасности заключается в создании многоуровневых систем интервального регулирования, автоведения подвижного состава и его самодиагностики, которые неразрывно связаны со стационарными системами автоматики и телемеханики.

Решение именно этих вопросов позволит Белорусской железной дороге, используя намеченные наиболее конструктивные пути развития и опираясь на передовой отечественный и международный опыт, повысить эффективность своей работы.



## **НОВЫЕ ПРИНЦИПЫ И НАПРАВЛЕНИЯ РАБОТ ПО ПОВЫШЕНИЮ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ АЛСН**

*А. К. ТАБУНЩИКОВ*

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

*Ю. А. БАРЫШЕВ*

*Академия стандартизации, метрологии и сертификации, г. Москва*

*С. М. ЯКИМОВ*

*АО НИИАС, г. Москва, Российская Федерация*

Несмотря на статистические данные по уменьшению за последние годы общего количества сбоев АЛСН, их анализ показал, что количество наиболее опасных сбоев, вызывающих экстренные торможения, имеет тенденцию к увеличению. Фактически за более чем 60 лет эксплуатации системы АЛСН не удалось повысить ее помехоустойчивость по ряду показателей и, очевидно, для решения этой проблемы необходимы новые принципы и направления работ по определению причин сбоев и методам их устранения.

Основной принцип этих работ основан на анализе индивидуальной помехоустойчивости локомотивов, который показал наличие «проблемных» серий локомотивов и «сбойных» локомотивов в каждой серии, которые и дают основную массу сбоев. На этих локомотивах не обеспечивается электромагнитная совместимость (ЭМС) локомотивной аппаратуры АЛСН с силовым оборудованием и элементами путевой инфраструктуры, и количество сбоев за год составляет десятки и даже сотни случаев.

Но, одновременно, при тех же условиях эксплуатации часть электровозов имеет общее число сбоев за год не более 1–3. Очевидно, что если повысить индивидуальную помехозащищенность АЛСН на всех локомотивах до такого уровня, то даже при существующем качестве обслуживания путевых устройств АЛСН проблема со сбоями АЛСН была бы успешно решена. Для этого необходимо, в первую очередь, определить причины массовых сбоев на «проблемных» сериях локомотивов и на «сбойных» локомотивах каждой серии. Это требует создания принципиально новых методик измерения и аппаратуры для достоверного определения причин сбоев из-за необеспечения условий ЭМС локомотивной аппаратуры АЛСН с силовым оборудованием на локомотиве.

В настоящее время такое понимание по некоторым причинам сбоев отсутствует, и для его получения необходимы значительные по объему исследования. Такое условие является обязательным, так как без полного детального выяснения механизма действия причины сбоя АЛСН нельзя разработать мероприятия, позволяющие устранить или уменьшить ее действие.

На основе анализа причин сбоев решение проблемы сокращения их количества предлагается проводить путем разработки конкретных технических решений по трем новым направлениям:

- изменение алгоритма работы локомотивных устройств АЛСН путем применения более помехоустойчивого декодирования кодов;
- уменьшение уровня помех на входе приемника АЛСН (в основном путем их компенсации) на «проблемных» сериях локомотивов;
- изменение технологии обслуживания устройств АЛСН в ремонтных депо с целью проверки их на помехоустойчивость до начала эксплуатации и проведение необходимых мероприятий на локомотиве для устранения причин сбоев, в первую очередь, на «сбойных» локомотивах.

Работы целесообразно проводить одновременно, но наибольший эффект обеспечит модернизация релейных дешифраторов ДКСВ за счет изменения алгоритма работы локомотивных устройств АЛСН путем применения более помехоустойчивого декодирования кодов. Это обусловлено тем, что в настоящее время на сети дорог РФ находится в эксплуатации более 12 тыс. комплектов аппаратуры АЛСН с релейными дешифраторами ДКСВ и усилителями УК, которые дают основное количество сбоев АЛСН, так как имеют низкую помехоустойчивость работы.

Существующий алгоритм работы ДКСВ обеспечивал приемлемую помехоустойчивость АЛСН при ее создании. Но в настоящее время, при увеличении мощности современных электровозов в 1,5–2 раза и, соответственно, при более высоком уровне помех, необходимо иметь более высокий уровень помехоустойчивости локомотивной аппаратуры.

Снижение индивидуальной помехоустойчивости также обусловлено износом релейной аппаратуры и изменением параметров элементов ДКСВ и УК со временем при их непрерывной импульсной работе. При этом восстановить все параметры отработавшей свой срок службы локомотивной аппаратуры АЛСН до значений параметров новой аппаратуры практически нереально как из-за значительного объема работ, так и из-за отсутствия специалистов в депо, способных их выполнить.

Наиболее кардинальным выходом из вышерассмотренного сложившегося положения является замена типовой аппаратуры АЛСН на современные устройства КЛУБ-У, БЛОК или замена только релейного дешифратора ДКСВ на микропроцессорный вариант ДКСВ-М. Несомненно, такое решение наиболее перспективно с учетом возникших проблем по обслуживанию релейной аппаратуры в условиях депо, но нереально для выполнения в ближайшем будущем, так как для его реализации необходимы значительные капитальные затраты.

Поэтому, учитывая возможный длительный срок замены этими устройствами типовой аппаратуры АЛСН, согласно предложениям МИИТ и ОАО «НИИАС», была проведена модернизация релейного дешифратора ДКСВ. Это паллиативное мероприятие, позволяющее в краткие сроки на ближайшие годы снизить остроту проблемы сбоев на типовой аппаратуре АЛСН. Испытания модернизированных дешифраторов ДКСВ с измененным алгоритмом работы показывают возможность существенного снижения числа сбоев АЛСН на «сбойных» локомотивах.

Только точное понимание и качественная оценка всех возможных причин сбоев позволит найти соответствующие конкретные технические решения для уменьшения числа сбоев на всех типах локомотивов, особенно на современных электровозах с асинхронными тяговыми двигателями. Эти решения касаются устранения причин сбоев на «проблемных» сериях локомотивов и на «сбойных» локомотивах каждой серии. Но при этом на «сбойных» локомотивах устранение причин сбоев осуществляется восстановлением параметров локомотивных устройств АЛСН и силового оборудования до номинальных значений, а на «проблемных» сериях для этого должны быть проведены изменения существующих параметров устройств электровоза. Эти изменения могут касаться как конструкции локомотивных катушек, их параметров, места расположения, так и изменения силовых цепей электровоза и аппаратуры АЛСН с целью обеспечения условий ЭМС.

В настоящее время определить изменения параметров АЛСН, которые являются причиной сбоев на «сбойных» локомотивах и условия выполнения ЭМС между устройствами АЛСН и силовым оборудованием «проблемных» серий локомотивов пока не представляется возможным из-за отсутствия в данной области теоретических исследований, методики проверки и соответствующей аппаратуры, как в ремонтных локомотивных депо, так и у специалистов при научных исследованиях.

Решение данной проблемы требует проведения комплекса теоретических и экспериментальных исследований по определению параметров ЭМС аппаратуры АЛСН и силового оборудования локомотива, создание методик проверки и соответствующих стендов для определения локомотивов с низкой помехоустойчивостью и причин сбоев на них. С этой целью для локомотивных ремонтных депо АО НИИАС разрабатывает блок автоматизированного выявления причин низкой помехоустойчивости релейной аппаратуры АЛСН с использованием стенда ПК КОД из-за изменения параметров ее элементов.

УДК 656.25

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ РАДИОСВЯЗИ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В КАЧЕСТВЕ РЕЗЕРВНОГО КАНАЛА УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ПОЕЗДОВ**

*А. В. ТИМОШЕНКО*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Структура построения цифровых сетей радиосвязи стандартов TETRA, GSM-R и DMR предусматривает преимущественно централизованное построение СРДП с организацией взаимодействия единый центр управления (ЕЦУ) – локомотив.

Для повышения надежности функционирования системы радиосвязи должны быть предусмотрены технические решения, обеспечивающие организацию кольцевых структур линейного цифрового канала. При организации радиоканалов систем железнодорожной автоматики на основе использования цифро-

вых систем радиосвязи стандартов TETRA, GSM-R и DMR с учетом технических возможностей КЛУБ-У, МАЛС и других систем безопасности должны быть проведены исследования: выполнения режимов «хендвера» (непрерывного обмена информацией между центром управления и локомотивами); сокращения времени установления соединений (доставки информации) на основе применения режима GPRS (для систем GSM-R) с возможной организацией постоянного (в режиме группового соединения) взаимодействия между центром управления и локомотивами; оптимизации режимов передачи данных по скорости передачи – введения избыточного кодирования, определения достоверности передачи данных при различных условиях распространения радиосигналов. Важнейшим показателем при выборе стандарта цифровой системы радиосвязи (ЦСР) является перспектива его развития, а именно возможность увеличения скорости передачи информации и количества абонентов при сохранении качества обслуживания.

В таблице 1 приведены основные и дополнительные функции железнодорожной радиосвязи.

Таблица 1 – Основные и дополнительные функции железнодорожной радиосвязи

Стандарты цифровой радиосвязи	Параметры выполнения
Функции передачи речи	
Индивидуальный вызов	Время установления соединения – не более 1 с. Время передачи соединения – не более 0,3 с. Вероятность успешной передачи сообщения – не менее 0,995 %. Помехозащищенность информации
Групповой вызов	
Широковещательный вызов	
Функции передачи данных	
Передача статусных сообщений	Достоверность принимаемой информации не менее $10^{-4}$ . Передача видеосигналов. Высокая надежность каналов связи. Гарантия качества обслуживания на всей территории охвата сети
Передача коротких сообщений	
Передача данных с коммутацией каналов	
Передача данных с коммутацией пакетов	
Передача пакетов данных с коммутацией каналов	
Сетевой режим	
Организация виртуальных сетей связи	
Интеграция с сетями определения местоположения	
Приоритетный доступ	
Исключительный приоритет	
Идентификация вызывающей стороны	
Подключение абонентов к уже установившемуся соединению	
Прямой режим	
Быстрый набор номера	

В таблице 2 приведены сравнительные характеристики стандартов GSM-R, TETRA и DMR по требованиям, которые являются основополагающими для железнодорожной связи.

Таблица 2 – Сравнительная характеристика стандартов GSM-R, TETRA и DMR

Стандарты цифровой радиосвязи	GSM-R	TETRA	DMR
Основные параметры системы			
Время установления соединения	Более 1,5 с	0,3-0,5 с	0,3 с
Требуемое отношение сигнал/шум	12 дБ	9 дБ	6 дБ
Время передачи соединения	0,4 с	0,4 с	0,4 с
Максимальная скорость передачи информации	9,6 Кбит/с	28 Кбит/с	36 Кбит/с
Вероятность успешной передачи сообщения	0,995	0,995	0,995
Максимально допустимая скорость подвижного абонента при сохранении качества обслуживания	500 км/ч	400 км/ч	500 км/ч
Основные функции связи			
Индивидуальный вызов	Да		
Групповой вызов			
Широковещательный вызов			
Передача данных с коммутацией каналов	Нет		
Передача данных с коммутацией пакетов			
Передача пакетов данных с коммутацией каналов			
Сетевые функции			
Организация виртуальных сетей связи	Нет	Да	
Приоритетный доступ	Да		
Исключительный приоритет			
Подключение абонентов к уже установившемуся соединению	Нет		
Прямой режим			

Из таблиц 1 и 2 видно, что из рассматриваемых систем профессиональной мобильной радиосвязи DMR является системой, которая в большей степени удовлетворяет требованиям, предъявляемым к системам радиосвязи на железнодорожном транспорте, таким как время установления соединения; максимальная скорость передачи информации; частотная эффективность; наличие некоторых важных сетевых функций. По ряду параметров DMR превосходит GSM-R и TETRA. В частности меньшее время

организации канала радиосвязи (GSM-R – до 5 с, TETRA – 1 с, DMR – 0,5 с), наличие режима ретрансляции у абонентских станций и режима прямой связи (без участия базового оборудования), большая скорость передачи данных (GSM-R – 9,6 кбит/с, TETRA – до 28,8 кбит/с, DMR – 36 кбит/с).

Системы TETRA и GSM-R характеризуются меньшим уровнем чувствительности приемников и мощности передатчиков. Режим Simulcast в сетях TETRA и GSM-R не реализуется. Для обеспечения аналогичного DMR радиопокрытия территории системам TETRA и GSM-R требуется как минимум вдвое большее количество базовых станций.

Таким образом, наиболее предпочтительным для использования в качестве резервного канала управления движением поездов является цифровая радиосвязь стандарта DMR

УДК 656.25

## **ПРИЧИНЫ ИЗМЕНЕНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ СБОЕВ В РАБОТЕ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ЛОКОМОТИВНОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ**

*В. И. ШАМАНОВ*

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

На безопасность и бесперебойность движения поездов весьма существенное влияние оказывают нарушения устойчивости работы аппаратуры автоматической локомотивной сигнализации (АЛС). Устойчивость работы аппаратуры АЛС определяется электромагнитной обстановкой (ЭМО), которая наиболее сложна на электрифицированных участках железных дорог, где сбоев АЛС в 30–50 раз больше, чем на участках с автономной тягой.

Зависит ЭМО от действия ряда факторов и изменяется во времени. Медленно ЭМО меняется при увеличении времени эксплуатации верхнего строения пути и в зависимости от времени года. Быстро меняться ЭМО может при изменении поездной обстановки на участке пути, при возникновении отказов в элементах рельсовых линий. Знание причин изменения ЭМО обеспечивает возможность уменьшения интенсивности сбоев в работе АЛС.

Во время проведения капитального ремонта пути интенсивность сбоев АЛС увеличивается из-за неправильного проведения работ или плохого их качества. В течение трех-четырёх месяцев после такого ремонта на устойчивость работы АЛС сказывается неравномерная продольная намагниченность рельсов, являющаяся причиной появления в приемных локомотивных катушках АЛС помех с частотой до 40 Гц.

Первоисточником появления асимметрии тягового тока в рельсовой линии является асимметрия электрических сопротивлений её рельсовых нитей, возникающая вследствие увеличения переходных сопротивлений в токопроводящих и изолирующих элементах этих нитей. Сопротивление переходов «рельсы – накладки» растет вследствие ослабления болтовых соединений и попадания в зазоры материалов с высоким электрическим сопротивлением. Действие электрохимической коррозии в переходах «сталь – медь» в рельсовых стыковых соединителях и в дроссельных переключках увеличивает их электрическое сопротивление и вызывает необходимость их массовой замены через три – четыре года эксплуатации [2].

Процесс формирования асимметрии тягового тока в рельсовой линии обладает положительной обратной связью вследствие действия взаимной индуктивности между рельсовыми нитями рельсовой линии [3]. В результате асимметрия тягового тока в рельсовой линии может в несколько раз превышать асимметрию электрических сопротивлений её рельсовых нитей. Эта зависимость является функцией температуры рельсов и величины тягового тока в них [4].

Сопротивление рельсовых нитей растет с увеличением температуры окружающей среды и ростом тягового тока в рельсах. Если, например, изменяются одновременно температура рельсов в диапазоне от минус 40 до плюс 40 °С и тяговый ток в рельсах в диапазоне от 50 до 400 А, то величина сопротивления сплошных рельсов типа Р65 изменяется в 2,87 раза в диапазоне от 0,29 до 0,89 Ом/км [5]. В результате интенсивность сбоев АЛС меняется при изменении температуры рельсов, вызывая сезонные колебания этой интенсивности.

При талом грунте на поперечную асимметрию сопротивления рельсовых линий и на асимметрию тягового тока существенно влияет состояние цепей заземления различных конструкций, подключаемых к рельсам.

При движении поезда гармонический состав тягового тока может существенно изменяться. С ростом частоты гармоники тягового тока его асимметрия в рельсовой линии уменьшается. При электротяге постоянного тока наиболее характерны гармоники 300 и 600 Гц, частота которых в несколько раз выше, а величина тока существенно меньше по сравнению первой гармоникой тягового тока при электротяге переменного тока. В результате интенсивность сбоев АЛС на участках с электротягой постоянного тока меньше.

На величину асимметрии переменного тягового тока в рельсовых линиях влияют тяговые токи в контактных проводах, в рельсовых нитях смежных рельсовых линий, в высоковольтных линиях электроснабжения из-за наличия взаимных индуктивностей между данными линиями. Эти влияния могут как увеличивать, так и уменьшать асимметрию тягового тока в рельсовой линии. Всё зависит от характера соотношения сопротивлений в рельсовых нитях рассматриваемой рельсовой линии.

Проведенные исследования показали, что устойчивость работы аппаратуры АЛС в одной и той же ЭМО зависит ещё от того, на локомотивах какой серии она установлена [1].

Таким образом, медленно протекающие деграционные процессы в токопроводящих и изолирующих элементах рельсовых нитей создают определенный фон, усиливающий с течением времени силу действия других факторов, нарушающих устойчивость работы АЛС. Более быстрые изменения различных факторов и случайные их сочетания приводят к случайности изменения интенсивности сбоев АЛС.

#### Список литературы

- 1 Шаманов, В.И. Электромагнитная совместимость систем железнодорожной автоматики и телемеханики / В.И. Шаманов. – М. : ГОУ «УМЦ по образованию на ж.-д. транспорте», 2013. – 244 с.
- 2 Надежность систем железнодорожной автоматики, телемеханики и связи / Вл. В. Сапожников [и др.]. – М. : ФГБУ ДПО «УМЦ по образованию на ж.-д. транспорте», 2017. – 318 с.
- 3 Shamanov, V.I. The process of traction-current asymmetry generation in rail lines / V.I. Shamanov // Russian Electrical Engineering. – 2014. – Vol. 85, No. 8. – P. 509–512.
- 4 Шаманов, В.И. Магнитные свойства рельсовых нитей и уровень помех на аппаратуру железнодорожной автоматики и телемеханики / В.И. Шаманов // Электротехника. – 2015. – № 9. – С. 50–55.
- 5 Shamanov, V.I. Alternating Traction Current Dynamics in Track Lines on Double-Track Hauls / V.I. Shamanov // Russian Electrical Engineering. – 2016. – Vol. 87, No. 10. – P. 566–571.

УДК 656.25.071

### НОРМИРОВАНИЕ ТРУДА ПРИ ТЕХНИЧЕСКОМ ОБСЛУЖИВАНИИ БЕСКОНТАКТНОЙ АППАРАТУРЫ СЦБ

*Д. Н. ШЕВЧЕНКО*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

*Д. А. БЕРГИН*

*Белорусская железная дорога, г. Минск*

Обеспечение безопасности СЖАТ напрямую связано с работоспособностью используемой элементной базы. Аппаратура СЦБ требует регулярного квалифицированного технического обслуживания (ТО). Технологический процесс и технологические карты, регламентирующие периодичность, состав и последовательность технологических процедур ТО основной номенклатуры аппаратуры СЦБ, представлены в СТП БЧ 19.234, СТП БЧ 19.281 и в некоторых аналогичных документах. Нормы времени на ТО аппаратуры представлены в руководящем документе РД РБ 09150.19.073–2002.

Однако в настоящее время в хозяйстве сигнализации и связи Белорусской железной дороги эксплуатируется более 150 типов аппаратуры СЦБ, для значительной части которых до сих пор отсутствуют утвержденные регламенты ТО (технологический процесс и технологическая карта), а также нормативы времени ТО. Особенно остро данная проблема касается бесконтактной аппаратуры СЦБ и блоков на микроэлектронной и микропроцессорной элементных базах. Помимо вновь внедряемой аппаратуры требуют пересмотра техпроцессы и нормы времени на ТО существующей аппаратуры СЦБ при внедрении новых средств автоматизации ТО.

В сложившейся ситуации видится актуальным на базе Дорожной лаборатории автоматики, телемеханики и связи:

- 1) определить перечень аппаратуры СЦБ, требующей создания или пересмотра техпроцессов, техкарт и существующих нормативов времени ТО;
  - 2) формализовать технологические процессы и разработать технологические карты на ТО требуемой аппаратуры СЦБ;
  - 3) обосновать перечень и выполнить хронометраж необходимых технологических операций;
  - 4) разработать нормативы времени на ТО аппаратуры СЦБ;
  - 5) определить экономическую эффективность разработанных нормативов и утвердить их.
- Разработка указанных документов позволит:
- снять проблему методического и нормативного обеспечения ТО;
  - оптимизировать штат ремонтно-технологических участков (РТУ);
  - обеспечить исходной информацией автоматизированную систему управления РТУ ТО в хозяйстве сигнализации и связи Белорусской железной дороги.

УДК 656.21:656.257.62-599

## НОРМИРОВАНИЕ КОЛИЧЕСТВА АППАРАТУРЫ СЦБ В ЭКСПЛУАТАЦИОННОМ ЗАПАСЕ

*Д. Н. ШЕВЧЕНКО, И. Н. КРАВЧЕНЯ*

*Белорусский государственный университет транспорта. г. Гомель*

Эксплуатационный запас аппаратуры сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ) необходим для обеспечения бесперебойной работы систем электрической централизации в случае отказа их элементов. Для станций, оборудованных релейной электрической централизацией (ЭЦ), нормативы на количество ЗИП отсутствуют, а фактическое количество ЗИП сложилось «исторически» и утверждено директивно. Для станций, оборудованных микропроцессорной централизацией (МПЦ), количество ЗИП устанавливается нормативами на уровне не менее 10 % от общего количества используемой аппаратуры каждого типа. При этом данный норматив математически не обоснован. Он некорректно (лишь линейно) учитывает количество эксплуатируемой аппаратуры и не учитывает интенсивность ее отказов, а также возможность и оперативность восполнения запаса. Главное, что данный норматив не обосновывается исходя из заранее заданной (обоснованной) вероятности нехватки ЗИП.

Рассмотрена задача обоснования количества аппаратуры СЦБ в эксплуатационном запасе станций. Указаны факторы, влияющие на количество ЗИП. Предложена математическая модель расчета количества ЗИП, необходимого для обеспечения бесперебойной работы станционных систем СЦБ с заданной вероятностью, как одноканальной марковской системы массового обслуживания с ограниченной очередью. Входящий поток заявок формируется отказами  $X$  единиц однотипной эксплуатируемой аппаратуры. Стеллаж с  $N$  единицами запасной аппаратуры моделируется обслуживающим прибором (1 шт.) и очередью  $(N - 1)$  шт. При этом обслуживающий прибор выполняет роль персонала, занятого восполнением ЗИП. Заявка (отказавшее устройство СЦБ), заставшая в СМО  $N$  заявок, получает отказ в обслуживании из-за отсутствия ЗИП (все  $N$  запасных устройств СЦБ уже задействованы). Задача нормирования ЗИП сводится к определению (отдельно для каждого типа аппаратуры) наименьшего значения  $N$ , для которого фактическая вероятность отказа в обслуживании не превышала бы нормативной вероятности  $P$  (для заданных значений количества аппаратуры  $X$  и интенсивности её отказов  $\lambda$ ). До сих пор вероятность отсутствия запаса  $P$  в хозяйстве СЦБ не задавалась и не нормировалась. В работе предлагается подход к заданию  $P$ , идея которого состоит в том, чтобы влияние фактора «нехватка ЗИП» на надежность системы СЦБ было пренебрежимо мало (на уровне 5 %) по сравнению с влиянием фактора «отказ аппаратуры» каждого отдельного типа и системы СЦБ в целом.

Предварительная апробация методики показала, что на станциях, оборудованных ЭЦ, предлагаемое количество ЗИП согласуется с фактическими значениями, сложившимися «исторически» в процессе многолетней эксплуатации аппаратуры. На станциях, оборудованных МПЦ, применение вероятностной методики во многих случаях позволило бы обоснованно уменьшить количество ЗИП. Наибольший выигрыш вероятностная модель дает для массовой высоконадежной аппаратуры. Для реализации вероятностной методики существующие нормативные документы предлагается дополнить приложением, в котором для типичных значений интенсивности отказов  $\lambda$  и количества эксплуатиру-

емой аппаратуры  $X$  (в форме двумерной таблицы) будет указано необходимое количество ЗИП. Для различных типовых значений среднего времени восполнения запаса заполняется отдельная таблица.

По сравнению с существующим директивным подходом, предлагаемый вероятностный подход объективно учитывает интенсивность отказов аппаратуры и оперативность восполнения запаса, а также вероятность отсутствия ЗИП. Для большинства эксплуатируемой на станции аппаратуры СЦБ новый подход обосновывает сокращение эксплуатационного запаса. Это позволит отказаться от закупки новой аппаратуры, а также сократить расходы на хранение и поддержание работоспособного состояния ЗИП. Для уже эксплуатируемых релейных систем СЦБ новый норматив позволил бы уточнить и «узаконить» существующее количество ЗИП.

УДК 621.396 (476)

## **ВЫБОР БАЗ ДАННЫХ ДЛЯ БЕЛОРУССКОГО ИНТЕРНЕТ-ПОРТАЛА TUT.BY**

*В. Г. ШЕВЧУК, В. Ю. АСКЕРКО*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

*А. М. ГАРЦЕВ*

*Гомельский филиал ООО «ТУТ.БАЙ.Медиа», Республика Беларусь*

Интернет-порталы стремительно входят в жизнь каждого человека. Свежую и актуальную информацию современный пользователь получает исключительно в сети Интернет. Белорусский портал TUT.BY включает в себя около 70 тематических проектов, посвященных экономике, политике, информационным технологиям и науке, финансам, культурной жизни страны. Это и поисковая система по белорусскому и российскому сегментам Интернет, свежие новости, торговая площадка, сервисы поиска работы и недвижимости, справочная информация, афиша культурных мероприятий, Интернет-телевидение и многое другое. Каждый проект портала TUT.BY зачастую работает на отдельном сервере либо на нескольких серверах.

HTTP-сервер выполняет следующие функции:

- сохранение списка файлов, кеш-дескрипторов открытых файлов;
- акселерированное проксирование без кэширования, простое распределение нагрузки и отказоустойчивость;
- поддержка кэширования при акселерированном проксировании и FastCGI;
- акселерированная поддержка FastCGI и memcached серверов, простое распределение нагрузки и отказоустойчивость;
- модульность, фильтры, в том числе сжатие (gzip), byte-ranges (докачка), chunked ответы, HTTP-аутентификация, SSI-фильтр;
- несколько подзапросов на одной странице, обрабатываемые в SSI-фильтре через прокси или FastCGI, выполняемые параллельно;
- поддержка SSL и др.

В nginx рабочие процессы обслуживают одновременно множество соединений, мультиплексируя их вызовами операционной системы select, epoll (Linux) и kqueue (FreeBSD). Рабочие процессы выполняют цикл обработки событий от дескрипторов. Полученные от клиента данные разбираются с помощью конечного автомата. Разобранный запрос последовательно обрабатывается цепочкой модулей, задаваемой конфигурацией. Ответ клиенту формируется в буферах, которые хранят данные либо в памяти, либо указывают на отрезок файла. Буферы объединяются в цепочки, определяющие последовательность, в которой данные будут переданы клиенту. Если операционная система поддерживает эффективные операции ввода-вывода, такие как writev и sendfile, то nginx применяет их по возможности.

Среди известных проектов, использующих nginx, Рамблер, Яндекс, Mail.ru, Avito.ru, Badoo, Ukr.net, Begun, Wordpress.com, SourceForge.net, ВКонтакте, Facebook, Groupon, Diary.ru, Rutracker.org, Netflix, Instagram, Pinterest, Tumblr, Superjob.ru, HeadHunter, 2ГИС и многие другие.

В связи с растущей популярностью руководство проекта nginx решило начать предлагать коммерческий сервис для своих клиентов. Для этого были введены три пакета технической поддержки – Premium, Advanced и Essential. Эти пакеты включают в себя установку, повышение производи-

тельности, конфигурацию, сопровождение программного обеспечения, реализацию, содействие в проектировании и финальной оптимизации.

