

ВЕСТНИК
Белорусского
Государственного
Университета
Транспорта

Научно-практический журнал

НАУКА
и ТРАНСПОРТ

№ 2(49)/2024

«ВЕСТНИК БелГУТа: НАУКА И ТРАНСПОРТ»

Научно-практический журнал № 2 (49) 2024 года

Издается с апреля 2000 года

Выходит один раз в полугодие

Учре д и т е л и:

Учреждение образования «Белорусский государственный университет транспорта»
Министерство транспорта и коммуникаций Республики Беларусь

Главный редактор *Ю. Г. САМОДУМ*

Заместители главного редактора: *А. А. ЕРОФЕЕВ, А. О. ШИМАНОВСКИЙ*

Редакционная коллегия:

*В. Е. ВЕРЕНИЧ, А. В. ПУТЯТО, Ю. М. ПЛЕСКАЧЕВСКИЙ,
В. Я. НЕГРЕЙ, К. А. БОЧКОВ, Ю. О. ПАЗОЙСКИЙ, Э. И. СТАРОВОЙТОВ, О. Н. ЧИСЛОВ*

Ответственный секретарь *Т. А. ВЛАСЮК*

Адрес редакции: ул. Кирова, 34, 246653, г. Гомель, Республика Беларусь
Телефон (факс) (0232) 31-59-48

Свидетельство о государственной регистрации средства массовой информации № 1247 от 08.02.2010,
выданное Министерством информации Республики Беларусь

На белорусском и русском языках

СОДЕРЖАНИЕ

АВТОМАТИКА, ТЕЛЕМЕХАНИКА И СВЯЗЬ

Бочков К. А., Розенберг Е. Н., Харлап С. Н. Анализ возможных рисков при испытаниях на ЭМС систем обеспечения безопасности движения поездов	4
Бурченков В. В. Автоматическое тестирование периферийных средств диагностики на основе методологии массового обслуживания.....	11
Галушко В. Н., Громыко И. Л., Мирош Д. В. Прибор обнаружения межвитковых замыканий	14
Медведев Д. Д. Методы расчета контрольного режима перегонных тональных рельсовых цепей.....	17
Шкороедов Д. В., Черноус Д. А. Вариант расчета силовой нагруженности двухтягового кронштейна ЛЭП.....	24

АВТОМОБИЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ

Аземша С. А. Обоснование параметров и эффективности координированного регулирования на ул. Кирова г. Гомеля	27
Аземша С. А. Оценка влияния искусственных неровностей на экономические потери в дорожном движении.....	32
Михальченко А. А. Особенности логистики пассажирских перевозок в условиях ограничений и санкций	36

ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС

Поддубный А. А., Печенев Е. В., Демидович И. С. Перспективы применения штурмовых быстровозводимых малогабаритных мостов рулонного типа.....	42
Романенко В. В. Инновационные меры по снижению расходов на содержание стрелочных переводов	46
Романенко В. В., Капитонок А. Б. Оптимизация содержания криволинейных участков пути, измерение и анализ параметров.....	49

ПОДВИЖНОЙ СОСТАВ

Чернин Р. И., Шкороедов Д. В. Оценка влияния эксплуатационных факторов на прочность тепловой напрессовки лабиринтного кольца буксового узла на предподступичную часть оси колёсной пары.....	52
--	----

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА

Васильев А. А., Ткачева М. И., Агеева К. Э. Определение расчетного содержания цемента бетонов классов по прочности на сжатие $C^{12}/_{15}-C^{50}/_{60}$	56
Петрачков С. А. Подходы к математическому моделированию динамики грузов, перевозимых на открытом подвижном составе	60
Килочицкая М. А. Разработка системы планирования комплексного транспортного обслуживания пассажиров.....	63

АВТОМАТИКА, ТЕЛЕМЕХАНИКА И СВЯЗЬ

УДК 621.38:656.25

К. А. БОЧКОВ, доктор технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель, Е. Н. РОЗЕНБЕРГ, доктор технических наук, АО «Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте», г. Москва, С. Н. ХАРЛАП, кандидат технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНЫХ РИСКОВ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ НА ЭМС СИСТЕМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ

Рассматриваются особенности проведения сертификационных испытаний на электромагнитную совместимость микроэлектронных систем железнодорожной автоматики и телемеханики с целью подтверждения их соответствия требованиям технических регламентов Таможенного союза и связанных с ними межгосударственных стандартов. Особое внимание уделяется взаимосвязи проведения испытаний на ЭМС с требованиями по обеспечению функциональной безопасности движения поездов. Показано, что испытания на ЭМС микроэлектронных систем железнодорожной автоматики и телемеханики по типовым методикам без учета требований по функциональной безопасности может приводить к значительным рискам нарушения требований по обеспечению безопасности движения поездов. Выполнена оценка таких рисков и предложены мероприятия по их снижению.

Микроэлектронные системы железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ) в первую очередь выполняют функции по обеспечению безопасности движения поездов и только во вторую очередь функции по своевременной доставке грузов и пассажиров. В соответствии с действующими нормативными документами современные микроэлектронные системы (ЖАТ) подлежат обязательному подтверждению соответствия требованиям безопасности в форме сертификации. Порядок сертификации, а также объем проводимых испытаний определен техническими регламентами Таможенного союза ТР ТС 002/2011 «О безопасности высокоскоростного железнодорожного транспорта» и ТР ТС 003/2011 «О безопасности инфраструктуры железнодорожного транспорта» [1, 2], а также связанными с ними межгосударственными стандартами. Рассмотрим основные требования, которые должны быть учтены при подтверждении соответствия систем ЖАТ, в частности при проведении сертификационных испытаний на ЭМС.

Требования функциональной безопасности к системам ЖАТ. Функциональная безопасность (*functional safety*) – это часть общей безопасности системы управления, зависящая от правильности ее функционирования и обеспечивающая отсутствие неприемлемого риска для здоровья людей, их собственности или окружающей среды со своей стороны [3]. То есть система, отвечающая требованиям функциональной безопасности, не должна подвергать опасности здоровье и жизнь людей, приводить к значительным экономическим потерям и разрушению окружающей среды. В частности, для железнодорожного транспорта функциональная безопасность – это свойство объекта выполнять требуемые функции безопасности при всех предусмотренных условиях в течение заданного периода времени по ГОСТ 33358–2015 [4].

Основополагающим стандартом верхнего уровня в области функциональной безопасности стал ИЕС 61508 «Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связан-

ных с безопасностью». Он ранжирует системы, связанные с безопасностью, по уровню полноты безопасности (УПБ). Системы ЖАТ по данной классификации относятся к наивысшему четвертому уровню полноты безопасности УПБ4.

Стандарт ИЕС 61508 [3] предполагает наличие у безопасной системы двух разных неработоспособных состояний: защитное (безопасное) и опасное. Соответственно различают опасные и защитные отказы. Опасный отказ системы ЖАТ может привести к аварии или крушению поезда, если в этот момент времени сложится соответствующая поездная ситуация, а действия человека-оператора (машиниста, дежурного по станции и др.) не смогут предотвратить (парировать) последствия опасного отказа.

Исходя из этого отказ системы ЖАТ считается опасным, если нарушен критерий опасного отказа, даже если авария (крушение) при этом не произошла. Это позволяет рассматривать безопасность системы или отдельного её элемента как свойство объекта вне связи с ошибками человека или с движением поездов.

Вероятность возникновения аварии (крушения) при этом определяется выражением

$$Q_A = Q_{оп} Q_{пс} Q_{чo}, \quad (1)$$

где $Q_{оп}$ – вероятность опасного отказа системы ЖАТ; $Q_{пс}$ – вероятность существования аварийной поездной ситуации; $Q_{чo}$ – вероятность невыполнения человеком-оператором действий по предотвращению (парированию) аварии (крушения).

При этом критерии опасных отказов в обязательном порядке устанавливаются в соответствующих технических нормативных правовых актах (ТНПА) на каждый вид систем ЖАТ.