MySQL – свободная реляционная система управления базами данных, которая является решением для малых и средних приложений. Входит в состав серверов WAMP, AppServ, LAMP и в портативные сборки серверов Денвер, XAMPP. Обычно MySQL используется в качестве сервера, к которому обращаются локальные или удалённые клиенты, однако в дистрибутив входит библиотека внутреннего сервера, позволяющая включать MySQL в автономные программы. Гибкость СУБД MySQL обеспечивается поддержкой большого количества типов таблиц: пользователи могут выбрать как таблицы типа MyISAM, поддерживающие полнотекстовый поиск, так и таблицы InnoDB, поддерживающие транзакции на уровне отдельных записей. Более того, СУБД MySQL поставляется со специальным типом таблиц EXAMPLE, демонстрирующим принципы создания новых типов таблиц.

MongoDB (от англ. humongous – огромный) – документо-ориентированная система управления базами данных (СУБД) с открытым исходным кодом, не требующая описания схемы таблиц. Написана на языке C++. При разработке исходили из необходимости специализации баз данных, благодаря чему удалось отойти от принципа «один размер подо всё». За счёт минимизации семантики для работы с транзакциями появляется возможность решения целого ряда проблем, связанных с недостатком производительности, причём горизонтальное масштабирование, становится проще.

Основные возможности:

- документо-ориентированное хранение (JSON-подобная схема данных);
- достаточно гибкий язык для формирования запросов;
- профилирование запросов;
- эффективное хранение двоичных данных больших объёмов, например, фото и видео;
- журналирование операций, модифицирующих данные в базе данных;
- поддержка отказоустойчивости и масштабируемости: асинхронная репликация, набор реплик и распределения базы данных на узлы;
- может работать в соответствии с парадигмой MapReduce;
- полнотекстовый поиск, в том числе на русском языке, с поддержкой морфологии и др.

Проведенные исследования показали, что в настоящее время наиболее предпочтительными по своим техническим характеристикам, являются веб-сервера Apache и Nginx. Наиболее предпочтительными базами данных являются MySQL и MongoDB.

Анализ устройств и веб-приложений показал, что происходит ежегодное увеличение числа пользователей мобильных устройств и планшетов порядка на 200–300 %. Происходит также ежегодное увеличение пользователей операционных систем iOS и Android. Доля же пользователей Windows ежегодно сокращается в пользу мобильных платформ.

УДК 621.395

## **ИССЛЕДОВАНИЕ УРОВНЯ РАДИОПОМЕХ НА УЧАСТКЕ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ НА ЧАСТОТЕ ПОЕЗДНОЙ РАДИОСВЯЗИ**

*В. Г. ШЕВЧУК, Р. А. СОЛОВЬЕВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

*А. А. ФИЩЕНКО*

*Белорусская железная дорога, г. Минск*

*Г. А. ГУЛЛАКОВ*

*Туркменские железные дороги, г. Мары*

Существующие симплексные аналоговые системы радиосвязи Белорусской и Туркменских железных дорог не соответствует предъявляемым к ней современным требованиям. Качество этой связи оценивается порою работниками как неудовлетворительное, особенно на электрифицированных участках дорог.

В качестве полигона проведенных исследований был выбран электрифицированный участок железной дороги, контактная сеть на котором является сильным источником электромагнитных



помех [1]. Тяговая сеть электрифицированных дорог, обладая большой электрической мощностью, оказывает нежелательное воздействие на линии связи, проходящие в непосредственной близости от железной дороги, и даже может нарушить нормальную работу линии связи [2].

На железных дорогах используют различные аналоговые системы для реализации услуг поездной и маневровой, технологической и ремонтной радиосвязи, передачи информации между наземными устройствами и поездами в системе локомотивной сигнализации.

Аналоговые системы технологической радиосвязи уже не отвечают современным требованиям к подвижной связи из-за отсутствия необходимой пропускной способности, недостаточного качества связи, ограниченного набора услуг, отсутствия засекречивания передаваемых сообщений, подверженности различного рода помехам.

Существуют различные способы защиты линий связи от влияния электрифицированных дорог, снижающие эти влияния. Защитные мероприятия осуществляются как на устройствах электрической тяги, так и на линиях связи. Электровозы снабжены помехоподавляющими устройствами в виде заградительных фильтров, включаемых в высоковольтную шину на крыше локомотива и снижающих уровень помех примерно в порядок.

Результаты измерения радиопомех на исследуемом участке железной дороги (рисунок 1) показали, что контактная сеть оказывает существенное влияние на качество разговорных трактов в системе симплексной поездной радиосвязи гектометрового диапазона радиочастот.

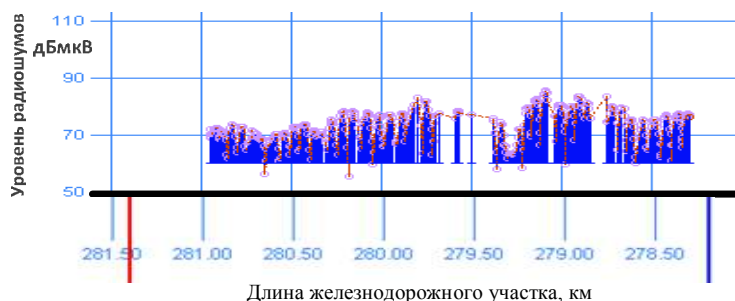


Рисунок 1 – График результатов измерений радиопомех на участке

Из графика видно, что на исследуемом железнодорожном участке от 281,0 по 278,2 км уровень радиопомех превышает установленную норму, поскольку нормой являются значения до 60 дБмкВ.

Одним из вариантов модернизации радиосетей на железных дорогах является переход к цифровому общеевропейскому стандарту железнодорожной радиосвязи DMR [3].

Цифровая система радиосвязи DMR обладает рядом преимуществ, которые позволяют упростить обмен информацией, улучшают качество передачи речи, расширяется зона действия связи, повышаются качество обслуживания абонентов и уровень безопасности перевозок.

В целом, при внедрении система позволяет решить многие прикладные задачи, в частности:

- увеличение числа абонентов сетей железнодорожной радиосвязи в несколько раз (в рамках существующего частотного ресурса) с оснащением радиосредствами работников всех служб;
- увеличение протяженности зон связи и повышения надежности связи диспетчерского аппарата при организации поездной и станционной радиосвязи;
- организация сетей радиосвязи работников ремонтных и эксплуатационных подразделений, находящихся на перегонах, с диспетчерским аппаратом служб, руководителями подразделений, дежурными по станциям и поездными диспетчерами в условиях существенного увеличения длин перегонов и диспетчерских участков;
- контроль и передачу диагностической информации о состоянии подвижного состава на ходу поезда в депо, центры технического обслуживания и оповещение машинистов поездов и бортовых средств управления и контроля;
- передача телеметрической информации для управления стационарными объектами электрооборудования, тяговыми подстанциями, шлагбаумами;
- оповещение ремонтных бригад и машинистов поездов о приближении к месту проведения ремонтных работ и др.

Цифровые системы радиосвязи на Белорусской и Туркменских железных дорогах позволяют обеспечить уровень безопасности движения поездов в условиях повышения их скоростей.

## Список литературы

- 1 Шевчук, В. Г. Транспортные радиосистемы. Распространение энергии звуковых и электромагнитных волн : конспект лекций / В.Г.Шевчук. – Гомель : БелГУТ, 1998. – 128 с.
- 2 Долгополов, А. Г. Исследование качества речевых сообщений в системе поездной радиосвязи / А.Г. Долгополов, Р.О. Юркевич, В. Г. Шевчук // Системы передачи и распределения информации : сб. науч. тр. / под ред. В. Г. Шевчука. – Гомель : БелГУТ, 2015. – С. 76–78.
- 3 Стандарт DMR [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://prs.by/rus/solutions/dmr> – Дата доступа: 10.05.2017

УДК 004.9:616-072.1

## ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ

*К. Э. ЧЕРКАСОВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Обеспечение безопасности движения поездов является одной из важнейших задач в сфере железнодорожных перевозок. Несмотря на все меры, направленные на ее повышение, существующие системы не являются абсолютно безопасными, в частности, из-за возможного вмешательства человеческого фактора. Вероятность человеческой ошибки колеблется в пределах от  $10^{-3}$  до  $10^{-2}$  и значительно повышает ся во время критических ситуаций, что негативно сказывается на общем уровне безопасности.

Одним из вариантов решения подобной проблемы является использование системы поддержки принятия решений (СППР). СППР обеспечивают компьютерную поддержку для принятия наиболее оптимальных решений в ситуациях, которые требуют обработку большого количества информации и разработку сложных сценариев с использованием этой информации. Такая система позволила бы в режиме реального времени показывать подробные инструкции по рекомендуемым действиям в конкретной нештатной ситуации, значительно снижая тем самым влияние человеческого фактора при обеспечении безопасности движения поездов.

Каждая СППР состоит из трех компонентов:

- 1 База данных: содержит информацию об объекте.
- 2 Модель: определяет принципы, на основе которых происходит анализ и обработка данных.
- 3 Пользовательский интерфейс: позволяет человеку взаимодействовать с программой в удобном для него формате.

Рассматривая СППР в контексте решения проблемы обеспечения безопасности движения поездов, можно предложить следующей рекомендации по ее разработке.

Для создания базы данных необходимо провести подробный анализ уже происходивших нештатных ситуаций, а также аналитическим методом определить нештатные ситуации, которые могут возникнуть при определенных обстоятельствах. После этого необходимо разработать подробный список инструкций для каждой из этих ситуаций и занести информацию в базу данных.

Разработка модели СППР является наиболее сложной и комплексной задачей из всех трех. Существуют различные методики для разработки модели, наиболее популярными из них являются: интеллектуальный анализ данных; поиск знаний в базах данных; рассуждение на основе прецедентов; имитационное моделирование; эволюционные вычисления и генетические алгоритмы; нейронные сети; ситуационный анализ; когнитивное моделирование и др.

Учитывая специфику проблемы, рациональным будет использование интеллектуального анализа данных, поиска знаний, а также прецедентного анализа. Это позволит создать базу данных, заполненную вручную, и поддерживать ее впоследствии уже с помощью специальных алгоритмов.

Еще более эффективной может быть самообучающаяся модель на основе нейронных сетей, но такой вариант является крайне сложным в реализации и требует значительных материальных затрат.

Разработка пользовательского интерфейса не имеет четких требований, однако рекомендуется отображать только необходимый минимум информации, не перегружая пользователя, но позволяя получить более глубокую информацию при необходимости.

Все эти аспекты необходимо учитывать при разработке СППР для дежурного по станции при построении автоматизированных систем управления движением поездов.

## 4 ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ТРАНСПОРТА

---

УДК 656.225

### ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ КРУПНЫХ ГОРОДОВ ЗА СЧЕТ ВНЕДРЕНИЯ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ РАБОТЫ С ТКО

*М. М. АЛАЕВ, Т. И. КАШИРЦЕВА*

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

ОАО «РЖД» уделяет большое внимание экологичности оказываемых услуг. В настоящее время разрабатываются предложения по новым направлениям деятельности, обеспечивающим улучшение экологической ситуации в стране.

Одним из таких новых направлений деятельности ОАО «РЖД» является организация перевозки твердых коммунальных отходов (ТКО) железнодорожным транспортом из крупных мегаполисов на удаленные полигоны захоронения.

Предпосылкой к организации такого вида перевозок стал наблюдающийся в настоящее время рост численности населения крупнейших мегаполисов Российской Федерации, в первую очередь Москвы, Санкт-Петербурга и Сочи, что привело к росту в этих городах объема твердых коммунальных отходов (ТКО). По данным Technorecycling group ежегодный объем образования ТКО в расчете на одного жителя России – 350 кг. Основной объем приходится на жителей мегаполисов. В г. Москве ежегодно образуется около 7 млн т ТКО, в ближайшем Подмосковье – порядка 3 млн т.

Данный фактор, с учетом перегруженности действующих полигонов захоронения ТКО, у большей части которых заканчивается срок эксплуатации в связи с полным их заполнением, вызвал необходимость строительства новых полигонов. Строительство их вблизи крупнейших мегаполисов затруднено ввиду высокой плотности населения и отсутствия площадок, соответствующих предъявляемым экологическим и санитарно-эпидемиологическим требованиям. В связи с этим возникает необходимость вывоза ТКО на удаленные полигоны захоронения.

Известно, что перевозки грузов на большие расстояния эффективно осуществлять железнодорожным транспортом. Поэтому ОАО «РЖД» прорабатывает проект технологии работы с ТКО.

Многие государства уже имеют опыт перевозки ТКО именно по железным дорогам. Перевозка ТКО железнодорожным транспортом осуществляется в таких странах, как США, Германия, Австралия и др. Международный опыт железнодорожных перевозок ТКО базируется на организации перегрузочных терминалов, где осуществляется прием ТКО, его сортировка и погрузка в железнодорожный подвижной состав.

Вывоз ТКО на полигоны захоронения при использовании железнодорожного транспорта целесообразно осуществлять по одному из двух вариантов:

1 В качестве основного рассматривается вариант, при котором сбор ТКО будет осуществляться мусоровозами компаний-операторов в местах его зарождения, к которым относятся многоквартирные дома, коммерческие и муниципальные объекты. Затем ТКО будут доставляться на железнодорожные площадки, на которых будут размещаться мусороперегрузочные или мусоросортировочные комплексы компаний-операторов. На этих комплексах силами компаний-операторов будет производиться отбор полезных вторичных фракций, сортировка ТКО по классам опасности, дробление крупногабаритных ТКО, прессование, брикетирование и упаковка ТКО в стретч-пленку. После этого ТКО силами ОАО «РЖД» будут грузиться в полувагоны для дальнейшей отправки до станций выгрузки.

2 В качестве альтернативного рассматривается вариант, при котором отходы также будут собираться мусоровозами компаний-операторов, доставляться на существующие объекты обработки ТКО, где отходы будут отсортировываться и перегружаться в универсальные крупнотон-

нажные контейнеры. После этого отходы в контейнерах будут доставляться на железнодорожные станции, силами ОАО «РЖД» грузиться на железнодорожные платформы и отправляться на станции выгрузки. Там контейнеры будут перегружаться на контейнеровозы и доставляться на полигоны для выгрузки ТКО.

При реализации данного проекта перевозки ТКО существует и ряд проблем.

В первую очередь, необходимо определить соответствующие предъявляемым требованиям железнодорожные площадки, на которых будут размещаться объекты обработки ТКО и осуществляться погрузка/выгрузка их на железнодорожный транспорт. Основная проблема выбора этих площадок заключается в том, что в Москве, Санкт-Петербурге, Сочи за счет высокой населенности очень мало площадок, которые бы находились на требуемом удалении от жилой застройки или природоохранных объектов.

Кроме того, согласно действующему законодательству в области обращения с отходами, для реализации данного проекта необходимо внесение выбранных железнодорожных площадок в региональные территориальные схемы обращения с отходами.

По сравнению с использованием автотранспорта технология вывоза ТКО железнодорожным транспортом имеет ряд преимуществ.

Во-первых, реализация данного проекта позволит максимально минимизировать риск возникновения новых несанкционированных свалок вблизи крупных мегаполисов.

Во-вторых, помимо этого, предлагаемая технология даст возможность:

– осуществлять единовременный вывоз большого объема ТКО на удаленные полигоны захоронения;

– размещать ТКО на полигонах, расположенных вдали от крупных населенных пунктов;

– эффективно использовать площади полигонов захоронения за счет размещения спрессованных ТКО;

– создать новые рабочие места в регионах;

– снизить загруженность автомагистралей и издержки на ремонт, эксплуатацию и содержание автотрасс за счет перевода транспортной работы с автомобильного транспорта на железнодорожный.

В совокупности с преимуществами железнодорожного транспорта, такими как развитая сеть железных дорог, удобное размещение железнодорожных площадок погрузки-выгрузки ТКО, гибкая тарифная политика, наличие требуемого подвижного состава и средств механизации, предлагаемые решения позволят разрешить сложившуюся ситуацию с вывозом ТКО в ближайшей перспективе без нанесения ущерба окружающей среде и удорожания стоимости вывоза ТКО.

УДК 629.4.072.3

## **РЕГУЛИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ВОДЯНЫХ НАСОСОВ ДИЗЕЛЕЙ ТЕПЛОВЗОВ**

*В. Н. БАЛАБИН, В. Н. ВАСИЛЬЕВ, Г. И. НЕКРАСОВ  
Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва*

В настоящее время система охлаждения дизеля тепловоза, как правило, конструируется из расчета потребности в отводе тепла при максимальной нагрузке дизеля, соответствующей наибольшей потребляемой мощности агрегатов и устройств этой системы.

Целью данного исследования является создание алгоритма управления приводом водяных насосов для стабилизации температурных режимов систем дизеля и снижения расхода топлива.

Выполненные в РУТ (МИИТе) исследования, направленные на совершенствование рабочего процесса тепловозного дизеля, определили, что на промежуточных режимах в систему охлаждения отводится примерно 30–40 % тепла, полученного при сгорании топлива. Но при этом сама система рассчитывается для отвода тепла при максимальной нагрузке дизеля.

Сегодня активно рассматриваются варианты системы автоматического регулирования температуры теплоносителя при условии регулирования производительности насоса. Для этого предлагается замена механического привода насоса от коленчатого вала дизеля на автономный электрический.

Применение программируемых электронных блоков управления позволяет учитывать множество различных параметров, влияющих на объект регулирования, в данном случае на температуру теплоносителя.

После запуска дизеля по алгоритму определяется, в каком диапазоне температур находится выходная температура дизеля. Каждый диапазон представлен отдельным этапом, имеющим подпроцесс, в результате которого определяется разница выходной и входной температур. В случае, если температурный перепад менее  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ , скорость насоса должна быть уменьшена до значения скорости предшествующего этапа, являвшейся для него максимальной. При нахождении разности температур в зоне  $10\text{ }^{\circ}\text{C} < \Delta T < 12\text{ }^{\circ}\text{C}$  выбирается скорость, соответствующая данному диапазону температур охлаждающей жидкости. В случае превышения температурного перепада предельного значения скорость насоса должна быть увеличена до следующего стандартного значения. При переходе из одного диапазона температур в другой цикл подпроцессов повторяется, в итоге вычисляется необходимая в данный момент скорость вращения вала насоса. При достижении предельно допустимой температуры (для высокотемпературной системы  $104\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) насос включается на максимальную скорость работы и находится в этом режиме до достижения температуры в  $102\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

В случае, если дизель остановлен, частота вращения водяного насоса постепенно снижается темпом, необходимым для предотвращения образования пара в зарубашечном пространстве цилиндров.

Проведенный расчет теплового состояния в программном комплексе SolidWorks показал, что в режиме малых нагрузок система охлаждения обоих контуров функционирует не в оптимальном для дизеля режиме.

Температура охлаждающей жидкости второго контура охлаждения на 3–7 ПКМ имеет среднюю температуру ниже рекомендуемой. Например, на 4 ПКМ –  $56\text{ }^{\circ}\text{C}$ , когда рабочая температура должна составлять  $65\text{--}70\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Исходя из этого, можно сказать, что на 3–7 ПКМ система охлаждения избыточно охлаждает дизель, что приводит к невозможности довести температуру до рабочих значений. Однако стоит отметить, что в ТУ 2501-001-05763843–2002 на дизель-генераторную установку 18-9ДГ рекомендуемый диапазон рабочих температур указан  $75\text{--}90\text{ }^{\circ}\text{C}$  для настройки системы регулирования температуры на тепловозе. Столь широкий диапазон рабочих температур задан с учетом несовершенства систем регулирования температуры, которые проектировались несколько десятилетий назад. Современный уровень развития техники позволяет улучшить значения этого параметра до приемлемого уровня. На рисунке 1 показана подача насоса первого (горячего) контура в зависимости от частоты вращения вала насоса по позициям контроллера машиниста.

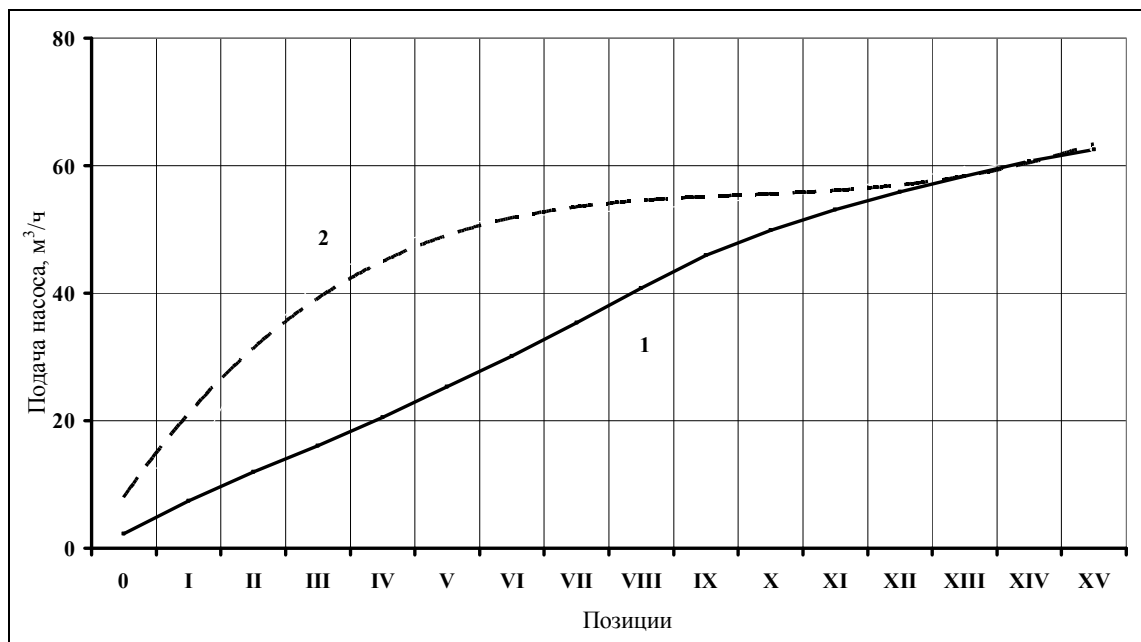


Рисунок 1 – Необходимая (1) и действительная (2) подачи насоса

Если сравнить существующие подачи на каждой позиции с требуемыми подачами насосов, то станет видно, что на всех режимах, кроме номинального, реальная подача насоса превышает требуемые значения. Такой режим работы приводит к перерасходу энергии на привод насосов и к неэффективному использованию системы охлаждения.

На основе проведенных расчетов тепловыделения дизель-генераторной установки 18-9ДГ и сравнительного анализа параметров работы насосов системы охлаждения при механическом приводе, с параметрами, требуемыми в соответствии с расчетным тепловыделением на каждой позиции в каждый контур охлаждения, можно сделать вывод о несоответствии подачи насосов необходимым значениям в большом диапазоне работы двигателя.

Применение электропривода позволяет уменьшить этот диапазон и поддерживать в более жестких рамках температуру, независимо от режимов работы двигателя. При этом стабилизируется рабочий процесс в цилиндрах и выходные характеристики дизель-генератора, снизится расход топлива.

УДК 628.3

## **ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ВОДОЕМОВ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ ПРИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД**

*Г. Н. БЕЛОУСОВА, Ю. А. АВЧИННИКОВА, А. Е. ДАВИДОВИЧ  
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Действующие программы по рациональному использованию водных ресурсов, решению экологических и ресурсосберегающих задач в Республике Беларусь предусматривают дальнейшее снижение антропогенного воздействия на окружающую среду и улучшение экологической обстановки на основе требований к очистке сточных вод, которые с каждым годом возрастают. Об эффективности очистки судят не только по очистке от загрязнений органического характера и взвешенным веществам, но и по показателям очистки от биогенных элементов.

Приемниками сточных вод в основном служат водоемы. Сточные воды перед сбросом в водоем необходимо частично или полностью очистить. Как известно, в воде водоема содержится определенный запас кислорода, который может быть частично использован для окисления органического вещества, поступающего в водоем вместе со сточной водой. Водоем, таким образом, обладает некоторой самоочищающей способностью, т. е. в нем под воздействием микроорганизмов-минерализаторов могут окисляться органические вещества, но при этом содержание растворенного кислорода в воде будет падать. Не следует, однако, преувеличивать возможностей водоемов, в частности рек, в отношении приема больших масс сточных вод даже в том случае, если кислородный баланс позволяет осуществить такой сброс без окончательной их очистки. Любой, даже небольшой, водоем, как правило, используется для массового купания и имеет архитектурно-декоративное и санитарное значение.

Качество городских сточных вод формируется качеством сточных вод населения города и промышленных предприятий, сбрасывающих сточные воды в городскую канализацию. Раньше наиболее характерными загрязнениями сточных вод являлись ионы тяжелых металлов, теперь же в сточных водах наблюдаются повышенные концентрации органических соединений и соединения азота и фосфора. Поступление в поверхностные водоемы большого количества азота и фосфора приводит к их гибели. Для обеспечения экологической безопасности водоемов в Республике Беларусь разработаны нормативные документы, в которых установлены ПДК загрязнений водных объектов, а также методики нормирования качества сбрасываемых сточных вод, в том числе большое значение придается качеству очищенных сточных вод по соединениям азота и фосфора.

На канализационных очистных сооружениях, построенных 40 и более лет назад, реализуется традиционная схема очистки сточных вод, позволяющая снизить концентрацию органических веществ по БПК и концентрацию взвешенных веществ на 90 %, а концентрацию азота общего и фосфора общего – на 30 %, что является недостаточным по современным условиям выпуска очищен-

ных стоков в водоем. В настоящее время назрела острая необходимость в реконструкции существующих очистных сооружений, с обеспечением в них как снижения БПК и взвешенных веществ, так и одновременного глубокого удаления соединений азота и фосфора.

В результате обследования очистных сооружений города Гомеля в период производственной практики дана количественная и качественная характеристика сточных вод города и определены расчетные расходы, выполнен анализ очистных сооружений на пропуск фактического расхода и эффективности работы очистных сооружений.

Использование современных способов реконструкция и модернизация очистных сооружений позволяет достичь желаемых результатов и значительно повысить эффективность работы очистных сооружений, затрачивая при этом минимальное количество средств.

С целью очистки сточных вод от биогенных элементов предусматривается реконструкция существующих аэротенков с выделением зон нитрификации и денитрификации.

После проведения всех необходимых расчетов и предложенных мероприятий по повышению эффективности работы очистных сооружений эксплуатируемые аэротенки-смесители с регенерацией переоборудованы в сооружения для глубокого удаления азота и фосфора. Весь объем аэротенка разбивается на зоны, и в каждой зоне устанавливается необходимое оборудование (в анаэробной и аноксидных зонах установлены погружные механические мешалки фирмы «Flygt» SR 4640.410F, а в оксидной зоне – система аэрации из полимерных волокнисто-пористых материалов). Предусмотрена автоматизированная работа аэротенка.

Так как требования к очистке сточных вод с каждым годом возрастают и о ее эффективности судят не только по очистке от загрязнений органического характера и взвешенным веществам, но по показателям очистки от биогенных элементов, то переоборудование существующего аэротенка в сооружение для глубокого удаления соединений азота и фосфора позволит повысить эффективность очистки сточных вод за счет введение в технологическую схему анаэробных и аноксидных зон.

Уникальность данных исследований заключается в эффективном одновременном удалении соединений азота и фосфора исключительно биологическим путем, без внесения химических реагентов. Проектные предложения по повышению эффективности работы очистных сооружений соответствуют требованиям экологической безопасности к данному объекту.

УДК 621.577

## **ОЦЕНКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ В ДИПЛОМНОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ**

*Г. Н. БЕЛОУСОВА, Е. И. НАУМЕНКО*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Дипломное проектирование является завершающим этапом подготовки студентов в вузе и способствует закреплению и углублению теоретических и практических знаний по избранной специальности. На этом этапе раскрываются творческие способности студента, проявляется его инженерный талант, уровень профессиональной подготовки, способность к самостоятельной работе. Дипломный проект должен быть разработан на основании требований производства не только сегодняшнего, но и завтрашнего дня. В нем должны раскрываться вопросы новых технологий, обеспечивающих рациональное использование природных ресурсов, современных методов строительства как отдельных сооружений, так и систем водоснабжения и водоотведения в целом. Такой подход позволит студенту получить действительно новые и интересные результаты, имеющие конкретное практическое применение на предприятиях промышленности страны. Одним из разделов дипломного проекта по специальности 1-70 04 03 «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов» является «Энергосберегающие мероприятия».

По причине повышения тарифов на энергоносители и газ появляется потребность экономить на отоплении и нагреве воды. Энергосбережение в свою очередь даёт возможность сэкономить такие

природные ресурсы, как нефть и газ. Кроме того, снижается нагрузка на газотранспортные системы и магистральные трубопроводы.

На подогрев воды в зимний и охлаждение в летний периоды расходуется большое количество тепловой и электрической энергии. Применение комплекса рациональных решений на этапах проектирования и строительства позволяет многократно снизить общее потребление энергии в процессе дальнейшей многолетней эксплуатации жилых и нежилых зданий.

Альтернативой традиционным способам теплоснабжения, основанным на сжигании топлива, является выработка тепла с помощью теплового насоса. Независимо от типа теплового насоса и типа привода компрессора на единицу затраченного исходного топлива потребитель получает по крайней мере в 1,1–2,3 раза больше тепла, чем при прямом сжигании топлива.

Такая высокая эффективность производства тепла достигается тем, что тепловой насос вовлекает в полезное использование низкопотенциальное тепло естественного происхождения (тепло грунта, природных водоемов, грунтовых вод) и техногенного происхождения (промышленные стоки, очистные сооружения, вентиляция и т.д.) с температурой от +3 до +40 °С, т.е. такое тепло, которое не может быть напрямую использовано для теплоснабжения.

Выполненный в дипломном проекте расчет потребности в тепловой энергии на горячее водоснабжение показал, что фактическое теплопотребление системой горячего водоснабжения двенадцатиэтажного жилого здания общей площадью 2364,48 м<sup>2</sup> составляет 224 кВт. При этом:

– среднесуточная нагрузка на горячее водоснабжение в отопительный период, составляет 5973264 кДж/сут при норме водопотребления для жилых зданий квартирного типа, оборудованных ванными, 120 л/сут;

– средняя нагрузка на горячее водоснабжение в отопительный период равна 69,135 кВт;

– средняя нагрузка за отопительный период составляет 69,135 кВт;

– расчетная максимальная нагрузка равна 165,294 кВт.

Потенциал энергосбережения как разность фактической и расчетной тепловых нагрузок составил 58,076 кВт.

Определена удельная теплота, получаемая от стоков сточных вод жилого здания (вторичных энергетических ресурсов), при объеме сточной воды 10,36 м<sup>3</sup>/ч, которая составляет 182340 ккал/ч, или 0,18 Гкал/ч. Годовая стоимость удельной теплоты – 14711,9 руб.

По полученным данным и средней нагрузке подбираются четыре тепловых насоса марки NIBE F1345 мощностью 16 кВт, стоимостью 12457,22 руб. каждый, срок окупаемости установки составляет 7,1 года.

Анализируя полученные данные, можно сделать вывод, что установка тепловых насосов марки NIBE F1345 мощностью 16 кВт полностью компенсирует необходимое количество тепловой энергии на нужды горячего водоснабжения запроектированного двенадцатиэтажного жилого здания.

Полезное использование тепловых отходов позволяет снизить затраты на покупку энергии. Однако такое повышение температурного уровня невозможно осуществить без затрат извне. Главной задачей является разработка такой системы, в которой экономический эффект от внедрения теплового насоса превысит затраты на него.

УДК 629.423

## **МЕХАНИЧЕСКАЯ ПРОЧНОСТЬ ТОКОСЪЕМНЫХ ВСТАВОК ТОКОПРИЕМНИКОВ СКОРОСТНЫХ ЭЛЕКТРОПОЕЗДОВ**

*С. Г. ГРИЩЕНКО*

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

Механическая прочность и эксплуатационная надежность токосъемных вставок токоприемников электропоездов, эксплуатирующихся в Украине на линиях ускоренного пассажирского движения, существенно различаются. Так, за контрольный период 2012–2015 гг. количество отказов вставок токоприемников, вследствие их трещин и механических разрушений, на электропоездах HRCS2



производства компании «Hyundai Rotem» в разы превышали соответствующие отказы вставок токоприёмников электропоездов EJ675 производства компании «Skoda Vagonka». Оба типа электропоездов рассчитаны на максимальную скорость движения 160 км/ч, имеют подобные токоприёмники производства компании «Faiveley-Lekov» с токосъемными вставками из армированного медью углерода и эксплуатируются примерно в одинаковых условиях.

Исследовались две марки углеродно-металлического материала токосъемных вставок, используемых в токоприёмниках электропоездов HRCS2 и EJ675. На электропоездах, поставленных в Украину, используются вставки из одинакового материала PantoDrive производства компании PanTrac (Германия), но разных марок: на электропоезде HRCS2 – марки RH83M6, а на поезде EJ675 – марки RH85M6. В таблице 1 представлены паспортные данные этих материалов и их показатели, полученные при дополнительных лабораторных исследованиях.

Анализ приведенных показателей материалов RH83M6 и RH85M6, таких как удельное электрическое сопротивление и плотность, свидетельствует, что в целом они соответствуют паспортным данным для этих материалов, с учетом погрешностей измерений. Сравнение полученных данных о прочности двух материалов показывает, что образцы из материала RH85M6 имеют более высокие значения предела прочности на изгиб, ударной вязкости, а также плотности, что указывает на более высокую потенциальную устойчивость этого материала, чем материала RH83M6, к внешним ударным силовым воздействиям. Значение удельного электрического сопротивления для материала RH85M6 также получено меньше, чем у материала RH83M6, как и по их паспортным данным, что обуславливает меньшие температуры в зоне его контакта с контактным проводом при эксплуатационной токовой нагрузке и, как следствие, меньшие внутренние температурные механические напряжения в теле вставки из этого материала.

Таблица 1

Показатели материала	RH83M6	RH85M6	Показатели материала	RH83M6	RH85M6
<i>Паспортные данные</i>			<i>Дополнительные показатели</i>		
Допустимая линейная плотность тока, А/мм: в тяге	12–15	16–20	Удельное электрическое сопротивление, мкОм · м	7,5	4,1
на стоянке	2,5	2,7	Плотность, г/см <sup>3</sup>	2,8	3,2
Удельное электрическое сопротивление, мкОм · м	< 7	< 4	Предел прочности на изгиб, МПа	90,1	112,0
Плотность, г/см <sup>3</sup>	2,8	3,4	Ударная вязкость, Дж/см <sup>2</sup>	2,5	3,4
Предел прочности на изгиб, МПа	85	95	Содержание меди, %	30,50	40,58
Твердость по Роквеллу (HRC)	110	110	» олова, %	7,18	11,04

Результаты химического анализа материала вставок показали, что в образцах из материала RH85M6 значительно большее содержание меди и олова – соответственно на 33 и 54 %, что и обуславливает их меньшее удельное электрическое сопротивление.

Проведенные микроструктурные исследования материалов RH83M6 и RH85M6 также подтвердили их существенные различия по структуре. В материале RH85M6 связывающие структуры между вкраплениями углерода, меди и олова более мелкие, чем в материале RH83M6. Частицы меди в материале RH85M6 имеют нитевидные формы больших размеров, длиной до 200 мкм. В материале RH83M6 длина медных включений в два раза меньше. При этом медные включения в материале RH85M6 распределяются более равномерно. Неравномерность распределения в углеродном материале частиц металла различных размеров при прохождении через вставку электрического тока может вызывать локальные перегревы материала. Возникающие потенциалы тепловой энергии неравномерно нагревают материал вставок, что приводит к соответствующему его локальному расширению и, как следствие, к возможному возникновению внутренних микротрещин и трещин на поверхности вставок при воздействии внешних ударов от элементов креплений контактного провода.

Углеродно-металлический материал PantoDrive RH85M6 вставок токоприёмников электропоездов для ускоренного движения имеет более высокие значения показателей плотности, ударной вязкости, предела прочности на изгиб, меньшее удельное электрическое сопротивление и большее

объемное содержание меднооловянистых включений, по сравнению с материалом RH83M6. Это позволяет сделать вывод о том, что материал RH85M6 более пригоден для токосъемных вставок токоприемников электропоездов со скоростями движения до 160 км/ч при их взаимодействии с существующей контактной сетью железных дорог, что подтверждается результатами эксплуатации электропоездов HRCS2 и EJ675 в условиях Украины.

УДК 37.016:5023

## МЕТОД КОНДЕНСАЦИИ ДЛЯ УЛАВЛИВАНИЯ ГАЗОВ ИЗ ГАЗОВОЗДУШНОЙ СМЕСИ

*В. С. ДЕЦУК, С. Н. КОЛДАЕВА*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Цель исследований – определение возможности снижения концентрации высокомолекулярных примесей до ПДК либо до порога чувствительности методом конденсации при охлаждении паро-воздушной смеси в водо-воздушном теплообменнике.

Конденсация может быть применена для предварительной обработки газов, при которой выделяются ценные растворители и уменьшается количество загрязнителей перед последующей стадией обработки. Парциальная конденсация может найти применение в тех случаях, когда обрабатываемый газ не выбрасывается, а снова возвращается в процесс или используется в процессе дожигания. Предварительная обработка конденсацией целесообразна в тех случаях, когда перед основной обработкой газовый поток необходимо охладить, например при осуществлении адсорбции.

При охлаждении многокомпонентной газовой смеси, содержащей обычные неконденсирующиеся газы, охлаждение смеси сначала происходит за счет конвекции, а теплосодержание передающей поверхности (стенка трубы в поверхностном конденсаторе либо капля или пленка хладагента при непосредственном контакте) уменьшается до тех пор, пока газовая фаза не насыщается одним или несколькими из ее конденсируемых компонентов. При дополнительном охлаждении конденсируемые газы диффундируют к теплопередающей поверхности, где происходит их конденсация с выделением скрытой теплоты. Начальная точка росы или температура насыщения для каждого компонента может быть определена из кривой зависимости температуры от давления пара для данного компонента при известной величине его мольной доли в парах.

Самопроизвольная конденсация может быть применена для обработки систем, содержащих пары веществ при температурах, достаточно близких к их точке росы при атмосферном давлении. Этот метод наиболее эффективен для углеводородов и других органических соединений, имеющих достаточно высокие температуры кипения, при обычных условиях. Для удаления загрязнителей, имеющих достаточно низкое давление пара при обычных температурах, можно использовать конденсаторы с водяным или воздушным охлаждением. Для более летучих растворителей возможна двухстадийная конденсация с использованием водяного охлаждения на первой стадии и низкотемпературного – на второй. Максимальное снижение содержания неконденсирующихся газов в обрабатываемой смеси (в частности, оксидов углерода и азота, которые образуются в процессе термообеззараживания) позволяет облегчить проведение процесса конденсации и повысить ее экономическую эффективность, поскольку дает возможность исключить необходимость охлаждения до очень низких температур, соответствующих точке росы.

В соответствии с техническими возможностями охлаждения газовой смеси фракционирование компонентов производили по трем температурным диапазонам:

- 1) конденсирующиеся при  $t \geq 15 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- 2) конденсирующиеся в интервале температур  $5 \text{ }^\circ\text{C} \leq t \leq 15 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- 3) конденсирующиеся при  $t \leq 5 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Охлаждение до температур конденсации компонентов, относящихся к 1-й группе, может быть обеспечено в водо-воздушном теплообменнике с использованием сетевой водопроводной воды. Для

охлаждения компонентов 2-й группы потребуется разработка способа предварительного охлаждения сетевой воды до температур 2–4 °С. Компоненты 3-й группы могут быть охлаждены до температуры конденсации низкотемпературными хладагентами.

С целью определения возможности двухступенчатой очистки газовой смеси наряду с температурами конденсации компонентов определяли их растворимость в воде при 20 °С.

Теплофизические свойства потоков представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Теплофизические свойства потоков

Свойство	Горячий поток (газовоздушная смесь)			Холодный поток (вода)
	160	90	125	
Температура, °С	160	90	125	30
Плотность $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	0,815	0,973	0,876	996
Вязкость кинематическая $\nu \cdot 10^{-6}$ м <sup>2</sup> /с	30,09	22,11	26,63	0,805
Вязкость $\mu$ , Па·с	0,000025	0,000022	0,000023	0,000802
Удельная теплота конденсации ДИНФ, кДж/кг	90,19	74,34	82,23	–
Теплоёмкость $c$ , кДж/(кг·К)	1,017	1,009	1,011	4,175
Теплопроводность $\lambda$ , Вт/(м·К)	3,63	3,14	3,41	0,618
Критерий Прандтля Pr	0,682	0,690	0,690	5,42
Скорость потока $w$ , м/с	7,8	7,8	7,8	1,5

При расчете коэффициента теплоотдачи со стороны конденсирующегося пара схема расчета выбиралась в зависимости от конструкции конденсатора и режима течения пара.

В результате теплотехнических расчетов определено, что охлаждение газовой смеси от 160 до 90 °С может быть обеспечено установкой в магистральный газопровод кожухотрубного теплообменника, состоящего, по предварительной оценке, из 7 стальных труб  $d_y = 21$  мм длиной 0,8 м каждая, установленных шахматным пучком. Для предварительного расчета теплообменника начальную температуру охлаждающей воды принимали равной 20 °С, конечную – 60 °С.

Таким образом, проведенные исследования и расчеты показали, что компоненты паровой смеси, конденсирующиеся при  $t \geq 15$  °С при охлаждении от 160 до 90 °С существенно снижают концентрацию. В частности, концентрация диизонилфталата снизилась более чем в 300 раз.

УДК 622.23.08

## АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НЕТЯГОВЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

*И. С. ЕВДАСЕВ, А. В. ДРОБОВ, В. Н. ГАЛУШКО, И. С. ДЕМИДОВИЧ  
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

При учете электромагнитных процессов система нетягового электроснабжения железной дороги переменного тока представляет собой многомерный нелинейный динамический объект. Ввиду большой размерности, сложности и недостаточной информационной обеспеченности практическое использование динамических моделей систем нетягового электроснабжения на современном этапе не представляется возможным. Поэтому для определения режимов данных систем актуально использование имитационного моделирования.

Целью данной работы является разработка программы определения варианта организации электроснабжения нетяговых потребителей железнодорожного транспорта на основании метода статистических испытаний. Выбор наилучшего варианта осуществляется по критериям наименьших приведенных затрат и вероятности безотказной работы.

Ниже приведено описание трех разработанных программ, позволяющих выбрать наилучший вариант электроснабжения нетяговых потребителей железнодорожного транспорта.

1 *Имитационная модель электроснабжения нетяговых потребителей железнодорожного транспорта (ИМ УЗЛОВ)*. Программа позволяет: выбрать номинальную мощность трансформаторов; рассчитать сечения проводов кабелей по критерию допустимого нагрева; выполнить технико-экономический расчет и сохранение результатов первого варианта организации электроснабжения по критерию приведенных затрат.

2 *Имитационная модель электросетей продольного электроснабжения и линий автоматической блокировки железнодорожных участков*. Алгоритм ИМ электроснабжения электросетей продольного электроснабжения и линий автоматической блокировки (АБ) железнодорожных участков (ИМ ПЭ) основан на поиске варианта организации электроснабжения с наименьшей величиной технологического расхода электрической энергии на ее транспортировку с помощью метода статистических испытаний на основании рационального подбора электрооборудования. Расчет с помощью ИМ ПЭ позволяет достичь следующих результатов:

- визуализации расстановки потребителей с помощью координатной оси;
- расчет полной мощности потребителя, на основании которой осуществляется выбор номинальной мощности трансформаторов потребителей и коэффициенты загрузки;
- расчет потерь ЭЭ в трансформаторах и линиях на основании ТКП 460-2012;
- потребление активной и реактивной ЭЭ за определенное время (по умолчанию принимается один год) для каждого потребителя с учетом количества рабочих смен в сутки потребителя;
- нагрузки на высокой стороне за счет добавления потерь в трансформаторах ТП;
- суммарные ТРЭТ в элементе (линии, трансформаторы) электрической сети;
- расчет полной мощности линий ПЭ и АБ;
- потери в головном трансформаторе, питающем линии ПЭ и АБ;
- распределение ТРЭТ между абонентами дистанции электроснабжения.

3 *Имитационная модель оценки параметров надёжности электроснабжения нетяговых потребителей железнодорожного транспорта (ИМ НАДЕЖН)*. Данная программа позволяет рассчитать вероятность безотказной работы ИМ ПЭ и N' наиболее эффективных вариантов ИМ УЗЛОВ. На основании полученной информации выявляются наиболее “узкие места” в различных вариантах схем электроснабжения, разрабатываются мероприятия по повышению надежности электроснабжения.

Для фидера № 1212 ТП-313 ЭЧС-4 Барановичской дистанции электроснабжения при  $N = 1000$  модельных экспериментах вероятность безотказной работы составила 0,969306, а при аналитическом расчете – 0,969, что указывает на приемлемую точность результатов.

*Статистическая проверка адекватности математической модели ИМ УЗЛОВ*. Проверка адекватности результатов программы и аналитического расчета активной и реактивной мощностей проводилась на шаге расчета, соответствующего выбору полной мощности трансформаторов, для фидера № 206 ЭЧС-16 Витебской дистанции электроснабжения. Выполнение алгоритма проверки адекватности позволило сформулировать следующие выводы: результаты ИМ УЗЛОВ можно считать не противоречащими аналитическому расчету; критерий Фишера  $|t| < t_{\text{крит}}$  указывает на отсутствие в ИМ УЗЛОВ систематической погрешности; радиус доверительного интервала не превосходит допустимой погрешности. Все пункты проверки расчета мощностей указывают на адекватность имитационной модели ИМ УЗЛОВ.

С помощью разработанной программы ИМ УЗЛОВ определяются наиболее эффективные варианты организации электроснабжения. ИМ ПЭ позволяет найти вариант организации электроснабжения с наименьшей величиной ТРЭТ с помощью метода статистических испытаний на основании рационального подбора оборудования. ИМ ПЭ используется для правильного выбора трансформаторов, кабельных или воздушных линий для ИМ УЗЛОВ. ИМ НАДЕЖН позволяет оценивать вероятность безотказной работы всей системы на основании данных о интенсивности отказов оборудования. Результаты ИМ УЗЛОВ, ИМ ПЭ и ИМ НАДЕЖН являются исходной информацией для оценки наиболее эффективных решений с использованием весовых коэффициентов важности. Весовые коэффициенты могут быть определены с помощью регрессионного

анализа или экспертного метода опроса. Для Витебского узла с помощью представленных программ была определена схема питания потребителей, которая обеспечивает снижение потерь мощности в линиях 6–10 кВ на 10–11 %.

УДК 622.23.08

## ПРОГРАММА РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ НАДЕЖНОСТИ

*И. С. ЕВДАСЕВ, А. В. ДРОБОВ, Е. В. КУРОПАТКИН, В. Н. ГАЛУШКО*  
*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Целью работы является решение актуальной научно-технической проблемы создания эффективного метода и средств исследования надежности сложных электрических систем (СЭС) сетей 0,4 кВ. Для достижения цели исследования поставлены и решены следующие задачи: разработан метод имитационного моделирования надежности СЭС сетей 0,4 кВ; разработан программно-технологический комплекс имитационного моделирования, обеспечивающий реализацию метода; апробированы разработанный метод имитации, средства автоматизации имитационных экспериментов и технологии использования этих средств для реализации метода и методик решения задач проектного моделирования СЭС.

В имитационной модели могут быть реализованы произвольные вероятностные закономерности надежностных свойств элементов и воздействий на систему. На основании исходных данных составляется матрица надежности СЭС для различных вариантов.

При заполнении ячеек для оценки надежности данной информации используется графоаналитический способ, либо на основе последовательно-параллельных связей элементов (для упрощения схем используется приближенный метод преобразования треугольника в звезду и обратно). В качестве источника информации может быть использован “Комплекс автоматизированного диспетчерского управления”.

После заполнения ячеек матрицы для каждого элемента ее содержимого, характеризующегося определенной вероятностью безотказной работы, с помощью генераторов псевдослучайных чисел на каждый элемент разыгрывается случайное число, определяющее его состояние. После розыгрыша каждый элемент схемы (системы) принимает одно из двух логических значений – исправен или неисправен. Полученные для каждого розыгрыша результаты позволяют определить вероятность безотказной работы системы для определенного промежутка времени работы системы на основании  $N$  имитационных экспериментов.

Программный инструментарий имитационной модели при анализе работоспособности системы позволяет моделировать отказ потребителя электрической энергии, исходя из климатических и производственных условий его эксплуатации. Для этой цели используются дополнительные элементы программы, реализованные в виде аналитических моделей определения показателей безотказности функционирования восстанавливаемых или невосстанавливаемых объектов в программе Mathcad для различных законов распределения. В качестве наиболее значимых показателей безотказности используются вероятность безотказной работы, средняя наработка, гамма-процентная наработка до отказа, средняя остаточная наработка до отказа.

Анализ результатов модельных экспериментов на имитационной модели СЭС при сравнении различных альтернативных вариантов электроснабжения реализуется следующим образом: оценка надежности всей системы и каждого потребителя в отдельности с помощью множества откликов при изменении параметров процесса; выбор рационального варианта организации СЭС с точки зрения надежности; поиск «узких» мест в СЭС.

Практическое применение программного инструментария заключается в оптимизации технических решений по обеспечению надежности при проектировании и эксплуатации сложных электрических систем. Результаты исследования позволяют прогнозировать показатели надежности электрооборудования СЭС; установить «узкие места» в обеспечении надежности; разработать мероприятия по повышению эффективности функционирования электрооборудования.

## ВЫБОР ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ СВЕТИЛЬНИКОВ ДЛЯ ОСВЕЩЕНИЯ ПАССАЖИРСКИХ ПЛАТФОРМ

*И. С. ЕВДАСЕВ, Ю. О. ЧЕРКАС*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Искусственное освещение объектов различного назначения в настоящее время переживает значительную модернизацию в связи с внедрением светодиодов. Однако стоит заметить, что по настоящему качественных изменений в подходах к освещению крайне мало. Из большого количества преимуществ светодиодов производители и заказчики используют только одно – высокую световую отдачу. Светодиоды массового применения перешагнули порог световой отдачи 150 лм/Вт. Светодиодные осветительные приборы смогли превзойти практически все виды газоразрядных источников света, в том числе наиболее популярную для освещения наружных территорий натриевую лампу высокого давления. Однако относительно простое решение повышения энергоэффективности за счет повышения световой отдачи в последние годы оттеснило на задний план другие подходы к выбору осветительных приборов по критерию рационального использования энергоресурсов. Это во многом обусловлено преобладанием в продажах типовых осветительных приборов массового производства, т. е. унификацией всех объектов под общие требования, и отсутствием необходимой квалификации многих заказчиков и менеджеров по продажам в вопросах теоретической светотехники.

Требования к освещенности поверхности пассажирских платформ регламентируются ТКП 495–2013 «Пункты остановочные железнодорожные», СТБ 09150.55.127–2010 «Искусственное освещение наружных территорий и объектов железнодорожного транспорта». Минимальная освещенность на платформе в период движения поездов в ночное время – 5 лк, при наличии систем видеонаблюдения – 10 лк, с учетом коэффициента запаса/эксплуатационного коэффициента – 1,5/0,67. Коэффициент равномерности  $E_{min}/E_{max}$  должен быть больше 0,06.

Рассмотрим несколько подходов к выбору рационального по энергозатратам светильника на основе теоретических знаний светотехники.

Первое замечание, которое часто встречается в открытых материалах закупок предприятий Белорусской железной дороги, – это отсутствие требований к кривой сил света (КСС) светильника в экваториальной плоскости. Надо отметить, что про такую информацию забыли не только сотрудники предприятий, но и составители СТБ 1944–2009 «Светильники. Общие технические условия». Применение для освещения пассажирских платформ осветительных приборов с неправильно подобранными КСС приводит к нерациональным потерям светового потока, которые указаны на рисунке 1 серым цветом.

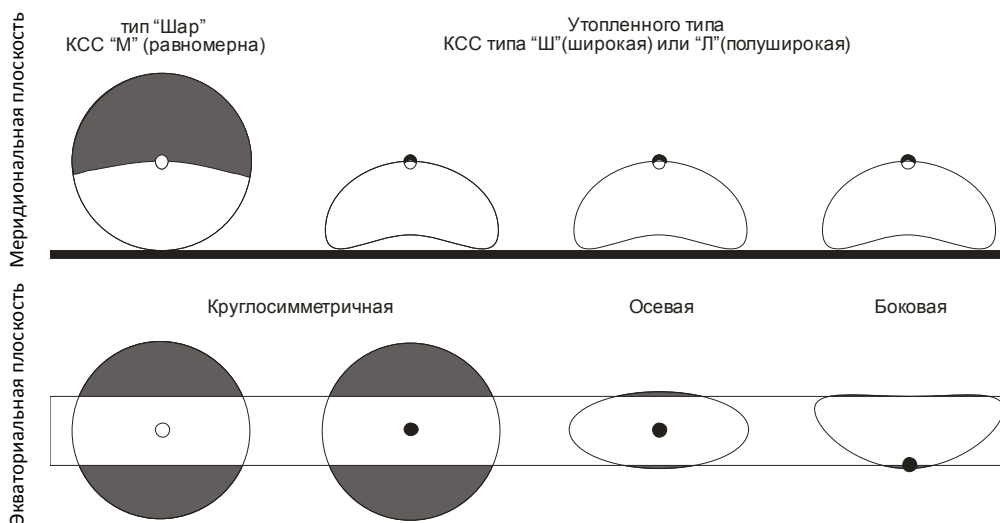


Рисунок 1 – Светильники с различными типами КСС для пассажирской платформы

В качестве практического примера рассмотрим освещение платформы светильником GALAD «Омега LED-40» с двумя КСС в экваториальной плоскости (осевой и боковой). Результаты светотехнических расчетов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Показатели освещения пассажирской платформы светильниками GALAD «Омега LED-40-ШО» (осевая КСС) и GALAD «Омега LED-40-ШБ» (боковая КСС)

КСС в экваториальной плоскости	Расположение опор на платформе	Освещенность минимальная, лк	Равномерность освещенности $E_{мин}/E_{макс}$	Заключение
Осевая	Центральное	5,1	0,08	Соответствует
Боковая		4,1	0,08	Не соответствует. Необходимо увеличение мощности на 20 %
Осевая	Боковое	2,0	0,04	Не соответствует. Необходимо увеличение мощности в 2,5 раза или поворот консоли
Боковая		5,5	0,10	Соответствует

*Примечание* – Высота опор – 5 м, шаг опор – 23,3 м (центральное расположение) и 24 м (боковое расположение), угол наклона – 0 град.

Второе заблуждение, которое часто приходится встречать у заказчиков и части проектировщиков – это попытка сделать максимальный шаг между точками освещения. Конечно, необходимо учитывать общую стоимость осветительной установки, включающей и опоры при выборе шага осветительных точек, но необходимо помнить про шаг градации мощности светильников. У светодиодных этот шаг значительно меньше газоразрядных, но он то же есть. На рисунке 2 приведена зависимость изменения удельной мощности осветительной установки пассажирской платформы от шага между опорами высотой 5 м.