Требования технических регламентов Таможенного союза к микроэлектронным системам железнодорожной автоматики и телемеханики. Требования к системам ЖАТ в технических регламентах ТР ТС 002/2011 и ТР ТС 003/2011 идентичны, поэтому далее будем ссылаться только на положения технического регламента ТР ТС 003/2011.

Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 003/2011 «О безопасности инфраструктуры железнодорожного транспорта» (в редакции 2023 года) [2] определяет системы ЖАТ как «автоматизированные системы оперативного управления технологическими процессами, связанные с обеспечением безопасности движения и информационной безопасности». Он распространяется на инфраструктуру железнодорожного транспорта, включающую в себя железнодорожный путь, устройства электроснабжения и электросвязи, системы ЖАТ, а также станционные здания и сооружения. Эти элементы имеют разное влияние на безопасность движения поездов и соответственно разные требования по подтверждению соответствия. ТР ТС 003 предоставляет возможность *неприменения* или *частичного применения* стандартов, в том числе определяющих требования функциональной безопасности (ФБ) к конкретным объектам инфраструктуры.

В случае неприменения или частичного применения стандартов оценка соответствия осуществляется на основе анализа рисков [2, п. 37]. Технический регламент ТР ТС 003/2011 четко не определяет, кто должен выполнять такой анализ рисков и требуется ли его экспертиза в аккредитованных испытательных центрах или лабораториях (ИЦ). На практике эту оценку выполняет разработчик, экспертиза анализа рисков не выполняется.

Однако следует отметить, что для систем ЖАТ, непосредственно отвечающих за безопасность движения поездов, неприменение или частичное применение стандартов может привести к значительному увеличению рисков нарушения условий безопасности движения поездов. Поэтому авторы считают, что выполнять анализ рисков и принимать решения о допустимости неприменения или частичного применения стандартов должны только квалифицированные специалисты в области ФБ, владеющие информацией о критериях опасных отказов, режимах функционирования, способах и методах их имитации при проведении испытаний, т. е. ИЦ, аккредитованные в области функциональной безопасности систем железнодорожной автоматики и телемеханики.

Требования технических регламентов к методам проведения испытаний на ЭМС микроэлектронных систем ЖАТ. По требованиям технического регламента ТР ТС 003/2011 испытания систем ЖАТ на ЭМС должны проводиться в соответствии со стандартом ГОСТ 33436.4-1-2015 [5].

По требованиям этого стандарта испытания систем ЖАТ должны проводиться в режиме функционирования, предусмотренном в технической документации, *обеспечивающем наибольшую восприимчивость* к воздействию помехи конкретного вида (п. 5.1.6 ГОСТ 33436.4-1-2015 [5]). При проведении испытаний в соответствии с требованиями этого ГОСТ необходимо выбрать степени жесткости испытаний по каждому из видов электромагнитных помех, а по результатам воздействия определить критерий качества функционирования технических средств ЖАТ. При этом для систем, которые связаны с обеспечением безопасности движения поездов, в части функций (технических ха-

рактеристик), непосредственно влияющих на обеспечение безопасности, должен применяться «критерий качества функционирования А», который не допускает даже кратковременного прекращения выполнения функций. В таких режимах системы ЖАТ с наибольшей вероятностью могут перейти в опасное состояние при воздействии внешних факторов, а это при наличии опасной поездной ситуации может привести к крушениям и гибели людей и значительным потерям материальных ценностей.

Существующая практика аккредитации ИЦ учитывает преимущественно владение методами проведения испытаний. Знание же особенностей объекта испытаний в должной мере не проверяется. Усугубляется эта ситуация также высокой стоимостью некоторого испытательного оборудования (например, безэховых камер) и достаточно редкими испытаниями систем, связанных с обеспечением безопасности движения поездов, что затрудняет их окупаемость. Рентабельной эксплуатация такого оборудования является только в специализированных ИЦ, выполняющих массовые испытания на ЭМС устройств и систем, не связанных с безопасностью. Поэтому в настоящее время существует большое количество ИЦ, которые аккредитованы на проведение испытаний на ЭМС, но не аккредитованы при этом в области функциональной безопасности систем ЖАТ.

Однако ТР ТС 003 не учитывает особенностей систем ЖАТ, где типовые методики испытаний по ГОСТ 33436.4-1-2015 не конкретизируют наиболее неблагоприятные «режимы работы, в которых система наиболее чувствительна к внешним воздействиям», а также критерии качества функционирования. Корректно выполнить эти действия могут только квалифицированные специалисты в области ФБ систем ЖАТ. Поэтому проведение испытаний в ИЦ, не имеющих специалистов по ФБ, приводит к повышению рисков неверного выбора режимов, при которых проводятся испытания, неправильной классификации последствий и, как следствие, возможному негативному влиянию на достоверность результатов испытаний.

В результате предварительного анализа, выполненного в предыдущих разделах, выявлены риски, которые могут повлиять на достоверность результатов испытаний на ЭМС систем ЖАТ. В связи с этим выполняемым мероприятием по управлению рисками. В соответствии с ГОСТ 33433-2015 [6] основными элементами управления рисками являются идентификация рисков, оценка риска и обработка риска.

Идентификация рисков. Идентификация риска включает выявление и краткое описание опасностей, опасных событий, их потенциальных последствий и вероятностей (частот) возникновения. Любой ИЦ или лаборатория, аккредитованные на соответствие требованиям ГОСТ ISO/IEC 17025 [7] должны иметь систему управления рисками применительно к своей лабораторной деятельности (проведению испытаний, отбору образцов, калибровке). Поэтому рассматриваемая здесь процедура идентификации будет касаться только дополнительных рисков, связанных с учетом требований ФБ к системам ЖАТ при проведении испытаний на ЭМС.

При этом подразумевается, что система ЖАТ успешно прошла все необходимые испытания на ЭМС в аккредитованной лаборатории (центре) и может быть принята в эксплуатацию. Поэтому кроме рисков ИЦ при проведении испытаний имеет смысл рассмотреть также риски организации, которая будет эксплуатировать испытываемую систему ЖАТ (потребителя услуг).

К дополнительным опасностям в этом случае можно отнести:

- для ИЦ: выдачу положительного протокола испытаний на систему ЖАТ, которая фактически не соответствует требованиям по ЭМС, установленным нормативными документами;

- для эксплуатирующей организации:

- опасный сбой системы ЖАТ во время эксплуата-

ции под действием электромагнитной помехи, при котором не будет выполнена одна из функций безопасности;

- блокировку системы ЖАТ (переход в защитное состояние) под действием электромагнитной помехи, вызывающей снижение эффективности процесса перевозок (задержки поездов, снижение скоростей движения на участках и т. д.).

Причины возникновения и потенциальные последствия выявленных опасностей представлены в таблице 1. Опасности для ИЦ имеют идентификаторы O1.1–O1.6, а опасности для эксплуатирующей организации – O2.1–O2.2.

Следующим этапом анализа рисков является оценка вероятности (частоты) возникновения каждого опасного события (причины возникновения опасности), выявленного на стадии идентификации опасностей (таблица 1).