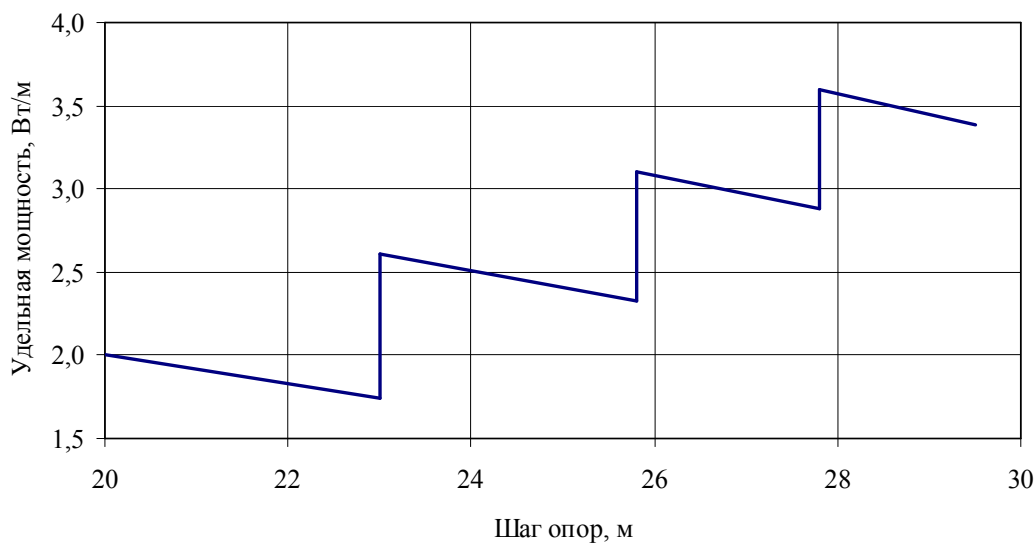


Рисунок 2 – Удельная мощность осветительной установки на базе серии светильников «Победа LED ШБ2» для пассажирской платформы

Увеличение шага между точками освещения (опорами) на 28 % приводит к росту установленной мощности в 2,5 раза. Однако самое нерациональное увеличение происходит вблизи границы перехода на следующую по градации мощность (вертикальные линии на рисунке 2).

Приведенные выше примеры показывают, что выбор светильника заключается не только в выборе более высокой его световой отдачи (переходе с газоразрядных ламп на светодиоды). Не менее важное значение с точки зрения энергоэффективности имеет правильный выбор светораспределения осветительного прибора. Энергетические потенциалы этого выбора сопоставимы с экономией электроэнергии от повышения световой отдачи.

## ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ВЛИЯНИЕ НА ОТКЛЮЧЕННЫЕ ВОЗДУШНЫЕ ЛИНИИ ПИТАНИЯ ТЯГОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ

*В. А. ИВЛЕВ*

*Институт «Белжелдорпроект», г. Минск*

*Т. В. ИВЛЕВА*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

При эксплуатации воздушных линий (ВЛ) для питания тяговых подстанций электрических железных дорог зачастую возникает необходимость выполнения работ на отключенных линиях. Одной из особенностей работы электрической железной дороги переменного тока является значительная несимметрия токовой нагрузки питающих линий и, как следствие, значительное электромагнитное влияние включенной ВЛ на провода отключенной ВЛ при их параллельном или косом сближении, особенно при большой длине сближения.

Согласно ТКП 427–2012 организациям, выполняющим работы на ВЛ под наведенным напряжением, необходимо определить перечень линий, при отключении и заземлении по концам которых на заземленных проводах появляется наведенное напряжение более 25 В при наибольшем рабочем токе влияющей ВЛ. Поэтому энергосистема должна иметь перечень ВЛ, находящихся после отключения под наведенным напряжением выше 25 В, в котором должны быть указаны значения наведенного напряжения на отключенных проводах ВЛ, а также на проводах при различных схемах заземления ВЛ стационарными заземлителями в распределительных устройствах (РУ).

Кроме того, электрические железные дороги характеризуются резкопеременной нагрузкой тяговой сети и, как следствие, питающих их ВЛ внешнего электроснабжения. Поэтому на практике измерение наведенных напряжений на проводах отключенных ВЛ при максимальных рабочих токах практически неосуществимо. В связи с этим определять значения наведенных напряжений следует расчетным путем с учетом особенностей электрических железных дорог с исходными данными, которые максимально соответствуют реальным условиям рассматриваемой задачи.

Следует отметить, что в Республике Беларусь нет официально утвержденной методики по расчету электромагнитного влияния на отключенные ВЛ высокого напряжения, а расчеты, которые выполняются для ВЛ, зачастую не учитывают особенностей электрических железных дорог переменного тока (определяется влияние только для ВЛ с практически симметричной нагрузкой).

Нами разработан универсальный программный комплекс расчета систем тягового и внешнего электроснабжения, одной из возможностей которого является определение значения наведенных напряжений на отключенных ВЛ, расположенных в зоне электромагнитного влияния. Программный комплекс разработан в среде MatLab.

Основу математической модели влияния разработанного комплекса составляет расчет параметров многопроводных линий путем решения матричных телеграфных уравнений фазным методом. Разработанная авторами модель была улучшена по сравнению с классической. Она позволяет определять параметры многопроводных линий как при параллельном, так и при косом сближениях без применения эквивалентных преобразований.

При составлении модели взаимного влияния ВЛ учитывались следующие параметры:

- взаимное расположение ВЛ (параллельное и косое сближение, длина сближения) как линий питания тяговых подстанций, так и других линий, расположенных в зоне влияния; фазных проводов на опорах ВЛ (транспозиция, однократные перестановки двух фаз и др.);
- длины пролетов ВЛ;
- места расположения стационарных и переносных заземлений проводов отключенной линии;
- сопротивление заземляющих устройств опор ВЛ, грозозащитного троса, а также тяговых и районных подстанций;
- максимальные нагрузки тяговой сети при различных режимах (загрузка только одного плеча тяговой подстанции, нагрузки при использовании максимальной пропускной способности подстанционной зоны и др.); районных ВЛ, расположенных в зоне влияния.

В качестве исследуемых ВЛ были выбраны линии питания тяговых подстанций Ошмяны и Пруды, как имеющие значительную длину сближения (25 и 15 км соответственно).



В результате полученных расчетов было установлено, что при максимальных нагрузках системы тягового электроснабжения в отключенных и заземленных по концам (в РУ) проводах ремонтной линии возникают напряжения от электромагнитного влияния в районе 60–100 В, что значительно превышает безопасный для персонала уровень 25 В.

По результатам исследований можно сделать следующий вывод:

- измерение наибольшего напряжения электромагнитного влияния на провода отключенных ВЛ, питающих тяговые подстанции практически невозможно;
- расчетные значения наведенных напряжений значительно превышают допустимый уровень;
- необходимы дальнейшие исследования для установления перечня мероприятий для снижения наведенного напряжения до безопасного значения.

УДК 656.13.08

## ПЛАНИРОВАНИЕ РАЗВИТИЯ ВЕЛОТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ В ГОРОДАХ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

*С. Н. КАРАСЕВИЧ*

*Научно-исследовательский институт автомобильного транспорта, г. Москва,  
Российская Федерация*

*С. А. АЗЕМША*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Обеспечение «устойчивой (зеленой) мобильности» в городах Республики Беларусь требует создания и развития инфраструктуры для активных способов передвижения населения, что способствует решению целого ряда социальных и экологических проблем. Велодвижение, как и пешее передвижение, – самый дружелюбный окружающей среде способ перемещения.

В настоящее время в Республике Беларусь многие важные аспекты правоотношений, возникающих в отдельных подсистемах использования велосипеда как альтернативного вида транспорта, не урегулированы на законодательном уровне. Требуется развития в существующая нормативно-техническая база по вопросам планирования создания и проектирования велотранспортной инфраструктуры. Велосипедная инфраструктура самостоятельна и, дополняя городскую транспортную сеть, должна развиваться по собственным правилам со своими техническими нормами проектирования. При этом ключевая цель планирования создания и развития велотранспортной инфраструктуры в городах состоит в создании условий для безопасных и удобных поездок на велосипеде, что в свою очередь стимулирует передвижения на велосипеде и является альтернативой поездок с использованием автомобильного транспорта. Велотранспорт играет важную роль в обеспечении здорового образа жизни, экономического, социального и экологического развития общества.

В рамках формирования городской транспортной системы с учетом развития велотранспорта в конкретных условиях должны быть учтены следующие обстоятельства:

– *безопасность использования велотранспорта* (минимальный риск ранения или травмы, чувство безопасности, достаточное транспортное пространство, минимизация конфликтного взаимодействия с участниками дорожного движения). Принцип максимального предупреждения опасной ситуации является ключевым при обосновании мероприятий по обеспечению безопасности велотранспортной инфраструктуры. На УДС необходимо обеспечить взаимную видимость всех участников дорожного движения: велосипедисты должны быть видимыми, и для них самих должно быть обеспечено расстояние видимости с учетом расчетной скорости движения велосипедиста;

– *общегородская единая система велотранспорта*. Велотранспортная инфраструктура представляет единую систему, связывающую основные места начала поездок и места назначения, непрерывная связь, однородна по условиям передвижения, имеет информационное обеспечение (указатели), позволяет выбирать варианты маршрута движения. Развитие велоинфраструктуры должно интегрироваться в единую систему всех видов транспорта с учётом приоритетной поддержки общественного транспорта;

– *привлекательность велосреды* (эстетика велотранспортной инфраструктуры, наличие освещения, интеграция с окружающим пространством, доступ к объектам сервиса, торговли, антивандальная защищенность велопарковок и велогааражей, наличие системы велоширинга и велопарковочных станций).

Формируемая система провоза велосипедов во всех видах общественного транспорта должна быть простой и экономичной, а также осуществляться в соответствии с едиными схемами и условиями провоза велосипедов. Развитие велотранспортной инфраструктуры должно учитывать интересы всех категорий граждан, включая инвалидов и маломобильные группы населения;

– *комфортабельность и качество организации движения велосипедистов* (качество покрытия велодорожек, применяемые схемы и технические средства организации дорожного движения, достаточное количество и обустройство велопарковок, минимальные уклоны, исключение сложных маневров, минимизация потребности спешиваться, минимальные помехи со стороны других участников дорожного движения). Веломаршрут должен иметь минимальное количество участков с изменением направления движения. Введение в эксплуатацию велосипедных маршрутов требует изменений и дополнений в схемы организации дорожного движения на перекрестках, изменений и дополнений в режимы работы светофорных объектов. Пользователи велотранспорта не должны длительно задерживаться на пересечениях потоками автотранспорта, двигаться с допустимой максимальной скоростью. Комфортные условия можно охарактеризовать следующим образом: велодорожки выполнены в виде выделенных и отделенных от пешеходов и транспорта полос ограждениями или зелеными насаждениями, преимущественно без изменения уровня в плане продольного профиля, имеют специальное покрытие; возможны отдельные участки с уклоном не более 25 %; поверхность велодорожек твердая, ровная, приспособленная для движения любых типов велосипедов, может иметь незначительное количество препятствий и неровностей (не более 5 % от общей площади поверхности), не превышающих по высоте 6 мм; средняя протяженность маршрутов движения между основными объектами тяготения не превышает 2,5 км.

В подготавливаемых нормах проектирования весьма актуально разработка типовых вариантов разрешения конфликта велосипедистов с участниками дорожного движения. При оценке преимуществ велотранспорта, по сравнению с другими видами транспортных средств, следует учитывать не только прямые, но и косвенные факторы, связанные с повышением качества мобильности и доступности территорий, сокращением затрат на здравоохранение, снижением уровня отрицательного воздействия на окружающую среду, сокращением площадей и, соответственно, стоимости парковок, снижением аварийности и тяжести последствий, уменьшением времени передвижения и повышением уровня качества среды жизнедеятельности в целом. Создание и развитие велоинфраструктуры должно происходить темпами, адекватными темпам изменения спроса общества на велодвижение.

УДК 629.42:004.4

## **АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ АНАЛИЗ ПОТРЕБЛЕНИЯ ТОПЛИВА И ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ТЯГУ ПОЕЗДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ТЕОРИИ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ**

*А. П. КЕЙЗЕР, Е. А. ЖИДКОВА*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

*К. М. ШКУРИН*

*Минское отделение Белорусской железной дороги*

*Е. В. ФЕДЧЕНКО*

*Гомельское отделение Белорусской железной дороги*

Проблема экономии топлива и энергии на железнодорожном транспорте является сверхактуальной. В настоящее время расходы на топливо составляют примерно 60 % эксплуатационных расходов отделений дорог. В каждом локомотивном депо имеется инженер-теплотехник, который занимается нормированием топлива (электроэнергии). Существует множество методик нормирования как топлива, так и электроэнергии. В большинстве случаев процесс нормирования осуществляется с помощью ЭВМ. Нормирование топлива заставляет машинистов выбирать во время поездки такие режимы ведения поезда  $NKj$ , чтобы провести поезд от станции А до станции В с экономией топлива (электроэнергии).

Приведем высказывание профессора Н. А. Фуфрянского: «Машинист локомотива провел поезд по диспетчерскому участку, инженер-теплотехник локомотивного депо рассчитал экономию или

пережог. Но соответствуют ли результаты расчета инженера-теплотехника истинной экономии топлива? Ответить утвердительно на этот вопрос никто не в состоянии».

Предложим, на наш взгляд, более прогрессивную безбумажную методику автоматизированного анализа потребления топлива (энергии) с использованием математических методов теории управления (применительно больше к грузовому поезду с тепловозной тягой).

На каждый грузовой поезд имеется телеграмма-натурный лист, в котором отражен тип грузового вагона, масса и характеристика перевозимого груза. Несложной программой для ЭВМ для каждого телеграмма-натурного листа необходимо выбрать следующие данные:

– KB41 / KB42 / KB61 / KB62 / KB81 / KB82 – количество вагонов 4-, 6-, 8-осных порожних / груженых;

– Q41 / Q42 / Q61 / Q62 / Q81 / Q82 – масса вагонов 4-, 6-, 8-осных порожних / груженых.

Общая масса состава поезда:  $Q = Q41 + Q42 + Q61 + Q62 + Q81 + Q82$ .

В настоящее время на многих участках Белорусской железной дороги график исполненного движения (ГИД) ведется с помощью ЭВМ. Поездному диспетчеру достаточно для начальной станции участка ввести *NPO* (номер поезда) и *NLOK* (номер локомотива). Далее программа микропроцессорного контроллера снимает с напольных устройств ДЦ (диспетчерской централизации) двоичные сигналы 0 или 1 и формирует в памяти ЭВМ ГИД. Имея эти данные, в качестве примера рассмотрим рисунок 1.

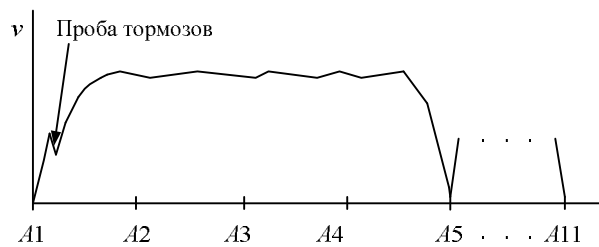


Рисунок 1 – Один из вариантов ведения поезда на участке A1–A11

Грузовой поезд, выходя из начальной станции A1, после пробы тормозов проследовав часть промежуточных станций A2, A3, A4 без остановки, останавливается на станции A5. После скрещения с поездом *NPO* = 2146 поезд отправляется со станции A5 и делает остановку на станции A8. После скрещения с поездом *NPO* = 706 поезд отправляется со станции A8 и останавливается на конечной станции A11.

Микропроцессорное устройство (МП) тепловоза измеряет автоматически количество топлива в баке тепловоза на станции A1 (КТ1), затем – после прибытия на станцию A5 (КТ5). Расход топлива на расчетном участке A1–A5 составит  $\Delta G_{1-5} = \text{КТ5} - \text{КТ1}$ . Из ГИД выбирается время  $\Delta t_{1-5}$ . Аналогично вычисляется значение  $\Delta G_{5-8}$ ,  $\Delta t_{5-8}$ ,  $\Delta G_{8-11}$ ,  $\Delta t_{8-11}$ . Далее ЭВМ с помощью метода блуждающей трубки (сочетание МДП – метода динамического программирования и принципа максимума Понтрягина с одной  $\phi$ -функцией) вычисляет оптимальные режимы  $NK_j$  по шагам варьирования  $\Delta SB_j$ . Суммируя значения  $\Delta G_{1-5}$ :  $\Delta G_{5-5}$  (расход топлива при стоянке на станции A5-5),  $\Delta G_{5-8}$ :  $\Delta G_{8-8}$ ,  $\Delta G_{8-11}$ , получаем расчетный расход топлива при движении по участку A1–A11  $G_p$ . Сравнивая значения расчетных  $G_{pi}$  и фактических  $G_{\phi i}$  расходов топлива, можно объективнее оценить экономию или пережог топлива каждым локомотивом и локомотивной бригадой.

УДК 656.222.4:004.312.46

## ОПЕРАТИВНЫЙ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЙ ГРАФИК ДВИЖЕНИЯ ПЕЗДОВ И ЕГО РЕАЛИЗАЦИЯ В УНИВЕРСАЛЬНОЙ МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ СИСТЕМЕ АВТОВЕДЕНИЯ

А. П. КЕЙЗЕР, Е. А. ЖИДКОВА

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

К. М. ШКУРИН

Минское отделение Белорусской железной дороги

Е. В. ФЕДЧЕНКО

Гомельское отделение Белорусской железной дороги

В настоящее время перед железнодорожным транспортом стоит проблема не только оптимальной реализации пропускной и провозной способностей направлений и участков, увеличения массы и скорости движения поездов, но и рационального потребления топливно-энергетических ресурсов.

Реальная эксплуатационная обстановка на железнодорожных участках часто существенно отличается от условий планового министерского графика. Возникающие при этом трудности нередко усугубляются неоптимально принятыми решениями как со стороны дежурных по станциям и диспетчерского аппарата, так и со стороны машинистов локомотивов, что часто ведет к срыву выполнения график движения поездов (ГДП). Поэтому для повышения эффективности управления движением поездов необходима принципиально новая технология управления, базирующаяся на научно обоснованном взаимодействии оперативного плана формирования и ГДП с реальным перевозочным процессом с учетом рыночных отношений.

ГДП в большинстве случаев выступает в трех аспектах:

- 1) министерский ГДП (МГДП), который действует в течение года, с 1 января по 31 декабря;
- 2) график исполненного движения (ГИД);
- 3) фактический процесс движения поезда (ФПД);

Если ГИД ведет вручную диспетчер, то данный ГИД и ФПД могут отличаться. Приведенный нами анализ показал, что ФПД и ГИД отличаются на 2–6 мин.

При компьютеризации локомотива такие понятия, как ГИД и ФПД, стали совпадать.

Совершенно очевидно, что даже если грузовой поезд, особенно на однопутном участке, отправить со станции АН (начальная станция диспетчерского участка) строго по министерской нитке графика, вряд ли он приедет на станцию АК (конечная станция диспетчерского участка) строго по графику. Причин здесь много.

1 На сортировочной станции грузовой поезд № 2113 готов к отправлению раньше плановой нитки графика, а сортировочная станция, как сосуд с водой, может быть переполнена новыми грузопотоками. Поэтому поезд № 2113 могут отправить раньше времени.

2 Количество грузовых поездов в МГДП не совпадает с количеством грузовых поездов в ГИД.

3 Произошел технический сбой, из-за которого поезд прибыл на конечную станцию с существенным опозданием.

Поэтому в настоящее время архиважной задачей является разработка и внедрение рассчитанного с помощью ЭВМ оперативного графика движения поездов (ОГДП) по 4- или 6-часовым периодам. ОГДП должен быть энергоэффективным (ОЭГДП).

Основные элементы экономии топливно-энергетических ресурсов при разработке ОЭГДП:

1 Как показали расчеты, часть поездов ( $\approx 40\%$ ) на участке Г–К протяженностью 120 км можно водить одной секцией локомотива (тепловоза). В таблице 1 приведены результаты расчета (на основе принципа максимума Понтрягина с одной  $\psi$ -функцией) экономии топлива на участке Г–К протяженностью 120 км при вождении поездов одной и двумя секциями тепловоза 2ТЭ10М.

2 Экономия топлива при оптимизации скрещений и обгонов, как показали теоретические расчеты и практическая их проверка, за счет оптимизации скрещений на однопутном участке логично сэкономить 3–5 % дизельного топлива.

3 Экономия топлива при увеличении времени хода на заданном участке для ночных поездов, которые на конечной станции АК никто разгружать не будет, составит 10–12 %.

В настоящее время САВ (системы автоведения поездов) стали реальностью. Проще всего внедрить САВ в метрополитенах, сложно – для магистральных грузовых локомотивов.

В Белорусском институте инженеров железнодорожного транспорта (ныне БелГУТ) работы по САВ (грузовые поезда) с тепловозной тягой выполнялись под руководством А. М. Костромина. Активное участие в данной работе принимали инженеры А. П. Кейзер, С. Я. Френкель, С. И. Сухопаров, которые затем защитили кандидатские диссертации, связанные с экономией топлива. Современные САВ логически можно классифицировать на два основных типа:

- 1) автономная САВ с расчетом оптимальных режимов ведения в бортовой ЭВМ;
- 2) расчет оптимальных (по расходу топлива) режимов ведения осуществляется в супер-ЭВМ ЕДЦУ (Единого диспетчерского центра управления).

Предлагаемый вариант САВ универсален для всех локомотивов (в том числе и электровозов), которые имеют позиции контроллера  $NK = 0$  – холостой ход;  $NK = 1, 2, 3, \dots, NK_{\max}$  – позиции контроллера машиниста. При сбое в ОЭГДП супер-ЭВМ делает новый расчет, а на борт локомотива передаются корректирующие байты (3–4 байта), с помощью которых локомотив в режиме автоведения может вести поезд по нитке нового ОЭГДП.

## ЛУБРИКАЦИЯ – ОДИН ИЗ АСПЕКТОВ СНИЖЕНИЯ ЭНЕРГОЕМКОСТИ ПЕРЕВОЗОЧНОГО ПРОЦЕССА

*Н. В. КИРИК, Г. В. ЧИГРАЙ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В настоящее время вопросам энергоэффективности и энергосбережения придается большое значение. В соответствии с политикой государства, направленной на внедрение энергосберегающих технологий во всех сферах экономики, активно проводятся мероприятия по ресурсо- и энергосбережению на железнодорожном транспорте.

Важнейшим приоритетом развития железнодорожного транспорта является освоение перспективного поездотока при гарантированной безопасности движения и повышении эффективности использования топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) на основе оптимизации взаимодействия служб пути и подвижного состава.

Взаимодействие колеса и рельса во многом определяет безопасность, а также такие важнейшие технико-экономические показатели, как масса поездов, скорость их движения и уровень эксплуатационных расходов. При этом требования к показателям взаимодействия колеса и рельса в разных зонах контактирования противоречивы. С одной стороны, сцепление колес с рельсами должно быть таким, чтобы обеспечивалось малое сопротивление движению поезда. С другой – для реализации требуемой силы тяги необходимо обеспечивать высокий и стабильный уровень сцепления колесных пар локомотива с той же поверхностью. Помимо этого, для предотвращения вкатывания колеса на головку рельса, снижения износа гребня колеса и боковой поверхности головки рельса, а также сопротивления движению поезда в кривых требуется максимально возможно снизить трение между гребнем колеса и боковой поверхностью головки рельса. Проблема снижения износа гребней колес подвижного состава и боковых внутренних граней головок рельсов существует достаточно давно.

Лубрикация, как одно из важнейших технологических мероприятий, направленных на увеличение ресурса системы «колесо – рельс» и снижение расхода энергии, играет важную роль в общей стратегии развития железнодорожного транспорта, повышении эффективности и конкурентоспособности отрасли в целом.

Мировой опыт показывает, что применение смазочных материалов (СМ) – наиболее эффективный способ защиты от повышенного износа колес и рельсов. Использование современных оптимальных технологий и технических средств лубрикации системы «колесо – рельс» и соответствующих СМ способствует повышению экономии ТЭР, а также увеличению ресурсов колес и рельсов, безопасному движению подвижного состава на криволинейных участках пути, снижению уровня шумового воздействия на окружающую среду.

Накопленный на железных дорогах опыт показывает, что надежнее и проще наносить смазку на боковые поверхности рельсов специальным навесным оборудованием (лыжами), смонтированными на подвижном составе (локомотивах, дрезинах, вагонах). Однако помимо рельсосмазывателей широко применяется и другой путь – установка на тележках локомотивов гребнесмазывателей колесных пар. Смазка для лубрикации должна обладать устойчивым состоянием при притирании колеса с боковой поверхностью головки рельса на всей длине поезда; иметь достаточную клейкость (липкость), чтобы противостоять сбрасыванию; обладать хорошей адгезией с поверхностным упрочнением на глубину 1–2 мм без прогрева бандажа в целом, так как глубокий прогрев может привести к ослаблению бандажа или к его разрушению.

На современном этапе развития железнодорожного транспорта к технологиям и техническим средствам лубрикации контакта «колесо – рельс» предъявляются следующие требования: они должны быть универсальны для различных типов подвижного состава и участков пути, не иметь эксплуатационных ограничений по скорости движения базового подвижного состава при лубрикации в широком диапазоне температур окружающей среды, обеспечивать наличие СМ и поддержание оптимальных трибологических характеристик СМ в зоне контакта «колесо – рельс» на протяжении всего цикла взаимодействия подвижного состава и пути. Качественное применение лубрикации, в частности научно обоснованного типа смазочного материала в системах гребне- и

рельсосмазывания позволит увеличить ресурс вагонных колесных пар и бандажей колесных пар локомотивов; снизить удельный расход ТЭР на тягу поездов.

Специфика условий эксплуатации подвижного состава, конструкция систем лубрикации определяют ряд требований к смазочным материалам: они должны легко наноситься, не разбрызгиваться, не крошиться, не скалываться и удерживаться на боковой грани головки рельса при скоростях движения подвижного состава от 3 до 140 км/ч, а также обладать достаточной вязкостью и адгезией с металлом, сохранять смазочные свойства после разового нанесения в течение длительного периода времени. Кроме того, смазочный материал, нанесенный на гребень колеса, должен быть устойчив к атмосферным осадкам, стабильным по составу и состоянию при хранении и применении.

Теоретическое обоснование и зарубежный опыт говорят о том, что процесс рельсосмазывания позволяет экономить до 5–7 % топливно-энергетических ресурсов на тягу, а по оценке ВНИИЖТа, сплошное рельсосмазывание на равнинном профиле даёт до 30 % экономии. Если учесть, что затраты на электроэнергию и топливо для тяги поездов составляют 21,4 % от общих расходов дороги, то экономия очевидна.

Применение систем смазывания на Белорусской железной дороге позволило сократить боковой износ рельсов в 1,5 раза и увеличить срок их службы с 5 до 7,5 лет, снизить боковой износ гребней колесных пар в 1,5–2 раза и поддерживать его на уровне 0,3–0,4 мм на 10 000 км пробега.

УДК 656.225.62–726

## ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВЛИЯНИЯ ЛУБРИКАЦИИ НА ЭНЕРГОЕМКОСТЬ ПЕРЕВОЗОЧНОГО ПРОЦЕССА

*Н. В. КИРИК, Г. В. ЧИГРАЙ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Существенно сократить расход топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) на тягу поездов на железнодорожном направлении может применение лубрикации рельсов. При использовании данной энергосберегающей технологии необходимо учитывать не только размеры движения на направлении, но и план пути, т.е. наличие прямых и кривых участков пути. В начале разработки вопросов лубрикации специалисты ВНИИЖТа экспериментально доказали, что сопротивление движению поездов снижается на 20–30 % в кривых и до 10 % на прямых участках пути.

Таким образом, расчет для определения экономической эффективности лубрикации сводится к следующему. Величина средневзвешенного значения сопротивления с учетом наличия кривых участков путей

$$\bar{w} = \alpha_{\text{пр}} w''_0 + \alpha_{\text{кр}} (w_{\text{кр}} + w''_0),$$

где  $w''_0$  – действительное значение основного удельного сопротивления, Н/кН;  $w_{\text{кр}}$  – дополнительное удельное сопротивление в кривых, Н/кН;  $\alpha_{\text{пр}}$ ,  $\alpha_{\text{кр}}$  – доля соответственно прямых и кривых участков пути на направлении.

При введении лубрикации среднее удельное сопротивление движению составит

$$\bar{w}_{\text{луб}} = \alpha_{\text{пр}} w''_{0(\text{луб})} + \alpha_{\text{кр}} (w_{\text{кр}(\text{луб})} + w''_{0(\text{луб})}),$$

где  $w''_{0(\text{луб})}$  – основное удельное сопротивление при лубрикации, которое составляет 90 % от  $w''_0$ ;  $(w_{\text{кр}(\text{луб})} + w''_{0(\text{луб})})$  – составляет 55 % от  $(w_{\text{кр}} + w''_0)$ .

Снижение основного удельного сопротивления  $\Delta \bar{w}$  приводит к уменьшению потребной силы тяги локомотива на величину

$$\Delta F = \Delta \bar{w} Q = Q(\bar{w} - \bar{w}_{\text{луб}}),$$

где  $Q$  – критическая масса поезда (брутто), т.

Уменьшение механической работы при введении лубрикации на 1 поезд, т км:

$$\Delta A = 0,1\Delta F \cdot L_{\text{уч}},$$

где  $L_{\text{уч}}$  – длина железнодорожного участка, км.

Таким образом, будет обеспечена экономия электроэнергии на тягу поездов, приходящаяся на один поезд:

$$\Delta E = k \cdot \Delta A,$$

где  $k$  – коэффициент, учитывающий расход топливно-энергетических ресурсов на 1 т·км механической работы, который принимается: для электрической энергии – 0,10, для дизельного топлива – 0,85.

Стоимость сэкономленных топливно-энергетических ресурсов, приходящаяся на один поезд, составляет

$$\Delta Ц = Ц \cdot \Delta E,$$

где  $Ц$  – стоимость топливно-энергетических ресурсов, руб.

При этом годовая экономия ТЭР на тягу поездов в денежном выражении составит

$$E = 365\Delta Ц \cdot \bar{N},$$

где  $\bar{N}$  – среднесуточное количество грузовых поездов, обращающихся на участке.

Расчетами было установлено, что годовая экономия ТЭР на тягу поездов при внедрении лубрикации на участке Барановичи – Брест составит 129,8 тыс. руб., на участке Орша – Минск – 224 тыс. руб.

УДК 692.8

## **КОНСТРУКТИВНЫЕ ПРИЕМЫ ПОВЫШЕНИЯ ТЕПЛОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ЗДАНИЙ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ФОНДА ПРЕДПРИЯТИЙ ТРАНСПОРТА**

*С. Н. КОЛДАЕВА*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Потребность в снижении энергозатрат при эксплуатации зданий ужесточает требования к теплофизическим характеристикам ограждающих конструкций. В частности, нормативные значения термических сопротивлений элементов оболочки здания увеличены с 2007 г. в 1,6–2 раза. Проводимая в настоящее время реконструкция жилого фонда, административных и производственных зданий направлена на повышение их тепловой устойчивости.

При проведении реконструкции и термореновации зданий зачастую производят замену светопрозрачных конструкций в пределах старых оконных проемов, т. е. с сохранением относительной площади остекления.

Наши исследования направлены на то, чтобы показать нецелесообразность подобной реконструкции. В ходе энергетических обследований транспортных предприятий республики (локомотивное депо Брест, локомотивное депо Орша, «Гомельоблавтотранс» и др.) накоплены статистические данные, позволяющие определить средние значения относительной площади остекления фасадов для зданий хозяйственно-бытового, административного и производственного назначения. Наибольшие относительные площади светопрозрачных конструкций характерны для производственных корпусов – до 70 % от общей площади фасадов. Для зданий хозяйственно-бытового и административного назначения этот показатель варьируется от 20 до 50 %.

Принятое до недавнего времени избыточное остекление производственных корпусов было обусловлено необходимостью снижения потребности в искусственном освещении. В настоящее время с развитием технологий производства светильников нового поколения, позволяющих на порядок снизить электропотребление для нужд освещения, доминирующие энергозатраты приходится на обогрев зданий. Это требует пересмотра традиционно сложившейся практики проектирования и новых архитектурных решений.

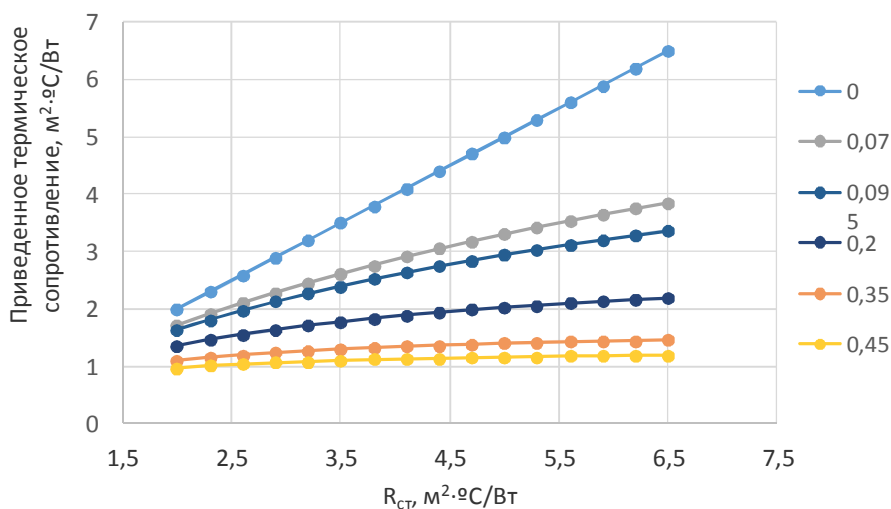


Рисунок 1 – Зависимость приведенного термического сопротивления от  $R_{ст}$  для различных значений относительной площади остекления фасада

Представленные на рисунке 1 зависимости приведенного термического сопротивления  $R_{пр}$  от термического сопротивления несущих конструкций  $R_{ст}$  для различных значений относительной площади остекления фасада здания наглядно демонстрируют, что уже при значениях относительной площади остекления в 0,35–0,45 исследуемый показатель практически полностью определяется теплофизическими характеристиками светопрозрачных конструкций. Массово производимые в настоящее время в республике оконные конструкции имеют термическое сопротивление  $R_{ок}$  не более  $0,6 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт}$ , в то время как  $R_{ст}$  при реконструкции зданий составляет  $2,5 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт}$ , т. е. в 4,2 раза выше, в случае же использования зенитных фонарей – в 10 раз (для покрытий нормативное значение  $R$  составляет  $6 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт}$ ).

Проведенные расчеты, подкрепленные натурными измерениями, выполненными в ходе энергетических обследований предприятий транспорта, показывают, что сочетание термореновации с частичным уменьшением площади остекления позволит снизить теплопотери здания на 30 % и более. Снижение площади остекления особенно актуально для северных и северо-восточных фасадов, где избыточные теплопотери не могут быть частично или полностью скомпенсированы инсоляцией. Для производственных корпусов представленного на рисунке 1 типа возможно уменьшение площади остекления в четыре и более раза при соблюдении санитарных требований к освещенности. Это позволит снизить отопительную нагрузку практически в два раза.

Полученные результаты позволяют сделать вывод об обязательности снижения площади остекления фасадов зданий, особенно северо-восточных, в случае же, если в соответствии с эстетическими, санитарно-гигиеническими или другими требованиями площадь остекления должна быть увеличена, необходимо использовать оконные конструкции с улучшенными теплофизическими характеристиками, зенитные фонари заменять световыми колодцами.

УДК 629.4.082.3

## АВАРИЙНОЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ В НЕШТАТНОЙ СИТУАЦИИ

*Т. С. КОРОЛЁНОК, В. И. ГУРИНОВИЧ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Подразделения транспортных войск способны выполнять задачи в отрыве от пунктов постоянной дислокации, т.е. в условиях отсутствия промышленной системы электроснабжения. В особый период следует предусмотреть ситуацию, когда образцы вооружения, определяющие способность выполнить задачу по назначению, будут выведены из строя в результате воздействия средств



поражения противоборствующих сторон. В случае отсутствия образца для выполнения своевременной замены, может оказаться сорванной задача по восстановлению или строительству таких объектов, как мосты, насыпи, водопропускные сооружения, верхнее строение пути и т.д. При этом в ряде подразделений имеются образцы, не участвующие непосредственно в выполнении основной задачи и в то же время оснащенные источниками электрической энергии. Это обстоятельство позволяет предположить возможность использования таких образцов вооружения в качестве аварийных.

На военно-транспортном факультете в учреждении образования «Белорусский государственный университет транспорта» выполнены исследования с целью определения возможности использования самоходных машин для их взаимного электроснабжения при выходе из строя штатного источника электрической энергии. В ходе исследований были рассмотрены варианты восстановления электропитания следующих образцов специальной техники:

- мостовых консольных кранов СРК-20Л и СРК-50 с использованием передвижных электростанций, железнодорожных кранов серии КДЭ или ЕДК и автомобильного стрелового грузоподъемного крана КС-4561, имеющих дизель-электрический привод;
- железнодорожных кранов КДЭ-163, КДЭ-253, ЕДК-300, ЕДК-500 с использованием передвижных электростанций;
- порталного путеукладчика ПБ-3М с использованием передвижных электростанций и автомобильного стрелового грузоподъемного крана КС-4561.

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы:

- образцы техники, имеющие в своем составе силовой генератор, подлежат рассмотрению в качестве потенциальных источников;
- взаимное электроснабжение образцов может быть организовано только при соизмеримых характеристиках их электроустановок;
- при значительной разнице в мощности (когда мощность источника меньше мощности потребителя), могут использоваться варианты перевода потребителя на пооперационный режим работы или частичное отключение второстепенных цепей;
- образцы техники, имеющие в своем составе электропривод, при организации взаимного электроснабжения рассматриваются в качестве как потенциальных источников, так и потребителей.

В ходе работы были проанализированы штатные образцы техники подразделений транспортных войск и предложен алгоритм принятия решения о способе восстановления электроснабжения в аварийной ситуации.

В результате анализа штатных образцов техники подразделений транспортных войск были предложены варианты их использования для обеспечения взаимного электроснабжения.

Предложенные способы взаимного электроснабжения образцов техники позволят выполнять задачи при выходе из строя штатного источника электроэнергии.

В течение 2015/16 учебного года на военно-транспортном факультете выполнена научно-исследовательская работа, в результате которой проанализированы электрические схемы и предложены алгоритмы взаимного подключения образцов.

Данное техническое решение актуально в первую очередь в условиях Вооруженных Сил, но может быть с успехом применено и при ликвидации последствий нештатных ситуаций на транспорте.

УДК 621.331

## **ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ТЯГА – ПУТЬ К ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЮ**

*М. А. МАСЛОВСКАЯ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Введение электрической тяги позволяет сократить эксплуатационные расходы за счет уменьшения затрат на оплату энергоресурсов для тяги поездов, повысить весовую нагрузку поезда, ввести длинносоставные поезда, снизить выбросы вредных веществ в атмосферу, уменьшить загрязнение территории депо и станций нефтепродуктами, сократить шумовую нагрузку, ускорить доставку грузов и пассажиров.

В повышении эффективности работы железнодорожного транспорта важную роль играет снижение экологической нагрузки на окружающую среду. Электрификация железных дорог направлена на повышение качества обслуживания пассажиров и конкурентоспособности на внутреннем и международном рынке транспортных услуг.

Решающими факторами введения электрификации на железных дорогах является наличие источников энергоснабжения, стоимость электроэнергии, размеры и темпы роста перевозок, рельеф местности. В результате изучения рельефа местности Беларуси установлено, что наиболее распространены уклоны железнодорожной сети 4, 6 и 9 ‰. Рассматривались перегоны с очертанием продольного профиля, представляющего чередование напряженных и вольных ходов.

Влияние рельефа местности на электрификацию железных дорог выявлено с помощью графиков этапного наращивания мощности железной дороги. Для построения графика этапного наращивания мощности железной дороги определена пропускная и провозная способности для локомотивов 2ТЭ10М, ВЛ80 и БКГ-2 с учетом ограничения весовой нормы полезной длины приемо-отправочных путей. Так как результаты расчетов показали, что полезная длина приемо-отправочных путей существенного влияния на срок электрификации не оказывает, то принята для расчета масса состава при полезной длине приемо-отправочных путей 1050 м. Анализируя схемы этапного наращивания мощности железной дороги, установлено, что переход на электрическую тягу колеблется от 4 до 7 лет.

Стоимость электроэнергии и дизельного топлива является одним из основных факторов, влияющих на срок электрификации железнодорожной линии. Стоимость электрификации железной дороги определяется суммой затрат по соответствующим главам сводной сметы. Учитываются укрупненные показатели стоимости работ по подготовке участка к электрификации, сооружение опор контактной сети, раскатка проводов, армирование, монтаж сопряжений анкерных участков, заземление, монтаж устройств СЦБ и линий продольного электроснабжения, устройство линий поездной радиосвязи, переустройство переездной сигнализации. Стоимость электрификации отдельных пунктов включает также переустройство централизации и блокировки в зависимости от полезной длины приемо-отправочных путей и количества стрелочных переводов. Учитывается стоимость приобретения подвижного состава для обращения на электрифицированной линии.

Эксплуатационные расходы определяются по способу групповых норм расходов и укрупненным нормам и складываются из энергетических, пробных и временных измерителей расходных ставок. При расчете учтена механическая работа локомотива, стоимость электроэнергии и дизельного топлива, ремонт локомотивов, содержание локомотивных бригад, амортизация верхнего строения пути и др.

Оптимальный срок электрификации определен при стоимости электроэнергии и дизельного топлива в существующих ценах. В связи с предстоящим вводом БелАЭС принято снижение стоимости электроэнергии на второй год расчетного периода на 15 % и на пятый год – на 50 %.

Анализируя полученные результаты, установлено, что переводить участки железной дороги на электрическую тягу целесообразно при размерах перевозок 19–22 млн т в год, а с введением в эксплуатацию БелАЭС – при 14–17 млн т.

Электрификация железной дороги является мощным средством ресурсосбережения, экологической безопасности железнодорожных объектов, окружающей среды, снижения шумовой нагрузки.

УДК 622.276:004

## **АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ МАГИСТРАЛЬНЫХ НЕФТЕПРОВОДОВ**

*А. А. МЕЛЬНИКОВ*

*Филиал ЦБПО ОАО "Гомельтранснефть Дружба",*

*В. Л. ГРУЗИНОВА, О. К. НОВИКОВА*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Республика Беларусь обладает развитой системой магистрального трубопроводного транспорта углеводородных энергоносителей. По магистральным нефтепроводам осуществляются снабжение углеводородным сырьем нефтеперерабатывающих заводов и транзитные поставки в страны Европейского союза и Украину. Общая протяжённость технических коридоров, в кото-

рых проложены магистрали, на территории Беларуси составляет 1231,5 км. Характерной чертой эксплуатируемой системы транспорта углеводородов является ее прогрессирующее старение, так как большинство трубопроводов было построено в 60–80-е годы прошлого столетия. Около 80 % магистральных трубопроводов, транспортирующих жидкие углеводороды, и более 25 % магистральных газопроводов работают за пределами проектного ресурса [1]. При этом обновление всей системы, в особенности линейной части магистральных трубопроводов Беларуси, требует значительных затрат и в настоящее время практически невозможно. В связи с этим актуальна задача обеспечения надежности линейной части магистральных трубопроводов при длительной их эксплуатации.

Основными факторами, определяющими сопротивление труб разрушению, являются: рабочее давление, температура, свойства перекачиваемого продукта, исходные свойства металла труб, качество проектных, строительного-монтажных и эксплуатационных работ, внешние воздействия, интенсивность деградации в результате старения. Результат их воздействия – это накопление повреждений, деградация свойств металла, коррозионные и эрозионные повреждения, что в итоге приводит к деградации к предельному состоянию.

В жизненном цикле магистрального трубопровода можно выделить семь основных стадий: проектирование, строительство, эксплуатация, реконструкция, капитальный ремонт, консервация, ликвидация. При проектировании закладываются основы для функционирования магистрального трубопроводного транспорта и потенциальные условия, приводящие к возникновению опасности в дальнейшем. Поэтому очень важно на данной стадии учесть все нюансы и не допустить ошибок в расчетах, которые могут привести к необратимым катастрофическим последствиям.

Обеспечить высокое качество выполнения проектных работ в ограниченные сроки без увеличения количества задействованных работников позволяет использование систем автоматизированного проектирования (САПР). САПР объединяет технические средства, математическое, информационное и программное обеспечение, позволяющее автоматизировать проектирование на всех или отдельных стадиях проектирования объектов. Анализ существующих средств автоматизированного проектирования, которые могут быть использованы при создании проектов по магистральным трубопроводам, показал, что на сегодняшний день имеется немало программ, которые способны упростить и усовершенствовать проектирование магистральных трубопроводов. Но стоимость некоторых из них иногда настолько велика, что использование таких средств автоматизированного проектирования становится нецелесообразным в условиях Республики Беларусь. В связи с этим в работе использовались доступные программы, результатами работы в которых стали:

- документ, созданный при помощи программы *Mathcad*, который автоматизирует расчет следующих параметров подъема нефтепровода трубоукладчиками: требуемое расстояние между трубоукладчиками; усилия на крюках трубоукладчиков; высоты подъема нефтепровода трубоукладчиками; максимальный изгибающий момент; максимальное напряжение от изгиба; радиусы упругого изгиба. Разработанный документ позволяет получить необходимые данные уже после ввода исходных параметров;

- таблицы, разработанные при помощи программы *Microsoft Excel*, позволяющие рассчитывать необходимое количество материалов для нанесения битумной изоляции на магистральный нефтепровод. Данная разработка позволяет существенно сократить время расчета расхода материалов для нанесения изоляции. Для получения необходимых значений достаточно ввести диаметр и длину трубопровода;

- трехмерная модель фильтров грязеуловителей, построенная при помощи программы *КОМПАС-3D* и ее специализированного приложения *Оборудование: Трубопроводы*. Для построения данной модели были созданы пользовательские элементы: задвижка шиберная Ду300; фильтр грязеуловитель ФГГ-300-4,0-П-УХЛ-Н-8. Эти элементы можно будет применять в дальнейшем при создании аналогичных проектов.

Также в работе продемонстрирована возможность быстрого создания различных чертежей и домостей в *КОМПАС-3D*, которые автоматически обновляются при внесении изменений в исходную трехмерную модель.

Подводя итог, можно отметить, что использование САПР способствует повышению конкурентоспособности организаций, занимающихся проектированием, за счет сокращения времени разработки проекта и трудозатрат, повышения качества проекта и точности расчетных данных.

## Список литературы

1 Янушонок, А. Н. Обеспечение надежности магистральных трубопроводов, находящихся в длительной эксплуатации / А. Н. Янушонок, А. С. Снарский // Вес. ПГУ. Сер. Ф. Строительство. Прикладные науки. – 2013. – № 16. – С. 98–103.

УДК 658.345:62-631.2

### МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ РАБОЧИХ МЕСТ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ВЫСОКООКТАНОВЫХ БЕНЗИНОВ

*Е. Н. МЕЛЬНИКОВА, П. В. САФОНОВ, М. А. СВИРИДЕНКО*  
*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

*С. А. СУХОЦКАЯ*  
*Мозырский НПЗ, Республика Беларусь*

Вслед за увеличением количества автомобильной техники в стране происходит ужесточение требований законодательства в области охраны окружающей среды, в том числе ужесточаются требования к максимальной концентрации вредных веществ в выхлопных газах автомобилей.

Одним из лидеров нефтепереработки на постсоветском пространстве является ОАО «Мозырский НПЗ». Предприятие производит широкий ассортимент нефтепродуктов, среди них бензины автомобильные АИ-92, АИ-95, АИ-98. Чтобы продукция предприятия оставалась конкурентоспособной, ОАО «Мозырский НПЗ» развивает и совершенствует технологию производства. Одним из этапов модернизации завода стал ввод в эксплуатацию в июне 2016 года комбинированной установки производства высокооктановых компонентов бензина (КУПВКБ). Фактически это уникальный комплекс, состоящий из трех установок по производству: димата по технологии DIMERSOL-G; третамилметилового эфира (ТАМЭ) и метил-трет-бутилового эфира (МТБЭ).

МТБЭ и ТАМЭ применяются в качестве кислородосодержащих высокооктановых компонентов при получении неэтилированных, экологически чистых автомобильных бензинов. МТБЭ и ТАМЭ обладают высоким октановым числом и низкой температурой кипения, что в совокупности позволяет повысить октановое число бензина. При добавлении эфиров к моторным топливам повышается температура горения топлива и эффективность работы двигателя, значительно снижается содержание окиси углерода и углеводородов в выхлопных газах, улучшается запуск двигателя при низких температурах, кроме того, обеспечивается более полное сгорание моторного топлива.

Ввод в эксплуатацию КУПВКБ позволил производить весь автомобильный бензин по европейской спецификации EN228:2008 с октановым числом ОЧИМ-95 (Евро-5), отказаться от закупки дорогостоящего высокооктанового компонента бензина (МТБЭ), используемого ранее для приготовления бензина стандарта Евро-5.

С вводом в эксплуатацию КУПВКБ были созданы дополнительные рабочие места, и перед предприятием возник вопрос об аттестации рабочих мест по показателям концентрации ТАМЭ и МТБЭ в воздухе рабочей зоны. Представители ОАО «Мозырский НПЗ» обратились в Испытательный центр железнодорожного транспорта «СЕКО» Белорусского государственного университета транспорта (ИЦ ЖТ «СЕКО») с просьбой провести замеры концентрации ТАМЭ и МТБЭ на рабочих местах. Для измерения МТБЭ применяли газоанализатор «Dräger X-am 7000». Для измерения ТАМЭ сотрудниками ИЦ ЖТ «СЕКО» была разработана методика выполнения измерений МВИ.МН 5754-2017 «Концентрация паров метил-трет-амилового эфира в воздухе рабочей зоны. Методика выполнения измерений методом газовой хроматографии». Методика прошла метрологическую экспертизу для целей подтверждения пригодности метода аттестации в Белорусском государственном институте метрологии.

Метод измерения основан на количественном определении паров ТАМЭ методом газовой хроматографии с ионизационно-пламенным детектированием. Анализ проводится на макрокапиллярной колонке с неполярной неподвижной фазой – полидиметилсилоксан (SE-30). Методика обеспечивает измерение содержания паров ТАМЭ в диапазоне концентраций от 4 до 1000 мг/м<sup>3</sup>, предельно допустимая концентрация ТАМЭ в воздухе рабочей зоны – 40 мг/м<sup>3</sup>.

**Вывод.** Разработана методика контроля ТАМЭ в воздухе рабочей зоны методом газовой хроматографии, позволившая обеспечить контроль безопасной концентрации ТАМЭ в технологических помещениях нефтеперерабатывающих предприятий.

УДК 621.89.271

## **ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ КОМПЛЕКСНОГО РЕЦИКЛИНГА ОТРАБОТАННОГО ПЛАСТИЧНОГО СМАЗОЧНОГО МАТЕРИАЛА ПРЕДПРИЯТИЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА**

*А. С. НЕВЕРОВ, И. В. ПРИХОДЬКО, Д. А. БЛИЗНЕЦ  
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Для обеспечения грузо- и пассажироперевозок на территории Республики Беларусь функционируют 16 основных и 4 оборотных локомотивных депо. В процессе эксплуатации локомотивов для заправки букс колесных пар применяются пластичные смазки «Буксол», ЖРО и т.д. Смазочный материал «Буксол» предназначен для эксплуатации в буксовых узлах при скоростях до 200 км/ч и рабочей температуре до 120 °С. В реальных условиях скорости движения составов менее 100 км/ч, а температура нагрева буксового узла составляет плюс 60–80 °С. Этот материал новый, и проблема накопления его отработки появилась только в последние годы. Отработанная смазка, прошедшая цикл эксплуатации, складывается на базах горюче-смазочных материалов и за год по всем депо республики ее скапливается около 74 т. Применение такого материала считается нецелесообразным, и он подвергается утилизации как смесь отработанных нефтепродуктов. Услуги по утилизации пластичных смазочных материалов мало распространены в республике. Единственным монополистом в этой области является компания «ГлобалТрейдОйл», осуществляющая прием отработанного материала по 310 у.е. за тонну, что представляет дополнительную финансовую нагрузку на предприятие, так как стоимость утилизации по всем локомотивным депо республики составляет 23 тыс. у.е. в год.

Результаты исследования остаточных реологических и трибологических свойств отработанной пластичной смазки показали, что в процессе эксплуатации смазочный материал не полностью вырабатывает свой ресурс. Эти данные послужили предпосылками для проведения рециклинга отработанных минеральных смазок с целью создания на их основе антифрикционных смазочных материалов для тяжело нагруженных, но менее ответственных узлов трения, потому как помимо накопления отработанного смазочного материала на железнодорожных предприятиях существенную проблему представляет отсутствие отечественного пластичного смазочного материала для смазки рельсов в кривых участках железнодорожного пути. В настоящее время для защиты от износа боковой поверхности рельсов используется смазка пластичная для рельсосмазывателей (СПЛ), закупаемая в РФ и Украине.

Еще один способ переработки отработанного смазочного материала – это использование его при создании композиционного антикоррозионного материала. Смазочные материалы могут быть использованы также и в качестве пластификаторов полимерных пленок. Применение с этой целью пластичных железнодорожных смазок мало изучено. Исследование синерезиса пластификатора позволило выявить температурный диапазон интенсификации этого процесса и, следовательно, возможности создания «умного» материала.

Одним из важнейших факторов, определяющим эксплуатационные свойства пластифицированных материалов, является совместимость входящих в их состав полимеров и пластификаторов, так как не все полимеры совместимы с консистентной смазкой. В работе рассмотрен вопрос создания композиционного полимерного материала на основе полиэтилена низкого давления. Изменение концентрации пластификатора ведет к изменению физико-механических характеристик материала. Результаты исследования структуры пластифицированных полимерных материалов с использованием разработанной компьютерной программы, позволяющей моделировать структуру композиции в зависимости от содержания пластификатора, дает возможность выделить несколько типов структур в зависимости от содержания пластификатора. Компьютерное моделирование позволило

установить основные закономерности диффузионного перераспределения пластификатора в матрице материала. Установлено, что наличие резкой концентрационной границы образования связанных капилляров и соответствующее изменение в этой концентрационной области ряда физико-механических характеристик пластифицированных материалов не связано с фазовыми переходами, а обусловлено статистическим характером распределения пластификатора в объеме материала. Это значительно влияет на прочность, которая зависит от условий формирования и содержания наполнителей.

Помимо прочности определяющим фактором является температура эксплуатации композиционного материала является. При возрастании температуры части какой-либо детали или механизма из защитной пленки более интенсивно происходит выделение пластификатора с содержащимся в нем ингибитором коррозии, в то время как у более холодной части процесс синерезиса менее интенсивный. Установлено, что в температурном диапазоне 50–70 °С наблюдается максимальная интенсификация синерезиса пластификатора из защитной оболочки. До температуры 50 °С невысокая скорость выделения пластификатора обусловлена его высокой вязкостью, и с учетом того, что его перемещение осуществляется по порам и капиллярам на границах кристаллических структур объем выделения пластификатора невелик. Полученные результаты показали, что разработанный пленочный материал обеспечивает защиту металлических изделий при повышенных температурах, причем высокоэффективен при температурах 50–70 °С. К примеру, пленочный материал может обеспечить защиту системы труб горячего водоснабжения, имеющих штатную температуру 60–75 °С. Часть неэксплуатируемых или временно незадействованных труб, но находящихся в общей системе водоснабжения, имеют более низкую температуру. К тому же, на всей протяженности трубопровода от источника до потребителя в результате тепловых потерь возникает градиент температур, который является одной из причин коррозионного разрушения материала. Использование разработанного пленочного антикоррозионного материала позволит герметизировать металлоизделие, осуществляя барьерную функцию, и интенсифицировать защитные функции, увеличивая выделение ингибитора с ростом температуры металлоизделия.