Таблица 1 – Идентификация опасностей

ID	Описание опасности	Причина	Последствия	
O1	O1.1	Некорректное исключение отдельных видов испытаний на ЭМС	Выдача ИЦ положительного протокола испытаний на систему ЖАТ, которая фактически не соответствует требованиям по ЭМС	
		Неточности в спецификации требований (техническом задании)		
		Недостаточная информация об объекте испытаний		
	O1.2	Неверный выбор испытательных воздействий		Неточности в спецификации требований (техническом задании)
	O1.3	Неверный выбор критериев качества функционирования		Неточности в спецификации требований (техническом задании)
		Недостаточная информация о функциях безопасности объекта испытаний		
O1.4	Некорректный или неполный выбор точек приложения испытательных воздействий (в тех случаях, когда стандарты допускают их выбор, например, при испытаниях на устойчивость к электростатическому разряду)	Недостаточная квалификация испытателей.		
		Недостаточная информация о структуре объекта испытаний, элементах и составных частях, выполняющих функции безопасности		
O1.5	Некорректный выбор режима функционирования, обеспечивающего наибольшую восприимчивость к воздействию помехи конкретного вида	Недостаточная информация о режимах работы объекта испытаний, в которых реализуются функции безопасности		
O1.6	Некорректное определение текущих критериев качества функционирования во время испытаний	Недостаточная информация о режимах работы объекта испытаний, в которых реализуются функции безопасности, и критериях опасных отказов		
O2	O2.1	Ввод в эксплуатацию системы ЖАТ, которая фактически не соответствует требованиям по ЭМС	1 Опасный сбой системы ЖАТ во время эксплуатации под действием электромагнитной помехи, при котором не будет выполнена одна из функций безопасности, что может привести к аварии или крушению. 2 Блокировка системы ЖАТ (переход в защитное состояние) под действием электромагнитной помехи, вызывающей снижение эффективности процесса перевозок (задержки поездов, снижение скоростей движения на участках и т. д.).	
	O2.2	Ввод в эксплуатацию системы ЖАТ, для которой реальная электромагнитная обстановка не соответствует нормам испытательных воздействий		Наличие положительного протокола испытаний на систему ЖАТ, в котором некорректно указаны нормы испытательных воздействий

Для оценки частот возникновения событий применяют три основных подхода (как по отдельности, так и совместно) [6]:

- а) использование имеющихся статистических данных (в т. ч. нормативных документов);
- б) получение частот происходящих событий на основе аналитических или имитационных методов;
- в) использование мнений экспертов.

На основании информации о частоте проведения испытаний на ЭМС систем ЖАТ в НИЛ «Безопасность и ЭМС технических средств» можно сделать вывод, что для систем ЖАТ в одном ИЦ среднем проводится 1–2 испытания в год, из них положительные и отрицательные результаты распределены равномерно. Все опасные события имеют в основе неучет требований функциональной безопасности при проведении испытаний на ЭМС.

Рассмотрим, какими компетенциями должны обладать испытатели для того, чтобы парировать последствия указанных опасных событий. Все причины возникновения таких событий можно свести к следующим группам.

1 Неточности в спецификации требований (техническом задании), заключающиеся в некорректном исключении отдельных видов испытаний на ЭМС, неверном выборе испытательных воздействий и критериев качества функционирования. Для парирования последствий необходимы следующие компетенции:

- знание требований нормативных документов в области ФБ для систем ЖАТ;
- знание критериев опасных отказов для данного вида систем ЖАТ;
- знание функций безопасности, которые выполняет система ЖАТ.

2 Некорректный или неполный выбор точек приложения испытательных воздействий (в тех случаях, когда стандарты допускают их выбор, например, при испытаниях на устойчивость к электростатическому разряду). Для парирования последствий необходимы следующие компетенции:

- знание структуры построения системы ЖАТ и того, какие блоки (модули) системы выполняют функции безопасности;
- знание условий эксплуатации системы, особенностей системы электроснабжения и технологии обслуживания;
- знание возможных конфигураций распределенной системы ЖАТ и их отличий от типового образца, поступившего на испытания.

3 Некорректный выбор режима функционирования, обеспечивающего наибольшую восприимчивость к воздействию помехи конкретного вида. Для парирования последствий необходимы следующие компетенции:

- знание технологии работы системы ЖАТ в различных режимах, как штатных, так и нештатных;
- знание функций безопасности, которые выполняет система ЖАТ;
- знание структуры построения системы ЖАТ и того, какие блоки (модули) системы выполняют функции безопасности;

– знание особенностей имитации технологических ситуаций на лабораторном макете, его ограничений, возможных способов определения состояний объекта испытаний, не ограничивающихся только стандартной индикацией, которой может быть недостаточно при имитации нештатных состояний.

4 Некорректное определение критериев качества функционирования технических средств ЖАТ. Для парирования последствий необходимы следующие компетенции:

- знание критериев опасных отказов для данного вида систем ЖАТ;
- знание функций безопасности, которые выполняет система ЖАТ;
- знание ограничений лабораторного макета и возможных способов определения состояний объекта испытаний, не ограничивающихся только стандартной индикацией, которой может быть недостаточно при имитации нештатных состояний.

Все указанные компетенции относятся к области функциональной безопасности систем ЖАТ, поэтому можно предположить, что для ИЦ, не имеющего специалистов с высокими компетенциями в данной области, каждое испытание, которое должно было привести к отрицательному результату, с высокой вероятностью будет приводить к опасным последствиям, т. е. частота потенциально опасных событий составляет одно событие в год. Для ИЦ, имеющих специалистов в области функциональной безопасности систем ЖАТ, частота опасных событий будет значительно ниже и может быть принята как маловероятное событие.

Полученные оценки частот возникновения событий соотносят с заданными уровнями частот. Оценку рисков выполним по двум направлениям: оценку рисков ИЦ и оценку рисков эксплуатирующей организации.

Оценка рисков ИЦ. Так как используемые уровни частот и последствий, их количество и характеристики определяет руководство организации в соответствии с предполагаемым применением [6], то для оценки риска ИЦ воспользуемся Инструкцией по управлению рисками и возможностями системы менеджмента качества ИЦ в соответствии с ГОСТ ISO/IEC 17025-2019 [7].

Типовые уровни частот, их качественная и количественная оценка в баллах (*O*) приведены в таблице 2. Типовые уровни последствий, их качественная и количественная оценка в баллах (*S*) приведены в таблице 3.

Таблица 2 – Вероятность проявления риска (*O*)

Характеристика вероятности проявления	Количество баллов
Очень высокая (событие может произойти в любое время)	5
Высокая (ожидаемая частота проявления не реже 1 раза в год)	4
Средняя (ожидаемая частота проявления не реже 1 раза в 2 года)	3
Низкая (ожидаемая частота проявления не реже 1 раз в 5 лет)	2
Очень низкая (маловероятное, ожидаемая частота проявления не реже 1 раз в 10 лет)	1

Таблица 3 – Степень влияния риска (S)

Характеристика степени влияния	Количество баллов	Тяжесть последствий
Очень слабое влияние на процесс	1	Практически незаметны
Слабое влияние	2	Приведут к некоторым неудобствам
Среднее влияние	3	Неприятны
Значительное влияние	4	Серьезны
Сильное влияние	5	Очень серьезны
Очень сильное влияние	6	Катастрофические

Оценка рисков осуществляется по формуле

$$R = SO, \quad (2)$$

где R – значение риска; S – степень влияния риска; O – вероятность проявления риска.

Каждому риску по рассчитанному значению балльной оценки присваивается категория согласно таблице 4.

Таблица 4 – Критерии рисков

Оценка риска в баллах	Категория риска	Характеристика категории риска
20–25	Критический (К)	Проявление риска приводит к невыполнению установленных требований. Необходимы действия по реагированию на риск с привлечением значительных ресурсов организации
10–19	Существенный (С)	Проявление риска приводит к отклонению от установленных требований. Необходимы действия по реагированию на риск с привлечением ресурсов ИЦ
1–9	Несущественный (Н)	Проявление риска приводит к проявлению единичных несоответствий установленным требованиям, не оказывающих влияния на осуществление деятельности ИЦ. Действия по реагированию на риск предпринимаются по решению начальника ИЦ

Исходя из данной методики риск выдачи ИЦ положительного протокола испытаний на систему ЖАТ, которая фактически не соответствует требованиям по ЭМС, будет равен:

1) для ИЦ, не имеющих специалистов в области функциональной безопасности систем ЖАТ:

- вероятность проявления риска $O = 4$ (высокая);
- степень влияния риска $S = 6$ (катастрофическая);
- величина риска

$$R_{\text{нфб}} = SO = 6 \cdot 4 = 24 \text{ (критический);}$$

2) для ИЦ, имеющих специалистов в области функциональной безопасности систем ЖАТ:

– вероятность проявления риска $O = 1$ (очень низкая);

- степень влияния риска $S = 6$ (катастрофическая);
- величина риска

$$R_{\text{нфб}} = SO = 6 \cdot 1 = 6 \text{ (несущественный).}$$

Таким образом, риски для ИЦ, не имеющих специалистов в области функциональной безопасности систем ЖАТ, являются критическими, и требуется дальнейшая обработка рисков, которая включает:

- выбор одного или нескольких вариантов мероприятий по обработке риска;
- планирование проведения мероприятий по обработке риска;
- проведение мероприятий по обработке риска [6].

Оценка рисков эксплуатирующей организации.

Для оценки рисков эксплуатирующей организации воспользуемся методикой из [6]. Результаты идентификации опасностей приведены в таблице 1. Типовые уровни частот из [6] приведены в таблице 5. Типовые уровни последствий приведены в таблице 6. Критерии риска приведены в таблице 7. Оценка риска выполняется в соответствии с таблицей 8.

Таблица 5 – Вероятность проявления риска (O)

Уровень	Описание
Частое	Постоянное наличие опасности
Вероятное	Ожидается частое возникновение события (не реже 1 раза в год)
Случайное	Ожидается неоднократное возникновение опасного события на протяжении жизненного цикла
Редкое	Есть вероятность того, что событие будет иногда возникать на протяжении жизненного цикла (не реже 1 раза за жизненный цикл, обычно 20 лет)
Крайне редкое	Можно предположить, что опасное событие может возникнуть в исключительном случае (реже 1 раза за жизненный цикл)
Маловероятное	Можно предположить, что опасное событие не возникнет на протяжении жизненного цикла

Исходя из данной методики риск опасного сбоя системы ЖАТ во время эксплуатации под действием электромагнитной помехи будет равен:

- вероятность проявления риска – вероятное;
- степень влияния риска – катастрофическая;
- величина риска – недопустимый.

Таблица 6 – Степень влияния риска (S)

Уровень	Описание
Незначительный	Легкий вред здоровью
Несущественный	Вред здоровью средней тяжести
Критический	Тяжкий вред здоровью до пяти человек
Катастрофический	Гибель одного человека или более

Таблица 7 – Критерии рисков

Категория риска	Характеристика категории риска
Недопустимый (НД)	Риск должен исключаться
Нежелательный (НЖ)	Риск должен быть снижен
Допустимый (Д)	Риск принимается при соответствующем мониторинге и контроле и при согласии руководства организации
Не принимаемый в расчет (НПР)	Риск принимается без согласия руководства организации

Таблица 8 – Матрица рисков

Уровень частоты	Степень влияния риска			
	Незначительный	Несущественный	Критический	Катастрофический
Частое	НЖ	НД	НД	НД
Вероятное	Д	НЖ	НД	НД
Случайное	Д	НЖ	НЖ	НД
Редкое	НПР	Д	НЖ	НЖ
Крайне редкое	НПР	НПР	Д	Д
Маловероятное	НПР	НПР	НПР	НПР

Таким образом, риски для эксплуатирующей организации являются недопустимыми, и требуется их обработка.

Обработка рисков. Мероприятия по обработке риска могут быть направлены:

- на полное исключение риска;
- уменьшение частоты (вероятности) появления опасного события;
- уменьшение последствий опасного события;
- передачу или распределение риска;
- сохранение риска и разработку планов устранения последствий [6].

В нашем случае наиболее эффективными будут мероприятия, направленные на уменьшение вероятности появления и уменьшение последствий опасного события.

Риски для ИЦ, не имеющих специалистов в области функциональной безопасности систем ЖАТ, могут быть снижены применением мероприятий, приведенных в таблице 9.

Таблица 9 – Мероприятия по снижению рисков ИЦ

Причины возникновения опасных событий	Мероприятия
Неточности в спецификации требований (техническом задании)	Контроль наличия согласования спецификации требований испытательным центром, аккредитованным по требованиям ФБ систем ЖАТ
Некорректный или неполный выбор точек приложения испытательных воздействий	1 Привлечение к проведению испытаний на ЭМС специалистов, выполнявших экспертизу системы по требованиям функциональной безопасности. 2 Наличие программы и методики испытаний (ПМИ) на ЭМС для конкретного образца (не использовать типовые методики), устанавливающей конкретные режимы функционирования и критерии качества функционирования. ПМИ должна быть разработана или согласована с ИЦ, аккредитованным по требованиям ФБ систем ЖАТ
Некорректный выбор режима функционирования, обеспечивающего наибольшую восприимчивость к воздействию помехи конкретного вида	
Некорректное определение критериев качества функционирования технических средств ЖАТ	

Риски для эксплуатирующей организации могут быть снижены применением следующих мероприятий:

- наличие у разработчика документов, подтверждающих разработку и постановку на производство системы ЖАТ в полном соответствии с требованиями стандарта ГОСТ 33477-2015 [8]. Стандарт устанавливает, что мероприятия по обеспечению безопасности должны выполняться на всех этапах жизненного цикла параллельно с разработкой систем, связанных с безопасностью. Это реализуется за счет привлечения к экспертизе и согласованию технической документации аккредитованных испытательных центров (лабораторий). Такой порядок позволяет минимизировать риски опасных систематических отказов, связанных с ошибками человека на всех этапах жизненного цикла в том числе и при испытаниях по подтверждению соответствия;

- наличие у разработчика экспертного заключения на документ «Доказательство безопасности», в котором явно указана полнота и корректность проведенных испытаний системы ЖАТ. Разработка и экспертиза данного документа предусмотрены ГОСТ 33477-2015.

Предложенные мероприятия позволят значительно снизить вероятность появления опасных событий, связанных с влиянием неучета требований функциональной безопасности на достоверность результатов при проведении испытаний на ЭМС микроэлектронных систем железнодорожной автоматики и телемеханики. С учетом рассмотренных выше факторов можно установить, что вероятность опасных событий после применения указанных мероприятий может быть снижена до значения «Маловероятно». Повторный анализ рисков в этом случае позволяет убедиться, что уровень остаточного риска снижен до значений «Несущественный» (для ИЦ) и «Не принимаемый в расчет» (для эксплуатирующей организации).

В качестве дополнительных мероприятий по снижению рисков можно также отметить необходимость внесения следующих изменений в действующие нормативные документы:

- в Перечень стандартов, в результате применения которых на добровольной основе обеспечивается соблюдение требований технических регламентов ТР ТС 002/2011 и ТР ТС 003/2011, необходимо добавить ГОСТ 33477-2015;

- в Перечень стандартов, содержащих правила и методы исследований (испытаний) и измерений, необходимые для применения и исполнения требований технических регламентов ТР ТС 002/2011 и ТР ТС 003/2011, установить применение ГОСТ 33436-1-2015 совместно со стандартами, определяющими требования по функциональной безопасности к системам ЖАТ;

- в ГОСТ 33436.4-1-2015 [5] в п. 5.1.6, определяющий, что «испытания систем ЖАТ проводят в режиме функционирования, обеспечивающем наибольшую восприимчивость к воздействию помехи конкретного вида», добавить наличие программы и методики испытаний, согласованной с испытательным центром (лабораторией), аккредитованной по требованиям функциональной безопасности, в которой должны быть определены эти режимы и критерии качества функционирования.

Выводы

Проведение испытаний на ЭМС систем ЖАТ в ИЦ, не имеющих квалифицированных специалистов в области функциональной безопасности, приводит к значительным рискам как для самого ИЦ, так и для организаций, эксплуатирующих такие системы. Для снижения этих рисков необходимо привлечение к испытаниям специалистов из ИЦ, аккредитованных на ФБ и выполнявших экспертизу технической документации этой системы ЖАТ на предыдущих этапах жизненного цикла в соответствии с ГОСТ 33477-2015 [8].

Список литературы

1 ТР ТС 002/2011. Технический регламент таможенного союза «О безопасности высокоскоростного железнодорожного транспорта» (в ред. Решения Совета Евразийской экономической комиссии от 14 сентября 2021 г. N 90). – Минск : БелГИСС, 2022. – 56 с.