Таким образом, решение вопроса утилизации отработанного железнодорожного консистентного смазочного материала представляется целесообразным проводить по пути комплексного рециклинга отхода.

УДК 628.29

## **ОЦЕНКА КАЧЕСТВЕННОГО СОСТАВА ПОВЕРХНОСТНЫХ СТОЧНЫХ ВОД С ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПУТЕЙ**

*О. К. НОВИКОВА, В. Л. ГРУЗИНОВА, А. О. ПРИЩЕПОВ*  
*Белорусский государственный университет транспорта», г. Гомель*

Проблема загрязнения грунтов и водных объектов является актуальной, так как серьезно затрагивает состояние зеленых насаждений и окружающей среды в целом, а способность к самоочищению различных природных сред либо исчерпана, либо находится на уровне истощения. Одним из источников загрязнения природных водных объектов являются поверхностные сточные воды, образующиеся при выпадении атмосферных осадков. В населенных пунктах, где предусмотрены дождевые сети водоотведения, поверхностные сточные воды собираются дождеприемниками и организовано отводятся. При отсутствии дождевой сети дождевые и талые сточные воды отводятся по рельефу местности в нижерасположенные места: овраги, реки, озера. До недавнего времени большое внимание уделялось решению вопросов, связанных с отведением поверхностных сточных вод с территорий населенных пунктов, промышленных предприятий, автомобильных дорог, а железнодорожное полотно и железнодорожные станции не рассматривались как объект загрязнения поверхностных и грунтовых вод.

Загрязнение железнодорожного полотна отрицательно сказывается на состоянии окружающей среды. На некоторых участках железнодорожных путей грунты пропитаны нефтепродуктами на значительную глубину, что создает угрозу как поверхностным водным объектам, так и подземным

водам. Во время выпадения дождей и интенсивного снеготаяния образующиеся поверхностные сточные воды смывают пыль, различный мусор, нефтепродукты и другие загрязнения и попадают в ближайший водный объект, а часть поверхностного стока проникает в толщу грунтов, пропитывая их на большую глубину, и попадает в грунтовые воды. Пропитывание почвы поверхностным стоком также пагубно сказывается на строении железнодорожного пути, так как вода при замерзании имеет свойство расширяться и тем самым изменять форму нижнего строения пути, а следовательно, и балластной призмы в целом.

С целью установления качественных и количественных характеристик поверхностных сточных вод с территорий, прилегающих к железнодорожным путям, запланированы и проведены экспериментальные исследования в 2017 году. Объектом исследования был выбран участок пути между ст. Якимовка (ПК308+026) и ст. Сенозавод (ПК 315+864), насыпь которого поднимается во время паводка. Характеристика рассматриваемого участка: рельсы Р65; шпалы железобетонные; эпюра шпал 1840 шт.; балласт щебеночный толщиной 25–34 см; загрязнение балласта менее 20 %.

Программа отбора проб (место отбора, периодичность, способ отбора, перечень анализируемых параметров) определена в соответствии с поставленными целями и включала предметно ориентированные отборы в период интенсивного снеготаяния и весенних дождей с анализом гидрохимических показателей по основным загрязняющим веществам, характеризующим качественный состав поверхностных сточных вод (таблица 1).

Таблица 1 – Качественная характеристика поверхностных сточных вод (средние значения), мг/дм<sup>3</sup>

Наименование показателей	Период отбора проб	
	февраль 2017 г. (талые сточные воды)	апрель 2017 г. (дождевые сточные воды)
Взвешенные вещества	215,8	153,6
Нефтепродукты	25,6	15,8
Азот аммонийный	4,3	3,2
Цинк	1,4	0,8
Никель	1,2	0,5
Железо общее	3,4	2,3

На основании анализа данных, полученных в результате экспериментальных исследований, установлено:

- 1) концентрации загрязняющих веществ по всем показателям в дождевых сточных водах ниже, чем в талых, что обусловлено накоплением загрязнений в снежном покрове в зимний период;
- 2) концентрации загрязняющих веществ в дождевых и талых сточных водах по всем показателям имеют высокие значения, что свидетельствует о необходимости организации очистки данной категории вод;
- 3) концентрации загрязняющих веществ в дождевых сточных водах снижаются по ходу дождя, что обусловлено вымыванием загрязнений с железнодорожного полотна и необходимо учитывать при разработке технологической схемы очистки.

Тенденция негативного влияния загрязненных поверхностных сточных вод с территорий, прилегающих к железнодорожным объектам, в связи с увеличением наработки тоннажа (масса пропущенных железнодорожных составов) продолжает нарастать, концентрации загрязняющих веществ в водных объектах не уменьшаются. Целесообразным является разработка технологий сбора и отведения загрязненных поверхностных сточных вод с железнодорожных путей для предотвращения нарушения структуры железнодорожного полотна, так как интенсивный поверхностный сток вызывает размыв и постепенное разрушение полотна (осадка верхнего строения пути, выплеск балласта из шпальных ящиков). Также должна быть предусмотрена очистка данной категории вод для предотвращения загрязнения водных объектов, расположенных вблизи железнодорожных путей.

Полученные качественные характеристики дождевых и талых сточных вод могут быть использованы при оценке антропогенной нагрузки данной категории сточных вод на природные водные объекты и при разработке оптимальной схемы очистки сточных вод с железнодорожного полотна и железнодорожных станций Республики Беларусь.

## АВТОНОМНЫЙ ЭЛЕКТРОЛОКОМОТИВ

*В. М. ОВЧИННИКОВ, М. В. АНДРЕЙЧИКОВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Внедрение на Белорусской железной дороге новых маневровых тепловозов серии ТМЭ (ТМЭ1, ТМЭ2, ТМЭ3) позволило существенно повысить экономико-экологические характеристики локомотивов в маневровой работе. Однако в настоящее время значительную долю маневровой работы выполняют устаревшие маневровые тепловозы серии ЧМЭ3, полностью заменить которые пока не представляется возможным. Экономические и экологические характеристики данных тепловозов не соответствуют многим современным требованиям, предъявляемым к данному виду подвижного состава. Поэтому возникает необходимость проведения модернизации тепловозов ЧМЭ3. Одним из направлений модернизации является перевод локомотивов на автономную электрическую тягу. Тем более, что после 2020 года будет введена в эксплуатацию Белорусская АЭС. Известно, что АЭС имеет жесткую характеристику, т. е. мощность ее практически постоянна, а не является мобильной в зависимости от потребления. Поэтому транспортные аккумуляторные средства, имеющие в своей конструкции аккумуляторные батареи, могут подзаряжаться в ночные часы и в нерабочие дни. Следовательно, будет более полное, а значит, и наиболее экономичное использование мощности АЭС во время ее малой нагрузки, поскольку это достигается использованием «лишней» мощности, генерируемой электростанцией.

Первый опыт в этом направлении показал Всероссийский научно-исследовательский конструкторско-технологический институт подвижного состава (ВНИКТИ), который по заказу Московской железной дороги разработал пока единственный локомотив аккумуляторный маневровый (ЛАМ), построенный на базе тепловоза серии ЧМЭ3. При этом сохранено основное оборудование тормозной системы. Силовая установка со всеми относящимися к дизелю системами и часть электрооборудования демонтированы. Оставлено лишь то электрооборудование, которое используется в схеме электровоза: тяговые электродвигатели, реверсор, контроллер машиниста, приборы освещения, защиты, сигнализации и связи. На освободившемся месте были размещены щелочные никель-кадмиевые аккумуляторные батареи: четыре тяговые и одна для собственных нужд.

Однако применение никель-кадмиевых батарей на данном локомотиве имело и ряд существенных недостатков: продолжительная зарядка батарей (около 8 часов), узкий температурный диапазон эксплуатации, небольшая емкость силовой аккумуляторной батареи и, как следствие, низкий запас хода.

В последнее время все большее распространение получают литий-ионные аккумуляторные батареи. Производство литий-ионных аккумуляторных батарей представляет собой быстрорастущий и многообещающий сегмент рынка. Высокая емкость литий-ионных батарей, хорошие нагрузочные характеристики, а также возможность быстрой зарядки позволяют применять их на локомотивах.

Все литиевые аккумуляторы характеризуются достаточно высокой сохранностью. Потеря емкости за счет саморазряда не превышает 5–10 % в год. Одним из главных преимуществ литий-ионного аккумулятора является отсутствие «эффекта памяти», что делает аккумулятор нечувствительным к неполным циклам заряда-разряда и расширяет диапазон его эксплуатации.

Следовательно, модернизация силовой установки путем применения блока литий-ионных аккумуляторных батарей возможна. При этом блок аккумуляторных батарей заменяет собой дизель-генераторную установку и питает тяговые электродвигатели. Для модернизации силовой установки тепловоза ЧМЭ3 литий-ионной аккумуляторной батареей целесообразно выбрать батарею с наибольшей энергетической плотностью, так как имеются жесткие ограничения пространства установки, а также ограничение по массе.

Для соблюдения тяговых свойств локомотива силовая установка должна обеспечивать повторение внешней характеристики тягового генератора тепловоза ЧМЭ3.

Литий-ионные батареи позволяют разряжать себя относительными токами до 2С (С – номинальная емкость аккумулятора), сохраняя при этом прежнюю емкость и не подвергая батареи быстрому старению. Разрядка батарей током до 1,685С позволит избежать просадки напряжения при



низком уровне заряда и при эксплуатации в зимних условиях, что положительно сказывается на эксплуатации силовой аккумуляторной установки.

Согласно предварительным расчетам, все затраты по модернизации тепловоза ЧМЭЗ с использованием блока литий-ионных аккумуляторных батарей в качестве силовой установки должны окупиться в течение шести лет.

В случае перехода на аккумуляторную тягу изменяются и экологические характеристики тепловоза: выбросы загрязняющих веществ снижаются до нуля, тем самым значительно уменьшается негативное влияние на окружающую среду. В настоящее время в Республике Беларусь эксплуатируется примерно 250 маневровых тепловозов типа ЧМЭЗ. Суммарно за год они сжигают около 20 тыс. т дизельного топлива на сумму более 11 млн дол. США. При этом в атмосферу выбрасывается почти 1 тыс. т загрязняющих веществ (угарного газа, диоксида азота и др.), а также несколько тысяч тонн углекислого газа, который является основным парниковым газом. Осуществление технически возможного перевода на электротягу не менее половины устаревших маневровых тепловозов ЧМЭЗ принесло бы ощутимый эффект в сфере экологической безопасности.

С учетом ввода в ближайшей перспективе Белорусской атомной станции правительством предусматривается стимулирование мероприятий, направленных на облегчение прохождения ночных минимумов потребления электрической энергии, что положительно скажется на стоимости эксплуатации аккумуляторного локомотива.

УДК 656.2:502.3:658.345(476)

## **РАБОТЫ ПО ИССЛЕДОВАНИЮ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ, ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И ОХРАНЫ ТРУДА НА ПРЕДПРИЯТИЯХ БЕЛОРУССКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ**

*В. М. ОВЧИННИКОВ, В. В. МАКЕЕВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Отличительной особенностью XXI века является необходимость срочного решения энергетических и экологических проблем. Предыдущие два века прошли под знаком равенства между прогрессом и ростом благосостояния, с одной стороны, и увеличением энергопотребления, – с другой. На долгосрочную перспективу сохранится доминирование ископаемых углеводородных топлив, которые относятся к невозобновляемым энергоресурсам. Кроме того, в результате сгорания образуются загрязняющие вещества, которые наносят ущерб окружающей среде. Следовательно, политика энергоэффективности приведет к усилению энергобезопасности и решению экологических и экономических задач.

БелГУТ является учреждением, целенаправленно и постоянно занимающимся вопросами повышения энергоэффективности и безопасности жизнедеятельности. Созданный в университете испытательный центр железнодорожного транспорта (ИЦ ЖТ) «СЕКО» имеет отдел экологической безопасности и энергосбережения на транспорте (до 2016 года – научно-исследовательский центр экологической безопасности и энергосбережения на транспорте).

В соответствии с Законом Республики Беларусь от 08.01.2015 № 239-3 «Об энергосбережении» отдел ЭиЭТ может оказывать услуги по энергетическому обследованию (энергоаудиту). Это право предоставляется сертификатом № ВУ/112 04.17.003 16143 (действителен до 27.02.2020). Причём данный сертификат удостоверяет, что БелГУТ оказывает услуги по энергоаудиту предприятиям Белорусской железной дороги. Кроме того, отдел является обладателем МВИ.МН 4076–2011 «Методика выполнения измерений расхода топлива при разработке норм расхода топлива на железнодорожный подвижной состав, машины, механизмы и оборудование».

Указанные правовые документы по энергоэффективности позволили в 2016–2017 гг. выполнить работы по энергоаудиту и нормированию расхода топлива на 27 железнодорожных и 39 предприятиях других ведомств, разработать энергосберегающие мероприятия, прогрессивные нормы расхода ТЭР, местных видов топлива (в том числе ВИЭ), энергетические паспорта объектов обследования.

На основе ТНПА по энергоэффективности и практического опыта, приобретенного при соответствующей работе на железнодорожных предприятиях, сотрудники отдела ЭиЭТ дважды в год проводят занятия по повышению квалификации по проблемам энергосбережения с работниками Бел. ж. д.

Вторая глобальная проблема – экологическая. Отдел ЭиЭТ принимает активное участие в решении этой проблемы. Имея собственную физико-химическую лабораторию, аттестат аккредитации ВУ/112 02.2.0.4523 (действителен до 22.08.2019) и сертификат соответствия ВУ/ 112 04.19.074 00005 (действителен до 13.10.2019), отдел выполняет различные виды услуг в области охраны окружающей среды: по охране атмосферного воздуха [инвентаризация выбросов загрязняющих веществ (ЗВ) в атмосферный воздух, разработка проекта нормативов допустимых выбросов ЗВ]; охране водных ресурсов (разработка нормативов допустимого сброса ЗВ, баланса водоснабжения и водоотведения); обращении с отходами (инвентаризация отходов производства, разработка нормативов образования отходов и инструкции по обращению с отходами производства); проведение экологической паспортизации газоочистных установок (ГОУ), наладка, испытание и проверка эффективности ГОУ. При этом в промвыбросах определяется 74 ЗВ, в атмосферном воздухе – 23 ЗВ, в почвах – 1 ЗВ, в сточной воде – 24 ЗВ.

По экологическим вопросам в 2016–2017 гг. отдел оказывал услуги 69 железнодорожным предприятиям и 49 предприятиям других ведомств (среди них ОАО «Мозырский НПЗ»).

Основываясь на государственных НПА и большом практическом опыте на железнодорожных предприятиях (около 30 лет), отдел ЭиЭТ осуществляет повышение квалификации работников Бел. ж. д. в области экологической безопасности.

Третье направление практической работы отдела экологической безопасности и энергосбережения на транспорте ИЦ ЖТ «СЕКО» – охрана труда и производственная санитария. По данному направлению проводятся работы по аттестации рабочих мест, осуществляются лабораторный контроль вредных факторов на рабочих местах (анализ осуществляет физико-химическая лаборатория), испытание и паспортизация вентиляционных систем, санитарно-техническая паспортизация. Указанные работы подтверждены разрешительными документами: свидетельством Министерства труда и социальной защиты Республики Беларусь № 109 (действительно до 25.01.2020), лицензией № 02300/3186-2 на осуществление контроля радиоактивного загрязнения (действительно до 10.05.2020) и лицензией № 02300/3532-1 на испытание и паспортизацию вентиляционных систем (действительно до 19.01.2021).

Практические работы по охране труда выполнялись в 2016–2017 гг. в 138 железнодорожных и 135 предприятиях других ведомств.

К сожалению, следует отметить, что с отделом ЭиЭТ БелГУТа на постоянной основе работают только 15–25 % предприятий Бел. ж. д., хотя БелГУТ и Бел. ж. д. с 20.10.2014 находятся в подчинении одного и того же ведомства – Министерства транспорта и коммуникаций.

УДК 621.352+544.6

## **ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНАЯ КОМБИНИРОВАННАЯ ЭНЕРГОУСТАНОВКА НА ОСНОВЕ ВОЗДУШНО-АЛЮМИНИЕВОГО ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ГЕНЕРАТОРА ДЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ**

*Н. С. ОКорокова, К. В. Пушкин, С. Д. Севрук, А. А. Фармаковская  
Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)  
(МАИ НИУ), Российская Федерация*

Одним из острых вопросов экологии на сегодняшний день является катастрофическое ухудшение качества воздуха в больших городах из-за работы автотранспорта на углеводородном топливе. Сегодня во многих странах вводятся законодательные запреты и ужесточаются экологические стандарты при разработке современных транспортных систем. Как следствие, всё больше набирает обороты мировой тренд в автотранспортной индустрии – разработка и внедрение транспортных средств на электрической тяге, а именно электромобилей и электробусов.

Несмотря на значительное увеличение спроса таких систем, перед разработчиками стоит ряд задач, связанных, в частности, с изготовлением энергоустановки (ЭУ): стоимость батареи в электро-мобиле сегодня в среднем составляет 42 % от общей стоимости изделия и является самой дорогой его частью. Несмотря на свои преимущества, используемые сегодня ЭУ на базе Li-ion батарей и O<sub>2</sub>-H<sub>2</sub> топливных элементов имеют существенные недостатки, такие как высокая стоимость, пожаро- и взрывоопасность компонентов, простои при перезарядке, время функционирования и т. п. Решением данных вопросов может стать разработка и создание высокоэффективной, экологически безопасной комбинированной энергоустановки (КЭУ) на основе воздушно-алюминиевого (ВА) электрохимического генератора (ЭХГ) и буферной аккумуляторной батареи. Воздушно-алюминиевая батарея ЭХГ – это набор бикатодных ячеек, в которых анодная алюминиевая пластина располагается по центру, а справа и слева от нее – газодиффузионные катоды (ГДК), единственный высокотехнологичный элемент во всем источнике.

В качестве топлива ВА ЭХГ использует алюминий, воду и кислород. Алюминий, как было сказано выше, используется в виде алюминиевых пластин толщиной несколько миллиметров, а кислород поступает из воздуха атмосферы и не требует специального хранения. Вода расходуется из электролита (раствор щелочи NaOH), который прокачивается через топливные ячейки ВА ЭХГ.

При работе ВА ЭХГ с алюминиевым анодом в щелочном электролите суммарная токообразующая реакция может быть представлена уравнением  $4Al + 3O_2 + 6H_2O \rightarrow 4Al(OH)_3$ .

Таким образом, продуктом реакции ВА ЭХГ является гидроксид алюминия [Al(OH)<sub>3</sub> – «белая глина»] – экологически безопасный компонент, существующий в природе, который может быть возвращен обратно в процесс производства алюминия, что снижает энергозатраты на получение исходного алюминия примерно в два раза.

Проведенные нами расчеты показали, что удельная энергия по массе компонентов составляет 1,28 кВт·ч/кг, и даже, несмотря на то, что при создании электрохимического генератора компоненты «обрастают» массой конструкции батарей и всех вспомогательных подсистем, удельная энергия весьма высока – 250–350 Вт·ч/кг.

ВА ЭХГ можно перезарядить механической заменой расходуемых реагентов. Это свойство является преимуществом, так как не нужно тратить длительное время на заряд ЭХГ от электросети, как это необходимо для аккумуляторов. При этом механическая перезарядка может быть осуществлена в течение нескольких минут ручным способом или автоматическим.

Ещё одним немаловажным преимуществом, по сравнению с другими системами (Li-ion батареями и O<sub>2</sub>-H<sub>2</sub> ТЭ), является пожаро- и взрывобезопасность эксплуатации и хранения (в т. ч. хранения горючего). В ВА ЭХГ отсутствуют воспламеняющиеся компоненты, а количество водорода, образующегося в ходе реакции коррозии алюминия в щелочном растворе (~3 г H<sub>2</sub> с 1 кг Al), ингибируется до незначительных величин и безопасно фильтруется (или дожигается) на специальных мембранах.

Исходя из вышеизложенного, следует, что предлагаемая КЭУ на базе ВА ЭХГ может стать эффективным и экономически выгодным решением при создании экологически безопасных транспортных систем.

УДК 502.3:658.567

## **МЕРОПРИЯТИЯ ПО ПОВЫШЕНИЮ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТЕПЛОВЗОВ**

*С. А. ПЕТУХОВ, А. В. МУРАТОВ, Л. С. КУРМАНОВА*

*Самарский государственный университет путей сообщения, Российская Федерация*

Дизельный тяговый подвижной состав ежегодно потребляет 12,6 млн т дизельного топлива и выбрасывает в атмосферу около 260 тыс. т вредных веществ. Наиболее распространенными загрязнителями атмосферы на железнодорожном транспорте являются оксиды углерода (СО и СО<sub>2</sub>) – около 49 тыс. т, оксиды азота (NO<sub>x</sub>) – около 176 тыс. т, углеводороды (C<sub>n</sub>H<sub>m</sub>) – около 23 тыс. т, сажа (С) – около 12 тыс. т, и дымность выхлопа (N). Дымность выхлопа (N) возрастает практически до 100 % при работе маневровых тепловозов на переходных (неустановившихся) режимах.

Одними из наиболее реальных и эффективных направлений решения проблемы повышения экологической безопасности тягового автономного подвижного состава является применение присадок и добавок к горюче-смазочным материалам. Для оценки влияния добавок и присадок к горюче-смазочным материалам на параметры работы дизеля тепловоза ЧМЭЗ авторами были проведены испытания при его работе на дизельном топливе, а также с добавками метана в топливную систему на линии низкого давления и с противоизносной присадкой к моторному маслу в условиях станции реостатных испытаний и пункта экологического контроля [1, 2].

На рисунке 1 приведены экспериментальные зависимости  $CO$ ,  $NO_x$ ,  $N$  от мощности при работе тепловоза ЧМЭЗ с 10%-м замещением дизельного топлива природным газом (метаном). Анализ данных зависимостей позволил сделать следующие выводы: снижение выбросов оксидов углерода  $\Delta CO = 0,01 \dots 0,27 \text{ г/нм}^3$ , или 15 %, увеличение  $NO_x$  в диапазоне от 0,015 до 0,05  $\text{г/нм}^3$ , снижение дымности в диапазоне от 1 до 4 % в зависимости от позиции контроллера машиниста.

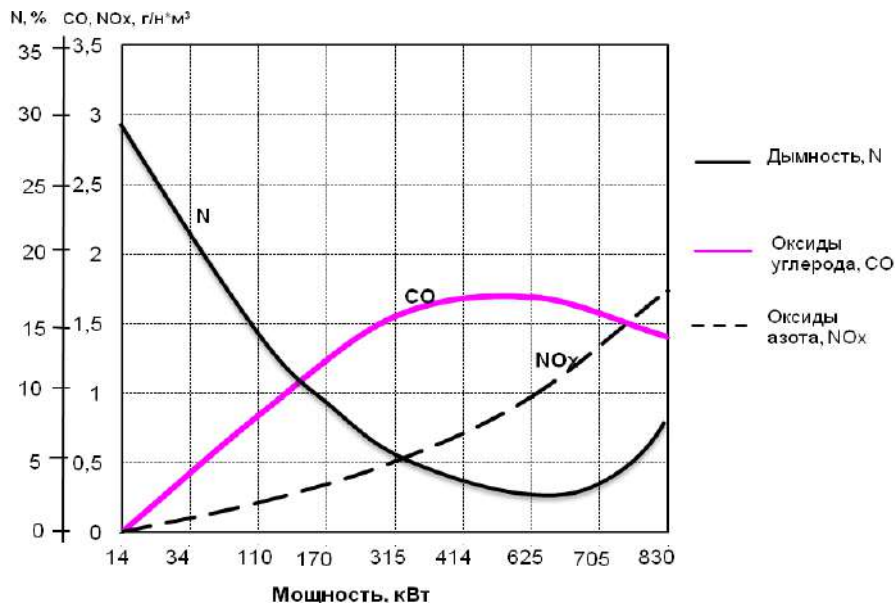


Рисунок 1 – Зависимости дымности N, оксида углерода CO и оксидов азота  $NO_x$  от мощности при работе тепловоза ЧМЭЗ с 10%-м замещением дизельного топлива метаном

На рисунке 2 приведены экологические характеристики дизеля тепловоза ЧМЭЗ, работающего на моторном масле M-14B<sub>2</sub>, и при его модифицировании МПП.

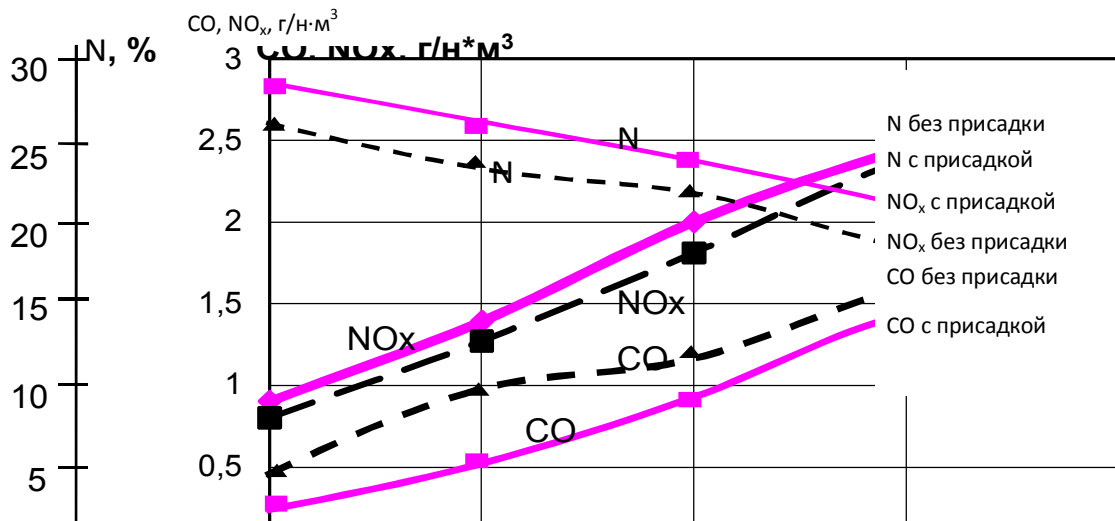


Рисунок 2 – Экологические характеристики дизеля тепловоза ЧМЭЗ, работающего на моторном масле M-14B<sub>2</sub> и после его модифицирования

Анализ зависимостей, представленных на рисунке, показывает, что после шести часов работы тепловоза ЧМЭЗ на номинальном режиме, на модифицированном моторном масле М-14В<sub>2</sub> в условиях станции реостатных испытаний и пункта экологического контроля в зависимости от позиции контроллера машиниста выбросы оксида углерода СО снижаются на 8–12 %, выбросы оксидов азота NO<sub>x</sub> повышаются на 6–8 %, а дымность D снижается в среднем на 5–8 %.

Проведенные исследования показали, что анализ процесса работы тепловозного дизеля с частичной заменой дизельного топлива при 10%-й добавке метана, а также модифицирование моторного масла противоизносными присадками приводит к снижению уровней выбросов вредных веществ, что указывает на целесообразность проведения дальнейших исследований по установлению оптимальных соотношений по улучшению экологичности тепловозных дизелей.

#### Список литературы

- 1 Влияние насыщения дизельного топлива метаном на эксплуатационные показатели тепловозных дизелей / Д. Я. Носырев [и др.] // Вестник транспорта Поволжья. – 2016. – № 6 (60). – С. 25–28.
- 2 Экспериментальная оценка влияния модифицированного моторного масла на экономичность и экологическую безопасность энергетических установок железнодорожного транспорта / Д. Я. Носырев [и др.] // Вестник транспорта Поволжья. – 2013. – № 5 (41). – С. 12–15.