2 ТР ТС 003/2011. Технический регламент таможенного союза «О безопасности инфраструктуры железнодорожного транспорта» (в ред. Решения Совета Евразийской экономической комиссии от 14 сентября 2021 г. N 90). – Минск : БелГИСС, 2022. – 38 с.

3 ГОСТ Р МЭК 61508-4-2012. Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью. Часть 4. Термины и определения. – М. : Стандартинформ, 2014. – 28 с.

4 ГОСТ 33358-2015. Безопасность функциональная. Системы управления и обеспечения безопасности движения поездов. Термины и определения. – Минск : БелГИСС, 2015. – 16 с.

5 ГОСТ 33436.4-1-2015. Совместимость технических средств электромагнитная. Системы и оборудование железнодорожного транспорта. Часть 4-1. Устройства и аппаратура железнодорожной автоматики и телемеханики. Требования и методы испытаний. – Минск : БелГИСС, 2015. – 19 с.

6 ГОСТ 33433-2015. Безопасность функциональная. Управление рисками на железнодорожном транспорте. – М. : Стандартинформ, 2016. – 36 с.

7 ГОСТ ISO/IEC 17025-2019. Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий. – М. : Стандартинформ, 2019. – 26 с.

8 ГОСТ 33477-2015. Система разработки и постановки продукции на производство. Технические средства железнодорожной инфраструктуры. Порядок разработки, постановки на производство и допуска к применению. – М. : Стандартинформ, 2015. – 45 с.

Получено 11.11.2024

K. A. Bochkov, E. N. Rosenberg, S. N. Kharlap. Analysis of possible risks in EMC tests train safety systems.

The article discusses the features of conducting certification tests for electromagnetic compatibility of microelectronic systems of railway automation and telemechanics in order to confirm their compliance with the requirements of technical regulations of the Customs Union and related interstate standards. Particular attention is paid to the relationship between EMC testing and the requirements for ensuring the functional safety of train traffic. It is shown that EMC testing of microelectronic compressed vehicles using standard methods without taking into account functional safety requirements can lead to significant risks of violating the requirements for ensuring the safety of train traffic. An assessment of such risks was carried out and measures to reduce them were proposed.

УДК 627.42.07.:00458.5

В. В. БУРЧЕНКОВ, кандидат технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

АВТОМАТИЧЕСКОЕ ТЕСТИРОВАНИЕ ПЕРИФЕРИЙНЫХ СРЕДСТВ ДИАГНОСТИКИ НА ОСНОВЕ МЕТОДОЛОГИИ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

Рассмотрены вопросы использования системы массового обслуживания для автоматической оценки качества работы периферийных устройств информационно-измерительной системы контроля поездов в движении. Предложена методика расчета вероятности свободности устройств от обслуживания, среднего числа требований ожидающих начала обслуживания, оценки времени задержки передачи пакета информации. При тестировании учтен абсолютный приоритет контроля проходящего поезда над передачей данных автодиагностики периферийных устройств. Показана эффективность модели автодиагностики с использованием системы массового обслуживания для контроля исправности периферийного оборудования и целостности соединительных линий.

Введение. Исходной информацией при построении математических моделей процессов функционирования сложных информационно-измерительных систем, к которым относится многоуровневая Автоматизированная система контроля подвижного состава АСК ПС, служат данные об условиях работы периферийных устройств. Эта информация позволяет формулировать требования к разрабатываемой математической модели для подсистем автоматической самодиагностики, являющихся обязательной составной частью таких систем. В состав АСК ПС входят периферийные многофункциональные комплексы технических средств КТСМ, системы автоматического определения негабаритности вагонов и перевозимых грузов САОН. Наличие дополнительных информационных входов в блоках КТСМ для подключения инновационных периферийных измерительных устройств позволяет расширить список дистанционно диагностируемых параметров контролируемого подвижного состава. Перечисленные устройства сравнительно просто могут быть подключены к модулю МЦМК периферийного контроллера ПК-05 комплекса КТСМ [1].

Передача результатов автоматического тестирования периферийных устройств контроля проходящих поездов осуществляется системой передачи данных линейных пунктов СПД ЛП, а обработка принимаемых пакетов информации производится в Автоматизированных рабочих местах АРМ линейных и центральных пунктов контроля, соответственно АРМ ЛПК и АРМ ЦПК.

Для самодиагностики между периферийными контроллерами ПК-05, стационарными концентраторами информации КИ-6М и серверным центральным концентратором информации ЦКИ отделения железной дороги устанавливается реверсная передача информации для информационного обмена между ними. Учет абсолютного приоритета дистанционного технического контроля проходящих поездов при передаче данных автоматической диагностики обуславливает использование системы массового обслуживания МО для установления очередности передачи данных с периферийных пунктов контроля ПК-05 на серверный ЦКИ. Серверный ЦКИ, обслуживающий в режиме автодиагностики периферийные контроллеры ПК-05 и представляющий им для временной связи групповой канал

передачи информации, представляет собой систему МО с приоритетами и ожиданием.

Путем автоматического тестирования проверяются исправность всех периферийных устройств контроля и целостность соединительных линий связи. Моменты времени поступления заявок в СПД ЛП от серверного ЦКИ образуют входящий поток, а моменты окончания передачи образуют выходящий поток полученных результатов.

При выборе и оценке критериев эффективности системы МО принято, что поток заявок от серверного концентратора ЦКИ на предоставление временного соединения для информационного обмена, представляет собой простейший поток с параметром λ , а время использования канала связи распределено по показательному закону с параметром μ .

Временем обслуживания заявки будет являться время, затраченное на информационный обмен между периферийным контроллером ПК-05, стационарным концентратором информации КИ-6М и серверным концентратором ЦКИ.

Для оценки качества работы системы автоматической диагностики периферийных устройств выбран участок Белорусской железной дороги между узловыми станциями Гомель и Калинковичи. Структурная схема передачи данных приведена на рисунке 1. Концентраторы информации КИ-6М установлены на промежуточных станциях Василевичи, Речица и Центролит.

Среднее время между поступлением заявок на обслуживание, при установленных скоростях движения грузовых поездов на рассматриваемом участке железной дороги, $T = 0,476$ с, поток заявок на обслуживание $\lambda = 1,587$. При этих условиях время обслуживания заявки составит для КТСМ $\mu_{\text{КТСМ}} = 3,33$, а время обслуживания заявки для САОН, с учетом перспективного увеличения количества дополнительных периферийных устройств контроля, $\mu_{\text{САОН}} = 6,66$.

Все возможные состояния замкнутой системы МО выражаются системой дифференциальных уравнений, приведенных в [2]. Решение данной системы уравнений, позволяет формализовать критерии эффективности для системы МО.

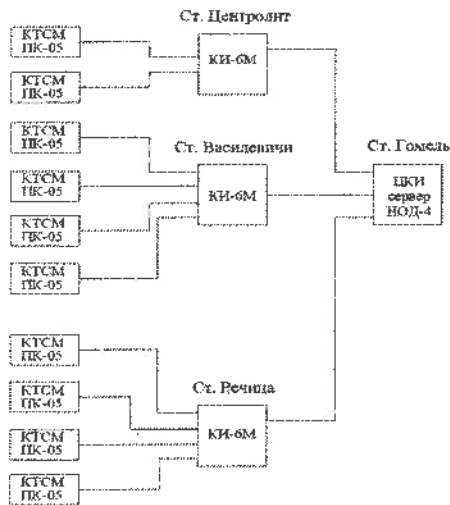


Рисунок 1 – Структурная схема включения концентраторов информации КИ-6М и ЦКИ отделения дороги НОД-4 на участке железной дороги Гомель – Калинковичи

Все возможные состояния замкнутой системы МО выражаются системой дифференциальных уравнений, приведенных в [2]. Решение данной системы уравнений позволяет формализовать критерии эффективности для системы МО.