УДК 628.315

### **ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ СОБЛЮДЕНИЯ НОРМАТИВНЫХ ТРЕБОВАНИЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

*Д. В. ПОПОВ*

*Открытое акционерное общество «Мозырский нефтеперерабатывающий завод»,  
Республика Беларусь*

*О. Н. ГОРЕЛАЯ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Рациональное использование и охрана водных ресурсов является важнейшей проблемой защиты окружающей среды. Нефтеперерабатывающая промышленность является при этом одним из источников загрязнения окружающей среды, в том числе вредными веществами водных объектов. Следует также учитывать значительную водоемкость данной отрасли народного хозяйства Республики Беларусь.

Одним из главных направлений в решении проблемы охраны водных ресурсов является эффективная очистка сбрасываемых сточных вод, снижение объемов водопотребления и водоотведения, внедрение оборотных и бессточных систем водоснабжения промышленных предприятий, извлечение и утилизация задержанных загрязнений. При этом основным концептуальным направлением является разработка мало- и безотходных технологий и производств как радикальном способе сокращения загрязнений и утилизации отходов в местах их образования.

Как известно, в настоящее время особое внимание уделяется очистке производственных сточных вод, содержащих специфические примеси, такие как нефтепродукты, минерализация воды и, в меньшей степени, сульфиды, сульфаты, хлориды. Последние три показателя характеризуют так называемые «сернисто-щелочные сточные воды» нефтеперерабатывающих предприятий. Данный вид стоков образуется от установок каталитического крекинга, гидроочистки, гидрокрекинга и т.д. и являются химически загрязненными и при сравнительно небольших объемах имеют высокие концентрации биотоксикантов (соединений серы). Высокое значение водородного показателя (рН = 11,0...14,0) сернисто-щелочных сточных вод не позволяет сбрасывать их в водоемы или на рельеф местности даже после значительного разбавления, собирать и очищать их вместе с остальными промышленными стоками предприятия на сооружениях биологической очистки. Предприятия вынуждены создавать отдельные системы сбора сернисто-щелочных стоков и установки их очистки.

Одним из прогрессивных решений является установка утилизации сернисто-щелочных стоков фирмы «BAYER» с применением технологии Lorgox<sup>®</sup>. Целью очистки является окисление органических соединений, которые не подвергаются биологическому разложению, могут оказать негативное влияние на работу существующих биологических сооружений. Реакция окисления стоков осуществляется при температуре 160 °С и давлении 1,2 МПа в щелочных условиях. Во время процесса окисления сульфиды и меркаптаны значительно окисляются, и сточные воды дезодорируются. В процессе окисления снижение химического потребления кислорода (ХПК) достигает 70 %. Согласно технологии Lorgox<sup>®</sup> концентрация сульфидов из установки не будет превышать 1,0 мг/л.

**Вывод.** В результате применения технологии Lorgox<sup>®</sup> образуется очищенный сток с низким уровнем ХПК и без неприятных запахов, который может быть направлен в систему очистных сооружений без риска снижения эффективности работы биологической очистки.

УДК 621.1.016

## НЕЛИНЕЙНАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕПЛООВОГО ПРОЦЕССА ВО ФРИКЦИОННЫХ ЭЛЕМЕНТАХ ТОРМОЗОВ

*Ю. А. ПШЕНИЧНОВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Процесс торможения железнодорожного подвижного состава характеризуется высокой тепловой нагруженностью фрикционных элементов. Поэтому исследованиям температурного режима колодочных тормозов посвящено большое число работ. Для ряда частных задач, близких по своим условиям к задаче теплопереноса во фрикционной паре тормоза, также найдены решения. Однако использование полученных в этих работах аналитических зависимостей применительно к высокоинтенсивным тепловым процессам может приводить к значительным расчетным погрешностям из-за приближенного учета их нелинейности.

В связи с этим была разработана нелинейная математическая модель теплового процесса во фрикционных элементах тормозов. Исследовать математическую модель численным методом означает рассчитать значения искомой функции. В силу нелинейности разработанная одномерная математическая модель теплового процесса во фрикционных элементах тормозов, включающая два уравнения теплопроводности, начальные и граничные условия, может быть исследована, как правило, численными методами.

При составлении модели было принято, что в высокоинтенсивных режимах торможения необходимо учитывать зависимость теплофизических характеристик материалов фрикционных элементов от температуры. Математическая модель включает два нестационарных уравнения теплопроводности:

$$C_1(T_1) \frac{\partial T_1}{\partial \tau} = \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \left( r \lambda_1(T_1) \frac{\partial T_1}{\partial r} \right), \quad (1)$$

$$C_2(T_2) \frac{\partial T_2}{\partial \tau} = \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \left( r \lambda_2(T_2) \frac{\partial T_2}{\partial r} \right), \quad (2)$$

где  $\lambda_1(T_1)$ ,  $\lambda_2(T_2)$  – зависимости коэффициентов теплопроводности соответственно от температуры материала колеса и колодки;  $C_1(T_1)$ ,  $C_2(T_2)$  – зависимости удельной теплоемкости материалов колеса и колодки соответственно;  $\tau$  – время;  $r$  – координата;  $T_1(r, \tau)$  и  $T_2(r, \tau)$  – искомые функции температуры двух переменных – координаты  $r$  и времени  $\tau$ .

Функции  $T_1(r, \tau)$  и  $T_2(r, \tau)$  должны подчиняться начальным условиям

$$T_1(r, \tau) = g_1(r); \quad (3)$$

$$T_2(r; \tau) = g_2(r), \quad (4)$$

где  $g_1(r)$  и  $g_2(r)$  – в общем случае известные (задаваемые) функция координаты  $r$ , представляющие распределения температуры по толщине стенки в момент времени  $\tau = 0$ .

Граничное условие при  $r = r_d$  примем в виде

$$\left. \frac{\partial T_1}{\partial r} \right|_{r=r_d} = 0, \quad (5)$$

а на фрикционной поверхности  $r = r_f$  зададим два граничных условия:

$$T_1(r_f, \tau) = T_2(r_f, \tau); \quad (6)$$

$$\lambda_1 \left. \frac{\partial T_1}{\partial r} \right|_{r=r_f} - \lambda_2 \left. \frac{\partial T_2}{\partial r} \right|_{r=r_f} = q_s(\tau), \quad (7)$$

где  $q_s(\tau)$  – плотность тепловыделения вследствие трения;  $r_d$ ,  $r_f$  и  $r_u$  – геометрические характеристики колеса и колодки.

При  $r = r_u$  зададим граничное условие третьего рода

$$\lambda \left. \frac{\partial T_2}{\partial r} \right|_{r=r_u} = \alpha [T_e(\tau) - T_2(r_u, \tau)], \quad (8)$$

где  $\alpha(\tau)$  – зависимость коэффициента теплоотдачи;  $T_e(\tau)$  – известная (задаваемая) функция времени  $\tau$  [ $T_e(\tau)$  – определяет закон, по которому изменяется с течением времени температура окружающей среды, граничащей с поверхностью  $r = r_u$ ]. При необходимости входящие в начальные и граничные условия функции могут быть заменены постоянными значениями.

Итак, математическая модель исследуемого процесса включает уравнения (1) и (2), начальные условия (3) и (4) и граничные условия (5)–(8).

Необходимо заметить, что использование одномерной модели вместо двумерной позволяет при значительно меньших затратах получить верхнюю оценку для температурного поля, что повышает надежность расчета теплового состояния фрикционных элементов. При этом в силу того, что теплоперенос в направлении оси вращения колеса менее интенсивен, чем в радиальном направлении, верхняя оценка является достаточной для определения тепловой нагруженности фрикционных элементов.

Для данной задачи была составлена разностная схема, реализованная в среде программирования системы компьютерной математики *Mathcad*. Достоинством такого подхода является то, что расчетные формулы при кодировании записываются в естественной для математических описаний форме. Данная особенность языка *Mathcad*, по сравнению с другими языками программирования, позволяет создавать более наглядный код, что значительно облегчает отладку программы.

Тестирование разработанной программы на языке *Mathcad* проводилось на примере решения задачи определения температурного поля однородного цилиндра путем сравнения численных результатов по составленной разностной схеме с результатами, полученными при использовании аналитического решения.

Проведенные расчеты показали, что использование линейной одномерной модели теплопроводности вместо нелинейной может приводить к значительным погрешностям в расчете температур колодки и колеса.

Полученные результаты могут быть использованы при обосновании скоростных режимов торможения подвижного состава железнодорожного транспорта.

## ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ МЕРОПРИЯТИЯ В ВОДНОМ ХОЗЯЙСТВЕ ПРЕДПРИЯТИЙ ТРАНСПОРТНОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

*А. М. РАТНИКОВА*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Предприятия машиностроения – значительный потребитель водных ресурсов. Поэтому действия, направленные на рациональное использование и экономию воды на этих предприятиях, становятся одними из первоочередных, так как сокращение потребления воды ведет к сокращению расходов электроэнергии на перекачку неэффективно используемой воды. От рациональности использования различных ресурсов и энергоэффективности применяемого оборудования напрямую зависит себестоимость выпускаемой продукции и ее конкурентоспособность.

Поиск резервов экономии ресурсов в водном хозяйстве предприятия следует начинать с составления и детального анализа водохозяйственного баланса.

При анализе структуры водопотребления на предприятиях транспортного машиностроения (вагоностроительных заводов) можно выделить следующие особенности:

- около 40 % от общего водопотребления завода на технологические нужды приходится на цех, обеспечивающий забор, подготовку и подачу воды различного качества, отведение и очистку сточных вод, а также осуществляющий обслуживание котельной, компрессорной станции и систем охлаждения оборотной воды, эксплуатацию тепловых сетей предприятия. К цехам со значительным водопотреблением также относятся литейные, окрасочные, кузнечные, а также цеха, осуществляющие гальванопокрытие, – суммарно около 50 %;

- на восполнение безвозвратных потерь расходуется около 50 % потребляемой свежей воды. Безвозвратные потери распределяются следующим образом: около 50 % – энергосиловой цех (эксплуатация систем водоснабжения, водоотведения и теплоснабжения, выработка пара), около 45 % – системы оборотного водоснабжения различных цехов.

На основании анализа проведенных исследований по изучению технологических процессов и составленного водохозяйственного баланса можно предложить следующие мероприятия по оптимизации использования и экономии ресурсов:

- повышение эффективности эксплуатации систем водоснабжения, водоотведения и теплоснабжения предприятия: своевременный ремонт и ревизии запорно-регулирующей арматуры, трубопроводов, сооружений на сетях, резервуаров;

- совершенствование технологических процессов для сокращения расходов воды на технологические нужды: внедрение новых ресурсосберегающих технологий, более совершенных процессов и аппаратов, т.к. сокращение потребления воды приведет к уменьшению затрат на электроэнергию, расходуемую на забор и перекачку воды;

- совершенствование схемы водопользования предприятия в целом: снижение потерь воды (возврат конденсата, меры по уменьшению испарения воды с открытых поверхностей), использование в качестве технической воды очищенных дождевых, производственных сточных вод, увеличение кратности использования воды;

- реконструкция централизованной системы оборотного водоснабжения: реконструкция гради-рен, установка водоуловителей, рассмотрение возможности создания локальных водооборотных циклов, обслуживающих отдельную установку, группу агрегатов или участок. Технологические водооборотные циклы предотвратят специфическое загрязнение производственных сточных вод предприятия, сократят затраты на их очистку;

- реконструкция очистных сооружений с целью повышения эффективности работы и снижения энергозатрат: очистка сточных вод для повторного, последовательного и многократного использования воды с учетом требуемого качества.



## НОРМИРОВАНИЕ РАСХОДА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ СПЕЦИАЛЬНОГО САМОХОДНОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Ю. Г. САМОДУМ, А. П. ДЕДИНКИН

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Железнодорожный транспорт Республики Беларусь является крупнейшим потребителем горюче-смазочных материалов, расходуемых на эксплуатацию подвижного состава и обеспечение вспомогательных нужд. Эксплуатационные материалы потребляют как тяговый подвижной состав, так и вспомогательный – специальная самоходная техника, предназначенная для содержания путевого, энергетического и других хозяйств Белорусской железной дороги (автомотрисы, дрезины, мотовозы, краны, путеукладчики).

В настоящее время учреждение образования «Белорусский государственный университет транспорта» является единственной аккредитованной на территории Республики Беларусь организацией, осуществляющей разработку норм расхода топлива на железнодорожный подвижной состав, машины, механизмы и оборудование. Использование обоснованных норм является одним из перспективных путей снижения расхода светлых нефтепродуктов при эксплуатации железнодорожного транспорта и предотвращение его хищения.

Наряду с нормами расхода светлых нефтепродуктов, линейные предприятия Белорусской железной дороги нуждаются в упорядочении механизма нормирования и других эксплуатационных материалов: смазочных, технических, охлаждающих жидкостей и т. д. Нормативная база в данной сфере неполная либо отсутствует, вследствие чего контролирующие органы часто налагают взыскания на ответственных работников предприятий за списание данных материально-технических ресурсов без норм.

Существующие в настоящее время «Инструкция о порядке применения норм расхода топлива для механических транспортных средств, машин, механизмов и оборудования» (утверждена постановлением Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь № 141 от 31.12.2008 г.) и «Сборник норм расхода топлива и смазочных материалов на автомобили, автотракторную технику, суда, машины, механизмы и оборудование» Республики Беларусь, непригодны к применению в условиях линейных предприятий Белорусской железной дороги. Нормы эксплуатационных материалов, приведенные в них, предназначены преимущественно для автомобильного транспорта и строительной техники.

За последние годы сотрудниками отдела экологической безопасности и энергосбережения на транспорте испытательного центра железнодорожного транспорта «СЕКО» Белорусского государственного университета транспорта (ИЦ ЖТ «СЕКО» БелГУТа) **разработаны удельные нормы расхода эксплуатационных материалов** для сотен единиц специального самоходного подвижного состава линейных предприятий Белорусской железной дороги (таблица 1). Определено, что, как и в случае с нормами расхода светлых нефтепродуктов, *эксплуатационные материалы и технические жидкости необходимо нормировать применительно к конкретным условиям работы предприятия или машины* (средний расход топлива, наработка в машино-часах за сезон, производительность машины и т. д.).

Разработка обоснованных норм расхода горюче-смазочных материалов, наряду с другими организационно-техническими мероприятиями (оборудование техники приборами учета количества израсходованного топлива и времени наработки, техническими средствами контроля режимов работы, материальное стимулирование персонала) позволяет значительно снизить затраты на эксплуатационные материалы для специального самоходного подвижного состава.

Таблица 1 – Нормы расхода смазочных материалов и технических жидкостей на добавление (освежение) при эксплуатации специального самоходного подвижного состава, г/100 л топлива

Машина	Масла						Смазки						Жидкость тосол
	моторное	трансмиссионное	гидравлическое	компрессорное	индустриальное	осевое	ЛЗ-ЦНИИ	ЖРО	циатим 201	солидол Ж (Литол 24)	графитная УСсА	канатная	
1 Автодрезина ДГКу	1431	118	–	89	250	13	–	24	78	68	7	37	52
2 Автодрезина грузовая дизельная АГД-1А	1424	366	356	95	–	13	–	32	4	100	10	–	52
3 Мотовоз погрузочно-транспортный МПТ-4	1398	141	–	82	230	14	5	40	50	96	14	49	52
4 Автомотриса служебная АС-10	1412	173	–	51	–	7	–	13	2	35	5	–	51
5 Путеремонтная летучка ПРЛ-4	2537	100	–	75	–	13	–	31	76	17	–	17	52
6 Снегоуборочная машина СМ-2	1924	748	–	37	–	–	–	34	380	292	185	–	51
7 Машина для смены шпал SVP-74	1062	90	1124	–	–	–	–	–	46	162	–	–	52
8 Выправочно-подбивочно-рихтовочная машина ВПРк-1200	1398	142	515	89	305	3	–	241	2163	3797	14	–	51
9 Путьевой моторный гайковерт ПМГ-1	1406	36	197	23	87	16	19	7	41	215	–	–	51

## **СЕРТИФИКАЦИЯ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА В РАМКАХ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ И ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

*И. П. СМОЛЯКОВА, К. В. БАРАНОВСКИЙ, В. В. МАКЕЕВ*  
*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Надежность и экологическая безопасность подвижного состава неотъемлемо связаны с соблюдением норм и правил пожарной безопасности. Правильно спроектированный и изготовленный по проектной документации подвижной состав должен быть оборудован системами обнаружения пожара и пожаротушения, соответствовать нормам безопасной эвакуации людей на случай возникновения пожара. С этой целью и проводятся испытания на соответствие подвижного состава нормам и требованиям, предъявляемым к нему, для транспортировки людей, вагонов специального назначения (вагон сопровождения, мобильные классы для обучения) и специализированной железнодорожной техники (СПЖС).

Любой подвижной состав должен быть оборудован установками пожарной сигнализации, способными обнаруживать и оповещать о признаках пожара в контролируемых помещениях. В системе пожарной сигнализации используются комбинированные и тепловые пожарные извещатели. Комбинированные пожарные извещатели, реагирующие на дымовые и тепловые признаки пожара, в вагоне должны быть установлены в каждом пассажирском купе, большом коридоре (не менее двух), купе проводников, служебном помещении, в пульте управления электрооборудованием вагона. Комбинированные и тепловые пожарные извещатели должны срабатывать при достижении в контролируемых помещениях определенных значений задымленности и температуры, и, следовательно, должны быть испытаны на срабатывание при достижении этих параметров. Это должно быть подтверждено протоколами испытаний или сертификатом соответствия. В котельном отделении и других помещениях с возможностью образования дыма или пара в процессе работы оборудования должны быть использованы только тепловые пожарные извещатели. Контролируемые помещения, количество, типы и пороги срабатывания пожарных извещателей, а также места и способы их размещения должны выбираться на стадии проектирования вагона и подтверждаться результатами испытаний на вагоне каждой модели.

Одним из важных параметров соответствия подвижного состава нормативным требованиям является расчет времени эвакуации пассажиров из вагона – параметр, который зависит от численности людей в салоне подвижного состава, количества выходов и соответственно эвакуационных потоков и эвакуационных участков. В свою очередь, параметры движения людского потока на участке зависят от населенности участка и ряда его геометрических параметров (ширины и длины участка пути). Исходя из количества участков производится расчет для наиболее опасного варианта развития пожара, характеризующегося наибольшим темпом нарастания опасных факторов пожара в рассматриваемом помещении. По итогу расчета полученные результаты времени эвакуации пассажиров сравниваются с необходимым для эвакуации и делается заключение на соответствие. Необходимое и расчетное время эвакуации пассажиров должны определяться для каждой модели пассажирского вагона в соответствии с требованиями ГОСТ 12.1.004. При этом расчетная вероятность воздействия ОФП на отдельного человека в год не должна превышать допустимую.

Важным фактором как с точки зрения экологической, так и пожарной безопасности является качество применяемых отделочных материалов. Неметаллические материалы, применяемые во внутреннем оборудовании пассажирских вагонов и СПЖС, в зависимости от их назначения должны иметь подтвержденные испытаниями и сертификатом соответствия показатели пожарной опасности: воспламеняемость, группу горючести, индекс распространения пламени, коэффициент дымообразования и показатель токсичности продуктов горения в соответствии с ГОСТ 12.1.044. Способность человека эвакуироваться из очага возгорания зависит от токсичности материалов и коэффициента дымообразования, то есть степени проявления вредного действия разнообразных химических соединений и их смесей на органы дыхательной системы.

Помимо того, при строительстве и ремонте подвижного состава должны устанавливаться перегородки из трудногорючих материалов и выбираться материалы с более безопасными показателями

по дымообразующей способности и токсичности. Материалы, применяемые во внутреннем оборудовании при строительстве и ремонтах, в зависимости от их назначения должны быть:

– негорючие для подшивки изоляции крыши, воздуховода вентиляционной установки, потолков, каркасов спальных полоков (диванов) и кресел;

– негорючие или трудногорючие для термоизоляции кузова, футляров аккумуляторов, перегородок, багажных полоков, мебели, обшивки стен и дверей, закладных деталей, обрешетки стен, обрешетки потолков и крыши, труб водоснабжения;

– трудногорючие и трудновоспламеняемые для гидроизоляции, диффузоров, компенсирующих вставок и звукоизолирующих элементов вентустановки, звукоизоляции потолков, теплоизоляции труб и баков водоснабжения и труб отопления;

– медленнораспространяющие пламя для облицовки потолков, занавесей, штор, обивки спальных полоков (диванов) и кресел, покрытия полов, облицовки поверхностей стен, перегородок, багажных полоков, мебели.

Независимо от назначения подвижной состав должен быть укомплектован огнетушителями, выбор типа и расчет необходимого количества которых следует определять в зависимости от их технических характеристик и класса возможного пожара. Допускается применение самосрабатывающих порошковых огнетушителей (ОСП), автоматическое срабатывание которых должно осуществляться при достижении в контролируемом отсеке температуры не выше  $(100 \pm 10)$  °С.

Соблюдение правил проектирования, строительства и эксплуатации железнодорожного подвижного состава приведет к созданию качественных, с соблюдением экологических требований транспортных машин и сооружений, безопасных для жизни и здоровья как пассажиров, так и работников железнодорожного транспорта.

УДК 620.169.2

## **ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЙ МЕТОД ИСПЫТАНИЙ СИСТЕМЫ АСФАЛЬТОБЕТОН / ШИНА**

*Е. А. ТЕМНИКОВ, М. А. ЛУТЧЕНКО*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Моделирование системы асфальтобетон/шина является необходимым для того, что бы иметь возможность прогнозировать работу и износ элементов в отдельности и при их взаимодействии. Существующие методы испытания данной системы можно представить как испытания одного из материалов, системы и натурные. Однако эти методы имеют ряд недостатков. Поэтому нами был предложен новый метод испытания системы асфальтобетон/шина, который имитирует работу системы асфальтобетон/шина при их контактном взаимодействии. Данный метод позволяет в короткие сроки получить данные, при анализе которых можно сделать вывод о работоспособности и прочности как отдельных элементов, так и системы в целом.

Этот метод весьма эффективен на этапе разработки нового материала для каждого элемента системы в отдельности, так как уже при рецептурном подборе может выявить недостатки материалов по прочностным характеристикам и износостойкости.

Был предложен также новый метод испытания системы асфальтобетон/шина и разработан специальный стенд для испытаний, принцип действия которого (рисунок 1) основан на работе контактной пары, в которой в качестве ведущего используется жесткий ролик с прорезиненной поверхностью (контртело), а в качестве ведомого – образец асфальтобетона (тело). Установка позволяет имитировать условия взаимодействия колеса автомобиля и дорожного покрытия как при торможении, так и при равномерном движении автомобиля на перегонах. Нагрузка образца была постоянной при всем времени эксперимента и равнялась среднему давлению колеса на поверхность дороги.

На основании представленной методики проведено испытание шинных резин. Результаты представлены на рисунке 2.

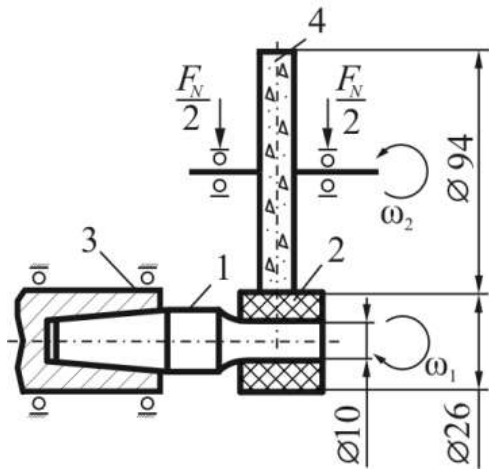


Рисунок 1 – Схема испытаний многоциклового нагружения при трении качении:

1 – образец из стали; 2 – контртело (резина); 3 – шпиндель;  
4 – тело (асфальтобетон)

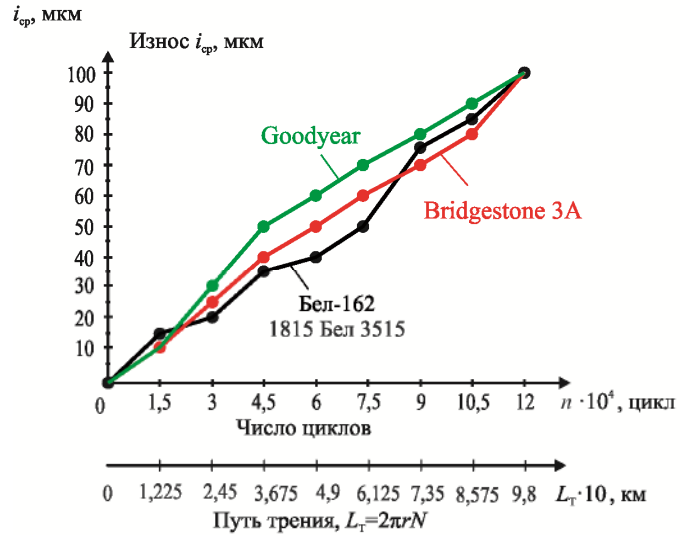


Рисунок 2 – Результаты сравнительных испытаний шинных резин

Согласно полученным данным можно сравнить резину, производимую ОАО «Белшина» и Bridgestone, Goodyear.