Вероятность того, что все приборы свободны от обслуживания,

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{k=0}^n \frac{m!}{k! \cdot (m-k)!} \cdot \alpha^k + \sum_{k=n+1}^m \frac{m! \cdot \alpha^k}{n^{k-n} \cdot n! \cdot (m-k)!} \cdot \alpha^k}, \quad (1)$$

где m – наибольшее число заявок в системе МО; n – количество периферийных контроллеров ПК-05 в системе МО; α – параметр, равный $\frac{\lambda}{\mu}$

Вероятность того, что в системе находится k заявок, из них n обслуживаются, а $(k - n)$ ожидают обслуживания,

$$P_k = \frac{m! \cdot \alpha^k}{n^{k-n} \cdot n! \cdot (m-k)!} \cdot P_0. \quad (2)$$

Среднее число заявок, ожидающих начала обслуживания,

$$M_0 = \sum_{k=n+1}^m \frac{(k-n) \cdot m! \cdot \alpha^k}{n^{k-n} \cdot n! \cdot (m-k)!} \cdot P_0. \quad (3)$$

Определим данные критерии для концентраторов информации в системе передачи сообщений СПД ЛП, в которой могут возникать очереди на обслуживание. В данном случае число одновременно диагностируемых периферийных контроллеров ПК-05 в системе МО $n = 1$, и формулы (1)–(3) примут вид

$$P_0 = \frac{1}{1 + m \cdot \alpha + \sum_{k=2}^m \frac{m! \cdot \alpha^k}{(m-k)!}}; \quad (4)$$

$$P_k = \frac{m! \cdot \alpha^k}{(m-k)!} \cdot P_0; \quad (5)$$

$$M_0 = \sum_{k=2}^m \frac{(k-1) \cdot m! \cdot \alpha^k}{(m-k)!} \cdot P_0. \quad (6)$$

Центральный концентратор информации ЦКИ, установленный в Гомельском отделении НОД-4 Белорусской железной дороги, обслуживает заявки от трех стационарных концентраторов КИ-6М. В свою очередь концентратор КИ-6М станции Центролит обслуживает заявки от двух периферийных контроллеров ПК-05, а концентраторы КИ-6М станций Василевичи и Речица обслуживают заявки от четырех контроллеров ПК-05. Для оценки работы серверного концентратора ЦКИ принято, что он обслуживает стационарные концентраторы КИ-6М по группам из двух и четырех периферийных контроллеров ПК-05, при общем числе $m = 10$. Численные значения критериев функционирования концентраторов КИ-6М для станций Центролит, Василевичи, Речица и серверного ЦКИ отделения дороги определены по формулам (4)–(6). Результаты расчетов моделирования автоматической диагностики периферийных комплексов КТСМ для концентраторов КИ-6М и ЦКИ НОД-4 станции Гомель приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристика работы концентраторов КИ-6М и ЦКИ НОД-4 для системы КТСМ

Параметр	Станция			
	Центролит	Василевичи	Речица	ЦКИ, сервер НОД-4
Вероятность того, что концентраторы информации КИ-6М и ЦКИ свободны от обслуживания	0,416	0,106	0,106	$5,62 \cdot 10^{-5}$
Вероятность нахождения в системе МО одной заявки	0,396	0,202	0,202	$2,68 \cdot 10^{-4}$
Вероятность нахождения в системе МО двух заявок	0,189	0,288	0,228	$1,15 \cdot 10^{-3}$
Вероятность нахождения в системе МО трех заявок	–	0,247	0,247	$4,37 \cdot 10^{-3}$
Вероятность нахождения в системе МО десяти заявок	–	–	–	0,122
Среднее количество заявок, ожидающих обслуживания	0,189	1,288	1,228	4,837
Время задержки передачи пакета информации, с	0,057	0,368	0,368	2,07

Аналогичным образом осуществлены расчеты для периферийной системы автоматического определения негабаритности подвижного состава САОН и концентраторов информации КИ-6М, ЦКИ. Результаты расчетов приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Характеристика работы концентраторов КИ-6М и ЦКИ НОД-4 для системы САОН

Параметр	Станция			
	Центролит	Василевичи	Речица	ЦКИ, сервер НОД-4
Вероятность свободности концентраторов информации КИ-6М и ЦКИ от обслуживания	0,629	0,33	0,33	$7,09 \cdot 10^{-3}$
Вероятность нахождения в системе МО одной заявки	0,198	0,101	0,101	$1,34 \cdot 10^{-4}$

Окончание таблицы 2

Параметр	Станция			
	Центролит	Василевичи	Речица	ЦКИ, сервер НОД-4
Вероятность нахождения в системе МО двух заявок	0,047	0,072	0,072	$2,87 \cdot 10^{-4}$
Вероятность нахождения в системе МО трех заявок	–	0,034	0,034	$5,47 \cdot 10^{-4}$
Вероятность нахождения в системе МО десяти заявок	–	–	–	$1,19 \cdot 10^{-4}$
Количество заявок, ожидающих начала обслуживания	0,071	0,5147	0,514	4,837
Время задержки передачи информации, с	0,011	0,077	0,077	0,726

Характеристики зависимости времени задержки передачи пакетов информации для периферийных устройств КТСМ и САОН приведены на рисунке 2.

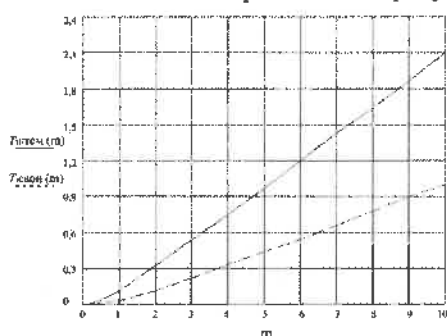


Рисунок 2 – Характеристики зависимости времени задержки передачи пакетов информации для систем КТСМ и САОН

Показано, что с увеличением числа обслуживаемых периферийных устройств диагностики ПК-05 и САОН время задержки передачи информации увеличивается с достаточно высокой крутизной.

Характеристика вероятности свободности серверного концентратора информации ЦКИ от числа обслуживаемых периферийных устройств КТСМ и САОН приведена на рисунке 3.

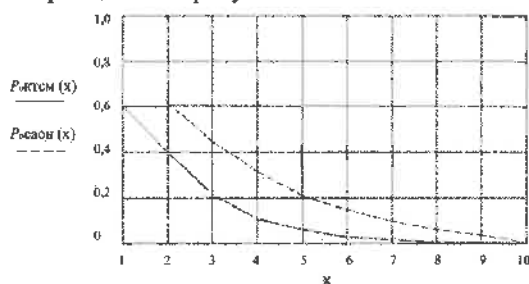


Рисунок 3 – Характеристика вероятности свободности ЦКИ от числа обслуживаемых периферийных устройств КТСМ и САОН

Получено 16.09.2024

V. V. Burchankov. Automatic testing of peripheral diagnostic tools based on mass service methodology.

The article deals with the issues of modeling a queuing system for automatic evaluation of the quality of peripheral devices of an information-measuring system for monitoring trains in motion. A method is proposed for calculating the probability of devices being free from service, the average number of requests waiting for the start of service, and estimating the delay time for transmitting an information packet. At in the simulation, the absolute priority of the control of the passing train is given over the transmission of the auto-diagnostic data of the peripheral devices. The effectiveness of the self-diagnostic model with the use of a queuing system for monitoring the health of peripheral equipment and the integrity of connecting lines is shown.

Из характеристики, приведенной на рисунке 3, следует, что с увеличением числа периферийных устройств контроля вероятность свободности ЦКИ уменьшается с переменной крутизной. Для улучшения этих показателей вероятности следует переходить на более высокие стандартизованные скорости передачи информации при соблюдении требований по достоверности [3].

Характеристика среднего количества заявок для периферийных устройств КТСМ и САОН, ожидающих начала обслуживания, приведена на рисунке 4 (x: 1...10).