#### Список литературы

- 1 Темников, Е. А. Методы испытания системы «асфальтобетон/шина» / Е. А. Темников // Актуальные вопросы машиноведения : сб. науч. тр. Вып. 1. – Минск, 2012. – С. 279–281.
- 2 Сосновский, Л. А. Основы трибофатики : учеб. пособие / Л. А. Сосновский. Ч. I. – Гомель : БелГУТ, 2003. – 246 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

<i>Кулаженко Ю. И.</i> Приветствие участникам конференции .....	3
-----------------------------------------------------------------	---

### ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ

<i>Ван Яни.</i> Анализ аппаратуры фидерной защиты и настройки тяговой подстанции высокоскоростной железной дороги .....	4
<i>Luca Persia, Eleonora Meta, Davide Shingo Usami.</i> Road safety capacity building in Belarus through the development of road safety master courses .....	8
<i>Ерофеев А. А.</i> Комплексное управление ресурсами, рисками и надежностью на этапах жизненного цикла объектов железнодорожного транспорта .....	9

### 1 БЕЗОПАСНОСТЬ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

<i>Аксёничков А. А.</i> Автоматизированная система оценки пропускной способности инфраструктуры Белорусской железной дороги с элементами интеллектуальных компонентов .....	11
<i>Владимиров С. М.</i> Координированное управление дорожным движением для города Гомеля на проспекте Речицкий при помощи программного продукта TRANSYT .....	12
<i>Гизатуллина В. Г., Кушиеров Д. Н., Здановская Н. В.</i> Эффективная финансовая система в отрасли – залог безопасности функционирования железной дороги .....	14
<i>Глевицкий Г. В., Федорцов М. В., Ерофеев А. А., Кузнецов В. Г.</i> Развитие системы мониторинга при создании автоматизированной системы управления состоянием инфраструктуры железной дороги .....	15
<i>Головнич А. К.</i> Обеспечение безопасности транспортных объектов в условиях террористических угроз .....	17
<i>Доломанюк Р. Ю.</i> Система активной и пассивной безопасности .....	18
<i>Дорошко С. В.</i> Повышение безопасности при организации сортировочной работы на железнодорожных станциях .....	20
<i>Дугинов О. И.</i> Математическая постановка задачи определения эффективного контура безопасности железнодорожной станции .....	21
<i>Еловой И. А., Потылкин Е. Н.</i> Учет характеристик надежности при определении перерабатывающей способности мест погрузки, выгрузки .....	23
<i>Zalewski A., Kempa J.</i> Traffic safety aspects in solutions of traffic calming .....	24
<i>Зайчик В. С., Кебилов А. А., Перекрестова Н. М.</i> Классификация деятельности органа по сертификации при подтверждении соответствия железнодорожной продукции .....	25
<i>Зайчик В. С., Кебилов А. А., Роговенко М. А.</i> Процедура сертификации продукции для железнодорожного транспорта .....	26
<i>Зайчик В. С., Кебилов А. А., Свириденко К. В.</i> Особенности законодательства Евразийского экономического союза в области оценки соответствия железнодорожной продукции .....	28
<i>Зенкевич А. Г.</i> Компоненты психологического обеспечения персонала на железнодорожном транспорте .....	29
<i>Казаков Н. Н.</i> Тенденции, формирующие изменения системы обеспечения безопасности судоходства в Республике Беларусь .....	31
<i>Карасевич С. Н., Савичев А. А.</i> Управление доступом автомобилей к пешеходным пространствам .....	32
<i>Кишкун А. Н.</i> Сравнительный анализ требований к перевозкам опасных грузов в Евросоюзе и СНГ .....	33
<i>Козлов В. Г.</i> Оценка влияния динамики транспортной нагрузки на безопасность процесса формирования поездов .....	34
<i>Корниенко К. И.</i> Обеспечение безопасности движения отцепов при выпуске их на свободный путь .....	36
<i>Кузнецов В. Г., Захаров Д. В.</i> Об оценке информационной нагрузки поездного диспетчера .....	37
<i>Кулаженко Ю. И., Ерофеев А. А., Кузнецов В. Г.</i> Развитие системы государственного контроля безопасности транспортной деятельности на железнодорожном транспорте .....	38
<i>Липатова О. В., Маслюкова С. А., Шинкоренко Ю. А.</i> Оценка качества логистического обслуживания грузоперевозок в системе обеспечения экономической безопасности транспортных организаций .....	40
<i>Липатова О. В., Шатров С. Л., Киреня Е. А.</i> Оценка эффективности использования основных средств в системе обеспечения экономической безопасности железной дороги .....	41
<i>Лисогурский О. Н.</i> Организация технического нормирования работы железной дороги в современных экономических условиях .....	42
<i>Негрей В. Я., Бурченков В. В.</i> Адаптивные системы в управлении технологическими процессами сортировочных станций .....	44

<i>Негрей В. Я., Пожидаев С. А.</i> Научно-методическое обеспечение повышения безопасности и надежности работы сортировочных устройств .....	45
<i>Негрей В. Я., Шкурин К. М.</i> Оптимизация плана формирования одногруппных поездов .....	46
<i>Пасичный А. Н., Андрейко А. В.</i> Подход к вопросу предотвращения транспортных происшествий при перевозках пассажиров на основе человеко-машинного моделирования.....	48
<i>Пильгун Т. В., Михальченко А. А., Ходоскина О. А.</i> О формировании системы показателей потребительского качества транспортных услуг и ключевые показатели результативности в транспортной логистике.....	49
<i>Пожидаев С. А., Токаревская Н. В., Гамбицкий Р. И.</i> Повышение безопасности технологических процессов при механизированном закреплении составов в парках сортировочных станций .....	51
<i>Рязанцева Н. В., Измайлов К. Ф.</i> Система управления автомобильным транспортом на перекрестке .....	52
<i>Сидорович Ю. С.</i> Оценка энергоэффективности графика движения поездов на Белорусской железной дороге .....	54
<i>Страдомская А. А.</i> Автоматизация построения графиков оборота локомотивов грузового движения и расчета показателей работы локомотивного парка.....	55
<i>Страдомский М. Ю.</i> Оценка факторов и условий, влияющих на расчет норм закрепления подвижного состава на железнодорожных путях .....	56
<i>Сухов А. А.</i> Технологические требования к математической модели схемы размещения восстановительных средств на железных дорогах .....	58
<i>Терещенко Е. А.</i> Обеспечение безопасного и эффективного расформирования поездов на станциях при использовании секционированных путей сортировочных парков .....	59
<i>Терещенко О. А.</i> Оценка технологических рисков при автоматизированном оперативном планировании местной работы железнодорожных участков и узлов.....	60
<i>Федоров Е. А.</i> Процессно-объектная идентификация поездопотоков на полигоне инфраструктуры в условиях множества субъектов перевозочного процесса .....	61
<i>Филатов Е. А.</i> Обеспечение безопасности перевозочного процесса при проектировании элементов плана путевого развития железнодорожных станций .....	63
<i>Фроленкова Е. О., Митилов В. Н.</i> Логистика как инструмент повышения экономической безопасности производственно-сбытовой деятельности предприятия.....	64
<i>Чаганова О. С.</i> Сравнение вариантов транспортировки штучных грузов железнодорожным транспортом с использованием креплений разного типа.....	66
<i>Шатило С. Н., Дорошко С. В.</i> Подготовка будущих специалистов по охране труда и ее роль в обеспечении безопасности на транспорте.....	66
<i>Шатров С. Л., Жигалов В. Л., Кравец В. Я.</i> Оптимизация структуры недвижимого имущества как инструмент повышения экономической безопасности .....	68
<i>Шкандыбин Д. Н., Иванов-Толмачев И. А.</i> Обеспечение безопасности движения при высокоскоростных грузовых перевозках .....	69
<i>Шкурин К. М.</i> Влияние особенностей плана формирования поездов на их участковую скорость .....	70
<i>Шорец Т. В.</i> Бюджетирование как основной элемент обеспечения экономической безопасности на железнодорожном транспорте .....	71

## 2 БЕЗОПАСНОСТЬ И НАДЕЖНОСТЬ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

<i>Ананьева О. С.</i> Подтверждение расчетов моделирования движения подвижного состава метрополитена ....	73
<i>Аникеева М. В., Врублевская В. И.</i> Повышение работоспособности узлов трения роликового транспортера звеньев путеукладчика .....	74
<i>Антонов А. В.</i> Увеличение ресурса пар трения токосъема .....	75
<i>Архипенко А. А., Тихонович М. Г., Галай Э. И., Рудов П. К.</i> Срабатывание датчика состояния тормозной магистрали и определение разрыва грузового поезда .....	76
<i>Архутик И. И., Белозуб В. В.</i> Экспериментальная оценка вынужденных частот колебаний рамы и подвагонного оборудования вагона-цистерны.....	78
<i>Бондаренко В. В., Скурихин Д. И.</i> Акустический контроль колесных пар как составляющая интегрированной логистической поддержки жизненного цикла пассажирских вагонов.....	79
<i>Босый Д. А.</i> Разработка прямого метода расчета параметров режима систем тягового электроснабжения в случае стабилизации мощности несколькими нагрузками .....	80
<i>Брильков Г. Е., Дединкин А. П.</i> Нормирование труда и совершенствование организации технического обслуживания ТОО-2 дизель-поездов серии ДП-1, ДП-3 .....	81
<i>Брильков Г. Е., Дединкин А. П., Путьято А. В., Застольский М. С.</i> Оценка прочности колеса маневрового тепловоза ЧМЭЗ при движении в кривой малого радиуса.....	82
<i>Бугаева Е. В.</i> Оценка надежности и долговечности пассажирских вагонов.....	84
<i>Бурченков В. В., Боровская И. А.</i> Исследование методов регистрации влияния солнечного излучения на работу измерительных трактов аппаратуры КТСМ и разработка устройств для минимизации этого явления .....	86

<i>Бурченков В. В., Пономаренко М. А.</i> Совершенствование алгоритма для теплового контроля подвижного состава.....	87
<i>Волошин Д. И., Афанасенко И. Н., Деревянчук Я. В.</i> Усовершенствования элементов тормозной рычажной передачи специализированных грузовых вагонов.....	88
<i>Ворожун И. А.</i> Обеспечение безопасной перевозки металлопроката на автомобильном транспорте.....	89
<i>Галай Э. И., Рудов П. К., Галай Е. Э.</i> Исследование вспомогательного тормоза электровоза БКГ1.....	90
<i>Галай Э. И., Рудов П. К., Галай Е. Э.</i> Некоторые особенности тормозов грузовых вагонов в США.....	92
<i>Довгяло В. А.</i> Основные направления повышения работоспособности транспортно-технологических машин.....	93
<i>Довгяло В. А., Пупачев Д. С.</i> Проектирование быстроъемного соединительного устройства для одноковшового экскаватора.....	95
<i>Довгяло В. А., Таибаев В. А., Шебзухов Ю. А.</i> Универсальная путевая машина на базе трактора Т-150 на комбинированном ходу.....	96
<i>Довгяло В. А., Шебзухов Ю. А., Таибаев В. А.</i> Моделирование взаимодействия рабочих органов дорожных машин с асфальтобетонным покрытием.....	97
<i>Ищенко В. Н., Осмак В. Е., Щербина Ю. В.</i> Исследование функционирования гидравлического амортизатора при появлении износов фрикционной пары.....	98
<i>Казаков Н. Н.</i> Влияние способов обновления флота на безопасность судоходства в условиях развития водного транспорта.....	100
<i>Капица М. И.</i> Применение альтернативных видов тяги при выполнении маневровой работы на предприятиях железнодорожного транспорта.....	101
<i>Каплюк И. И.</i> Конечноеэлементное моделирование взаимодействия токосъемника локомотива с контактным проводом.....	102
<i>Кебал И. Ю., Мямлин С. С.</i> Модернизация подвижного состава для перевозки электромобилей железнодорожным транспортом.....	103
<i>Кельрих М. Б., Брайковская Н. С., Кочешкова Н. С.</i> Оценка эффективности защитного оборудования цистерн для транспортировки газов.....	104
<i>Кобищанов В. В., Антипин Д. Я., Мануева М. В., Ионкина А. Д.</i> Оценка динамической нагруженности вагона-платформы для контрейлерных перевозок.....	105
<i>Колясов К. М., Лапшин В. Ф., Намятов А. В.</i> Обеспечение сохранности и термической безопасности подвижного состава для перевозки горячих металлургических заготовок.....	107
<i>Коновалов Е. Н., Путьято А. В.</i> Компьютерная программа «Ресурс несущей конструкции грузового вагона».....	108
<i>Коришунов С. Д., Каблукова Е. А., Кузнецов С. А., Гончаров Д. И.</i> Испытания и оценка нормативных показателей служебно-технических вагонов пассажирского типа.....	109
<i>Коришунов С. Д., Щеглов А. С., Удельнов А. Г., Рубейкин О. Б., Красивов Д. В.</i> Экспериментальные исследования прочности кузовов вагонов метрополитена.....	111
<i>Куземкин Д. М., Довгяло В. А.</i> Компьютерное моделирование динамической нагруженности конвейера.....	113
<i>Кулаженко Ю. И., Сенько В. И., Макеев С. В., Комиссаров В. В., Сазонов В. А.</i> Влияние методов схематизации процесса нагруженности при определении характеристик сопротивления усталости подвижного состава.....	114
<i>Лазарев Н. А., Врублевская В. И.</i> Применение современных технологий для измерения натяга внутренних колец подшипников колесной пары подвижного состава.....	115
<i>Ловская А. А.</i> Особенности математического моделирования динамической нагруженности несущих конструкций контейнеров, размещенных на вагонах-платформах при эксплуатационных режимах нагружения.....	116
<i>Лодня В. А., Стальмаков В. А.</i> Создание силового агрегата для привода средств малой механизации с использованием технологий CAD/CAM моделирования.....	117
<i>Макеев В. В., Макеев С. В.</i> Сравнительный анализ запрессовки колесных пар по европейским нормам и стандартам, действующим на территории Таможенного союза.....	119
<i>Макеев С. В., Буйленков П. М.</i> Обоснование конечно-элементной модели танк-контейнера Т11 при проведении прочностных расчетов на действие ударной нагрузки.....	120
<i>Макеев С. В., Железняков А. А.</i> Реализация метода ударных испытаний и построение силовой характеристики поглощающих аппаратов грузовых вагонов в ИЦ ЖТ «СЕКО».....	121
<i>Марковник А. С.</i> Повышение надежности передачи аварийных сигналов о техническом состоянии подвижного состава.....	123
<i>Мартынов И. Э., Перешивайлов С. В.</i> Измерение толщины смазочного слоя в подшипниках буксовых узлов вагонов.....	124
<i>Мартынов И. Э., Труфанова А. В.</i> К вопросу совершенствования методов расчета элементов вагонных конструкций.....	125
<i>Мартынов И. Э., Труфанова А. В., Шовкун В. О.</i> Оценка динамических показателей вагона полученных с использованием модели «вагон – железнодорожный путь».....	126



<i>Марченко Д. М.</i> Создание компьютерной модели полувагона в инженерном пакете MSC ADAMS .....	127
<i>Маслиев В. Г.</i> Разработка и исследование упругого привода колес первого класса с моторно-осевыми подшипниками качения для локомотивов .....	128
<i>Мейстер А. О., Юнневский М. А.</i> Конструктивные особенности огнезадерживающих (противопожарных) преград пассажирских вагонов и моторвагонного подвижного состава.....	130
<i>Никифоров Д. А., Скачков А. Н.</i> Отработка методики определения первого тона собственной частоты при испытаниях кузова вагона модели 61-4514.....	132
<i>Ольшевский А. А., Иншакова С. В.</i> Моделирование соударений больших сцепов на сортировочных горках .....	133
<i>Пигунов А. В., Буйленков П. М., Афанасьев П. М.</i> Нагруженность торцевых стен вагонов для перевозки сыпучих грузов при ударных взаимодействиях .....	135
<i>Пигунов А. В., Буйленков П. М.</i> Конструкция рамы танк-контейнера в соответствии с современными нормативными требованиями .....	137
<i>Пигунов А. В., Чернин И. Л., Пигунов В. В., Буйленков П. М.</i> Прочность торцевой стены полувагона в соответствии с новыми нормативными требованиями .....	137
<i>Попов В. Б.</i> Методика анализа нагружения двигателя стэнда, имитирующего работу подъемно-навесного устройства универсального энергетического средства .....	138
<i>Попова М. А., Галась В. Ю., Попов А. Н.</i> Влияние углеродного покрытия на работоспособность уплотнительных О-образных колец гидросистем на транспорте .....	140
<i>Пуначев Д. С.</i> Устройства безопасности в конструкциях быстросъемных соединительных устройств экскаваторов.....	142
<i>Равлюк В. Г.</i> Использование расчетно-графического метода для исследований явления неравномерного износа тормозных колодок грузовых вагонов .....	143
<i>Разон В. Ф., Лукашевич И. М.</i> К вопросу о совершенствовании текущего безотцепочного ремонта грузовых вагонов в парке отправления станции Минск-Сортировочный .....	144
<i>Саблин О. И., Босый Д. А.</i> Выбор рациональных энергообменных режимов работы накопителей энергии в системах тягового электроснабжения .....	145
<i>Самошкин С. Л., Макаров А. Н., Семенов П. Ю.</i> Привод вагонного генератора от торца оси колесной пары повышенной мощности для пассажирских вагонов .....	146
<i>Сенько В. И., Головнич А. К., Макеев С. В.</i> Автоматизация процесса сбора и обработки данных испытаний подвижного состава .....	148
<i>Сенько В. И., Головнич А. К., Макеев С. В.</i> Интенсификация работы стэнда ударных испытаний подвижного состава .....	149
<i>Сенько В. И., Гурский Е. П.</i> О безопасности движения на гарантийных участках железной дороги при обслуживании вагонов на пунктах технического обслуживания .....	150
<i>Сенько В. И., Гурский Е. П.</i> О планировании мощности вагоноремонтной базы .....	152
<i>Сенько В. И., Макеев С. В., Буйленков П. М.</i> Методические основы расчета танк-контейнеров с учетом реальных условий нагружения в эксплуатации.....	154
<i>Сенько В. И., Макеев С. В., Комиссаров В. В., Лю Пин, У Сяолу.</i> Особенности сертификационных испытаний зубчатых колес подвижного состава .....	156
<i>Скачков А. Н., Дементьев С. А., Дементьев И. А., Самошкин С. Л.</i> Перспективный метод исследования параметров изгибных колебаний кузовов пассажирских вагонов.....	157
<i>Скачков А. Н., Самошкин С. Л., Дементьев С. А.</i> Анализ методов экспериментального определения параметров изгибных колебаний кузовов пассажирских вагонов .....	159
<i>Соколовский А. И., Онучин Е. В., Путьто А. В.</i> Оценка влияния продольного смещения сыпучего груза на показатели динамики полувагона .....	160
<i>Сорокина Е. В., Гурьянов К. П.</i> Особенности контроля сварных соединений железнодорожного подвижного состава .....	162
<i>Суханова О. А.</i> Моделирование работы дисковых тормозов в среде пакета ANSYS/LS-DYNA .....	163
<i>Тайбаев В. А., Максимчук К. В., Селюжицкий Д. Ю.</i> Расширение технологических возможностей пневмоколесных транспортных средств за счет установки комбинированного хода .....	164
<i>Тайбаев В. А., Селюжицкий Д. Ю., Максимчук К. В.</i> Особенности моделирования червячного редуктора комбинированного пневморельсового хода в среде INVENTOR .....	166
<i>Филатов Е. А.</i> Требования к параметрам подвижного состава и плана железнодорожных станций .....	166
<i>Фомин А. В., Ковальчук Г. А., Фомин В. В., Коваленко В. В.</i> Создание имитационно-расчетной компьютерной модели базовой конструкции полувагонов .....	168
<i>Френкель С. Я., Володько В. В.</i> Некоторые результаты оценки качества нормирования расхода энергоресурсов на тягу поездов.....	170
<i>Френкель С. Я., Володько В. В.</i> Совершенствование нормирования расхода энергоресурсов на тягу поездов.....	172
<i>Чернин И. Л., Путьто О. В., Путьто А. В.</i> Моделирование прочности соединений с гарантированным натягом элементов колесной пары вагона при изменении макрогеометрии сопрягаемых поверхностей .....	174

<i>Чернин Р. И., Моисейчикова О. М.</i> Оценка прочности посадки внутренних колец буксовых подшипников на шейки осей колесных пар вагонов.....	175
<i>Шатило С. Н.</i> Обеспечение пожарной безопасности железнодорожного подвижного состава .....	176
<i>Шорохов С. Г., Антипин Д. Я., Бондаренко О. И.</i> Прогнозирование травмирования пассажиров при опрокидывании вагона на боковую стену.....	178

### **3 НАДЕЖНОСТЬ И БЕЗОПАСНОСТЬ СИСТЕМ АВТОМАТИКИ, ТЕЛЕМЕХАНИКИ И СВЯЗИ**

<i>Атаев А. М.</i> Влияние теплового режима на надежность и параметры систем автоматики железнодорожного транспорта.....	180
<i>Бочков К. А., Комнатный Д. В.</i> Экономическая оценка эффективности мероприятий по обеспечению электромагнитной совместимости.....	182
<i>Бочков К. А., Харлап С. Н., Сивко Б. В.</i> Автоматизация метода обнаружения отказов на основе доступности адресных данных .....	183
<i>Буй П. М., Кульгавик С. Г.</i> Оценка безопасности объектов информатизации Белорусской железной дороги	184
<i>Земский Д. Р.</i> Электромагнитная совместимость линий ДПП с потребителями электроэнергии на дорогах переменного тока .....	186
<i>Ивашевский М. Р., Яцкинский Н. В., Мягков Я. Ю.</i> Оценка качества передачи сигналов систем интеллектуального видеонаблюдения .....	187
<i>Казаков А. С.</i> Проблемы помехозащищенности микропроцессорных систем железнодорожной автоматики и телемеханики при воздействии сверхширокополосных импульсов помех .....	188
<i>Коврига А. Н., Бочков К. А.</i> Современное состояние систем электрической централизации и перспективы их совершенствования .....	189
<i>Комнатный Д. В.</i> Применение сигналов с большой базой в тональных рельсовых цепях.....	191
<i>Комнатный Д. В.</i> Электромагнитные процессы при ударе молнии в рельсовую цепь .....	192
<i>Кустов В. Ф.</i> Особенности оценки функциональной безопасности микропроцессорных систем железнодорожной автоматики на этапах разработки и эксплуатации .....	193
<i>Леушин В. Б., Ахмадуллин Р. Ф.</i> Повышение надежности каналов с рельсовыми и индуктивно-рельсовыми линиями в условиях действия помех от тягового тока .....	195
<i>Пракопенко Д. В.</i> Модернизация комплекса имитационных испытаний безопасности.....	197
<i>Рубаник П. П.</i> Сравнительный анализ современных систем управления движением поездов с применением цифрового радиоканала и спутниковых технологий .....	198
<i>Сивко Б. В.</i> Автоматизация процесса оценки степени диверситета аппаратно-программных комплексов ....	199
<i>Сытько С. В.</i> Преимущество внедрения спутниковой навигации в систему управления движением поездов.....	200
<i>Табунчиков А. К., Барышев Ю. А., Якимов С. М.</i> Новые принципы и направления работ по повышению помехоустойчивости АЛСН .....	201
<i>Тимошенко А. В.</i> Сравнительный анализ цифровых систем радиосвязи для использования в качестве резервного канала управления движением поездов .....	202
<i>Шаманов В. И.</i> Причины изменения интенсивности сбоев в работе автоматической локомотивной сигнализации.....	204
<i>Шевченко Д. Н., Бергин Д. А.</i> Нормирование труда при техническом обслуживании бесконтактной аппаратуры СЦБ.....	205
<i>Шевченко Д. Н., Кравченко И. Н.</i> Нормирование количества аппаратуры СЦБ в эксплуатационном запасе ..	206
<i>Шевчук В. Г., Аскерко В. Ю., Гарцев А. М.</i> Выбор баз данных для белорусского интернет-портала TUT.BY	207
<i>Шевчук В. Г., Соловьев Р. А., Фищенко А. А., Гуллаков Г. А.</i> Исследование уровня радиопомех на участке железной дороги на частоте поездной радиосвязи.....	208
<i>Черкасов К. Э.</i> Применение систем поддержки принятия решений для повышения безопасности движения поездов .....	210

### **4 ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ТРАНСПОРТА**

<i>Алаев М. М., Каширцева Т. И.</i> Обеспечение экологической безопасности крупных городов за счет внедрения новых технологий работы с ТКО.....	211
<i>Балабин В. Н., Васильев В. Н., Некрасов Г. И.</i> Регулирование производительности водяных насосов дизелей тепловозов .....	212
<i>Белюсова Г. Н., Авчинникова Ю. А., Давидович А. Е.</i> Обеспечение экологической безопасности водоемов Республики Беларусь при совершенствовании очистки сточных вод.....	214
<i>Белюсова Г. Н., Науменко Е. И.</i> Оценка энергетической эффективности тепловых насосов в дипломном проектировании .....	215

<i>Грищенко С. Г.</i> Механическая прочность токосъёмных вставок токоприемников скоростных электропоездов .....	216
<i>Децук В. С., Колдаева С. Н.</i> Метод конденсации для улавливания газов из газовой смеси .....	218
<i>Евдасев И. С., Дробов А. В., Галушко В. Н., Демидович И. С.</i> Анализ результатов моделирования системы электроснабжения нетяговых потребителей железнодорожного транспорта .....	219
<i>Евдасев И. С., Дробов А. В., Куропаткин Е. В., Галушко В. Н.</i> Программа расчета параметров надежности .....	221
<i>Евдасев И. С., Черкас Ю. О.</i> Выбор энергоэффективных светильников для освещения пассажирских платформ .....	222
<i>Ивлев В. А., Ивлева Т. В.</i> Электромагнитное влияние на отключенные воздушные линии питания тяговых подстанций .....	224
<i>Карасевич С. Н., Аземша С. А.</i> Планирование развития велотранспортной инфраструктуры в городах Республики Беларусь .....	225
<i>Кейзер А. П., Жидкова Е. А., Шкурин К. М., Федченко Е. В.</i> Автоматизированный анализ потребления топлива и электроэнергии на тягу поездов с использованием современных математических методов теории оптимального управления.....	226
<i>Кейзер А. П., Жидкова Е. А., Шкурин К. М., Федченко Е. В.</i> Оперативный энергоэффективный график движения поездов и его реализация в универсальной микропроцессорной системе автоведения.....	227
<i>Кирик Н. В., Чиграй Г. В.</i> Лубрификация – один из аспектов снижения энергоёмкости перевозочного процесса .....	229
<i>Кирик Н. В., Чиграй Г. В.</i> Техно-экономическая модель влияния лубрикации на энергоёмкость перевозочного процесса .....	230
<i>Колдаева С. Н.</i> Конструктивные приемы повышения тепловой устойчивости зданий при реконструкции производственного фонда предприятий транспорта.....	231
<i>Королёнок Т. С., Гуринович В. И.</i> Аварийное электроснабжение потребителей в нештатной ситуации .....	232
<i>Масловская М. А.</i> Электрическая тяга – путь к энерго- и ресурсосбережению .....	233
<i>Мельников А. А., Грузинова В. Л., Новикова О. К.</i> Автоматизированное проектирование магистральных нефтепроводов.....	234
<i>Мельникова Е. Н., Сафонов П. В., Свириденко М. А., Сухоцкая С. А.</i> Методическое обеспечение безопасности рабочих мест при производстве высокооктановых бензинов .....	236
<i>Неверов А. С., Приходько И. В., Блинец Д. А.</i> Экологические аспекты комплексного рециклинга отработанного пластичного смазочного материала предприятий железнодорожного транспорта .....	237
<i>Новикова О. К., Грузинова В. Л., Прищепов А. О.</i> Оценка качественного состава поверхностных сточных вод с железнодорожных путей.....	238
<i>Овчинников В. М., Андрейчиков М. В.</i> Автономный электролокомотив .....	240
<i>Овчинников В. М., Макеев В. В.</i> Работы по исследованию энергетической, экологической безопасности и охраны труда на предприятиях Белорусской железной дороги.....	241
<i>Огорокова Н. С., Пушкин К. В., Севрук С. Д., Фармаковская А. А.</i> Экологически безопасная комбинированная энергоустановка на основе воздушно-алюминиевого электрохимического генератора для электрических автотранспортных средств.....	242
<i>Петухов С. А., Муратов А. В., Курманова Л. С.</i> Мероприятия по повышению экологической безопасности тепловозов .....	243
<i>Попов Д. В., Горелая О. Н.</i> Проблемы обеспечения соблюдения нормативных требований очистки сточных вод нефтеперерабатывающих предприятий.....	245
<i>Пшеничных Ю. А.</i> Нелинейная математическая модель теплового процесса во фрикционных элементах тормозов .....	246
<i>Ратникова А. М.</i> Энергосберегающие мероприятия в водном хозяйстве предприятий транспортного машиностроения .....	248
<i>Самодум Ю. Г., Дединкин А. П.</i> Нормирование расхода эксплуатационных материалов для специального самоходного подвижного состава.....	249
<i>Смолякова И. П., Барановский К. В., Макеев В. В.</i> Сертификация подвижного состава в рамках экологической и пожарной безопасности. ....	251
<i>Темников Е. А., Лутченко М. А.</i> Энергоэффективный метод испытаний системы асфальтобетон/шина.....	252

Научно-практическое издание

**ПРОБЛЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ НА ТРАНСПОРТЕ**

Материалы VIII Международной научно-практической конференции,  
посвященной Году науки

Часть 1

Издается в авторской редакции

Технический редактор *В. Н. Кучерова*  
Корректоры: *И. И. Эвентов, А. А. Павлюченкова*  
Компьютерная верстка – *Т. А. Пугач, М. А. Килощицкая*

Подписано в печать 16.11.2017 г. Формат 60x84 1/8.  
Бумага офсетная. Гарнитура Times New Roman. Печать на ризографе.  
Усл. печ. л. 30,23. Уч.-изд. л. 26,15. Тираж 150 экз.  
Зак. №. 3922. Изд. № 53.

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.  
Ул. Кирова, 34, 246653, Гомель

ISBN 978-985-554-694-9