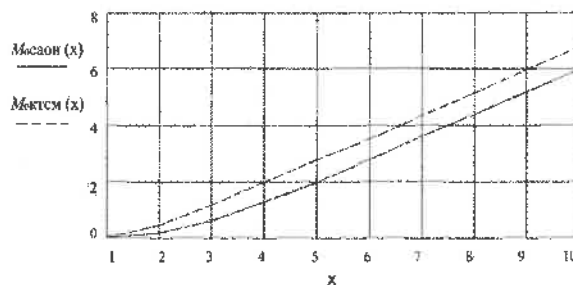


Рисунок 4 – Характеристика среднего количества заявок для периферийных устройств КТСМ и САОН, ожидающих обслуживания

Установлено, что увеличение количества заявок незначительно зависит от числа дополнительных периферийных устройств. Это указывает на возможность подключения в системе АСК ПС дополнительных концентраторов КИ-6М и увеличения числа периферийных устройств контроля подвижного состава, например LASCA, УКСБ, ДСИН.

Заключение. В представленной модели системы МО реализован учет абсолютного приоритета технического контроля проходящего поезда при передаче данных автоматического тестирования периферийных устройств, что обуславливает использование ее для установления очередности передачи данных с периферийных приборов контроля на серверный АРМ. Модель автодиагностики с использованием преимуществ, обеспечиваемых системой МО, существенно повышает эффективность и надежность работы системы АСК ПС в целом.

Список литературы

- 1 Бурченко, В. В. Автоматизация технического контроля и диагностики подвижного состава железных дорог : [монография] / В. В. Бурченко. – Гомель : БелГУТ, 2020. – 252 с.
- 2 Овчаров, Л. А. Прикладные задачи по теории массового обслуживания / Л. А. Овчаров. – М. : Машиностроение, 1969. – 324 с.
- 3 Бусленко, Н. П. Моделирование сложных систем / Н. П. Бусленко. – М. : Наука, 1978. – 399 с.

УДК 656.1

В. Н. ГАЛУШКО, кандидат технических наук, И. Л. ГРОМЫКО, аспирант, Д. В. МИРОШ, аспирант, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

ПРИБОР ОБНАРУЖЕНИЯ МЕЖВИТКОВЫХ ЗАМЫКАНИЙ

Приведено схемное и техническое описание прибора для обнаружения межвитковых замыканий, основанного на усовершенствованном пробнике Паздникова. С помощью данного прибора можно проверять наличие короткозамкнутых витков в обмотках трансформаторов, дросселей, электродвигателей, реле, магнитных пускателей, контакторов и других катушек индуктивности. Предложенная конструкция прибора является недорогой и основана доступных элементах, в отличие от его зарубежных аналогов. С помощью RLC-метра были измерены значения индуктивности железнодорожных трансформаторов, асинхронных двигателей и другого оборудования для определения границ применения работы прибора.

Диагностика межвитковых замыканий является важной задачей из-за широкого распространения электрических машин. В настоящее время существует множество методов его обнаружения, однако многие из них имеют существенные недостатки. Широкое применение электрических машин в системах электропривода и автоматизации производства напрямую зависит от их работоспособности. Отказ одной машины может привести к остановке всего производственного комплекса, что влечет за собой значительные материальные потери. Поэтому повышение эксплуатационной надежности электрических машин, производство которых составляет десятки миллионов единиц в год, является актуальной научно-технической задачей.

При определении общей надежности целесообразно использовать метод «слабых звеньев» [1], который позволяет выделить только те блоки, надежность ко-

торых в данных условиях минимальна. При анализе асинхронных двигателей межвитковая изоляция обмотки статора является таким слабым звеном [2, 3].

Диагностика межвитковых замыканий в обмотках трансформаторов является важным фактором для поддержания электрооборудования в безопасном рабочем состоянии, позволяет уменьшить затраты и сохранить оборудование. Поэтому актуально обеспечить отделения Белорусской железной дороги приборами для своевременной диагностики.

Статистические исследования, проведенные в ЕАЭС [4, 5] и за рубежом [6], выявили, что в трехфазных двигателях со всыпной обмоткой основная причина отказов (до 80 %, а по некоторым данным до 95 %) связана с изменением состояния обмотки статора (рисунок 1). При этом дефекты, вызванные ухудшением характеристик межвитковой изоляции, составляют до 70 % от общего числа отказов.

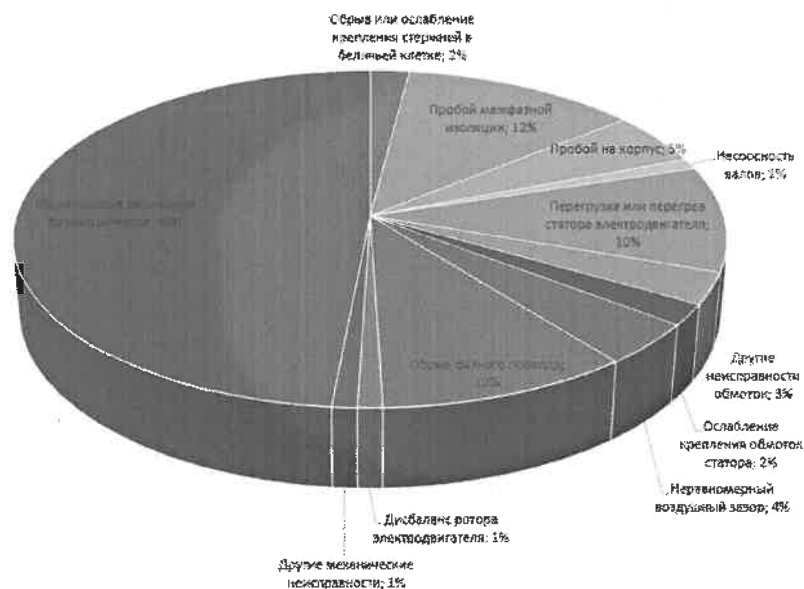


Рисунок 1 – Структура причин, приводящих к неисправному состоянию электрического оборудования

ских потерь (остановка производства, ремонт оборудования).

Анализ причин неисправностей в современных трехфазных электродвигателях с обмоткой из эмальпровода (мощностью до 100 кВт) показывает, что большинство проблем связано с электрическими обмотками и, как правило, возникает в процессе эксплуа-

тации. Это означает, что при контроле состояния таких двигателей ключевое внимание необходимо уделять именно контролю состояния обмоток во время работы.

Одним из эффективных методов контроля является постоянное или периодическое измерение сопротивления межвитковой изоляции. Это позволяет выявлять дефекты в обмотках на ранних стадиях их развития.

Системы мониторинга обладают рядом преимуществ по сравнению с традиционными методами технической диагностики. Однако установка таких систем на каждый трансформатор экономически нецелесообразна.

В качестве альтернативы можно рассмотреть внедрение систем мониторинга на основе данных, полученных при техническом диагностировании. Это можно делать без отключения трансформатора от сети или во время плановых диагностических испытаний в лабораториях.

Европейские системы, в отличие от белорусских, не направлены на продление срока службы оборудования. Зарубежная практика предполагает замену оборудования после окончания срока эксплуатации. Также существуют различия в нормативной документации, что затрудняет использование зарубежных систем диагностирования в Беларуси.

Белорусские системы, несмотря на свои преимущества, имеют ряд недостатков, так как они ориентирова-

ны на решение конкретных задач (для определенных схем, конкретного оборудования). Также эти системы мониторинга используют разнородную и нестандартную информацию и не учитывают динамику изменения критериев диагностирования (системы не обучаемы).

В журнале «Радио» [7] была описана схема простого прибора для обнаружения короткозамкнутых витков в обмотках трансформаторов и дросселей. Прибор представлял собой генератор низких частот, собранный на двух транзисторах. Его преимущество – простота конструкции и доступность материалов. Однако прибор не позволял точно определить вид неисправности (межвитковое замыкание или обрыв цепи).

С помощью пробника Паздникова можно проверять обмотки трансформаторов, дросселей, электродвигателей, реле, магнитных пускателей, контакторов и других катушек индуктивностью от 200 мкГн до 2 Гн. Пробником удается определить не только целостность обмотки, но и наличие в ней короткозамкнутых (КЗ) витков. Элементная база прибора состоит из 4 транзисторов *n-p-n* перехода; 2 транзисторов *p-n-p* перехода; 12 резисторов (2 из которых являются переменными); 3 конденсаторов; светодиода; источника питания; аккумулятора; щупов; кнопки «вкл/выкл» (рисунок 2).

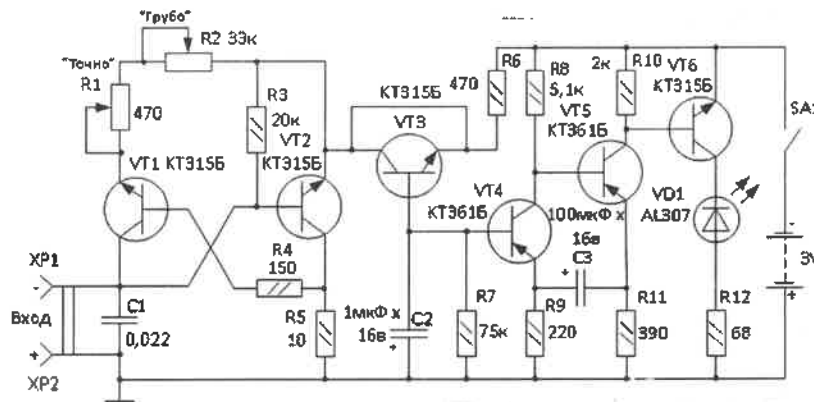


Рисунок 2 – Схема устройства

При использовании указанных на схеме деталей налаживание пробника сведется к градуировке шкалы переменного резистора. Для этого, подключая к щупам пробника исправные катушки с различной индуктивностью, изменением положения движка резистора добиваются мигания индикаторной лампы. Затем движок устанавливают в положение, близкое к левому по схеме выводу, при котором еще сохраняется мигание, и делают на шкале отметку значения индуктивности или наносят какое-то условное обозначение (например, тип дросселя, трансформатора и т. д.).

При проверке катушек малой индуктивности острота «настройки» переменного резистора может оказаться чрезмерной. Выйти из положения нетрудно включением последовательно с резистором R1 еще одного переменного резистора с малым сопротивлением либо при использовании вместо переменного резистора с малым сопротивлением магазина сопротивлений или набора резисторов, подключаемых малогабаритным многопозиционным переключателем.

Для решения проблемы с зарядом источника питания (аккумулятора) в приборе имеется электронная

схема для заряда аккумулятора. В электронной схеме для заряда аккумулятора также имеются два светодиода: один (красного свечения) сигнализирует о процессе заряда, при завершении процесса заряда вместо первого светодиода загорается другой светодиод (синего свечения), сигнализирующий о полном заряде аккумулятора.

В микросхеме используется порт для широко распространенного разъема USB Type-C.

Для повышения защиты устройства от проникновения пыли и от водных брызг и сопротивления электромагнитным полям корпус прибора был экранирован.

Защитное экранирование предназначено для ослабления электрических, магнитных и электромагнитных полей. Также благодаря эффективному экранированию электрических и электронных технических средств можно подавить любые электромагнитные помехи, исходящие из них в сеть или в окружающее пространство.

Основа прибора – измерительный генератор на транзисторах VT1, VT2. Его рабочая частота определяется параметрами колебательного контура, образованного конденсатором C1 и проверяемой катушкой ин-

дуктивности, к выводам которой подключают щупы ХР1 и ХР2. Генератор работоспособен в широком диапазоне изменения отношения индуктивности и емкости колебательного контура. Переменным резистором R1 устанавливают необходимую глубину положительной обратной связи, обеспечивающей надежную работу генератора. Транзистор VT3, работающий в диодном режиме, создает необходимый сдвиг уровня напряжения между эмиттером транзистора VT2 и базой VT4.

На транзисторах VT4, VT5 собран генератор импульсов, который совместно с усилителем мощности на транзисторе VT6 обеспечивает работу индикаторной лампы HL1 в одном из трех режимов: отсутствие свечения, мигания и непрерывного горения. Режим работы генератора импульсов определяется напряжением смещения на базе транзистора VT4.

При замкнутых щупах ХР1 и ХР2 измерительный генератор не возбуждается. Транзистор VT2 открыт. Постоянного напряжения на его эмиттере (а значит, на базе транзистора VT4) недостаточно для запуска генератора импульсов. Транзисторы VT5 и VT6 при этом открыты и лампа горит непрерывно, сигнализируя о целостности проверяемой цепи.

При подключении к щупам пробника исправной катушки индуктивности, например обмотки трансформатора, и установке движка переменного резистора R1 в определенное положение измерительный генератор возбуждается. Напряжение на эмиттере транзистора VT2 увеличивается, что приводит к увеличению напряжения смещения на базе транзистора VT4 и запуску генератора импульсов. Лампа начинает мигать.

Если в проверяемой обмотке есть короткозамкнутые витки, измерительный генератор не возбуждается и пробник работает, как при замкнутых щупах.

При разомкнутых щупах или обрыве цепи проверяемой катушки транзистор VT2 закрыт. Напряжение на его эмиттере (а значит, и на базе транзистора VT4) резко возрастает. Этот транзистор открывается до насыщения, и колебания генератора импульсов срываются. Транзисторы VT5, VT6 закрываются, лампа HL1 не светится.

Если подключить к щупам прибора *p-n* переход кремниевого транзистора или диода в прямой полярности (анод диода – к щупу ХР1, катод диода – к щупу ХР2), лампа будет мигать. При пробитом переходе лампа горит непрерывно, а при обрыве цепи – не светится.

Следует заметить, что в случае проверки обмоток трансформаторов с большим коэффициентом трансформации пробник следует подключать к обмотке с наибольшим числом витков. Потому что, проверяя обмотку с меньшим числом витков, труднее обнаружить короткое замыкание в более высокоомной обмотке.

Важным этапом при разработке прибора является апробация. С помощью RLC-метра были измерены значения индуктивности железнодорожных трансформаторов и асинхронных двигателей, а также различных бытовых приборов для определения границы работы при-

бора. При проверке оборудования прибор ни разу не дал ложного показания.

Прибор имеет ряд перспективных направлений в плане усовершенствования:

- автоматизация процесса регулировки диапазона определения межвиткового замыкания за счет использования микросхемы, задачей которой является подбор нужного диапазона. Это уменьшит нагрузку на пользователя и увеличит скорость определения МКЗ;
- интегрирование прибора с измерительными приборами, к примеру, с мультиметром;
- определение слабого межвиткового замыкания, для его последующего предотвращения, с помощью передачи сигнала осциллографу.

В ходе выполнения данного исследования был усовершенствован прибор на основе пробника Паздников для диагностики межвиткового замыкания, который позволяет установить наличие короткозамкнутых витков в обмотках трансформаторов, дросселей, электродвигателей, реле, магнитных пускателей, контакторов и других катушек индуктивности. Этот прибор является недорогим и доступным, в отличие от его зарубежных аналогов. Также были рассмотрены вариации его модификаций для улучшения качества работы и добавления новых функций.

Список литературы

- 1 Дистанционная диагностика дефектов в высоковольтных изоляторах / А. В. Голенищев-Кутузов [и др.] // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2020. – Т. 22, № 2. – С. 117–127.
- 2 AR700 – прибор для локализации дефектов в изоляции высоковольтного оборудования при помощи акустических датчиков [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://dimrus.com/ar700.html>. – Дата доступа : 01.04.2024.
- 3 Ахметшин, Р. С. Разработка средств диагностирования изоляции силовых трансформаторов I–II габаритов по изменению их частотных характеристик / Р. С. Ахметшин, Л. М. Рыбаков // Проблемы энергетики. – 2002. – № 11–12. – С. 49–55.
- 4 Каталог датчиков для переносных и стационарных систем контроля состояния высоковольтного оборудования [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://dimrus.ru/manuals/sensors.pdf>. – Дата доступа : 01.04.2024.
- 5 Белявский, О. А. Измерение частичных разрядов при контроле изоляции оборудования [Электронный ресурс] / О. А. Белявский, Р. М. Идиатуллоев // Электрические сети. – Режим доступа : <http://leg.co.ua/stati/podstancii/izmerenie-chastichnyh-razryadov-pri-kontrol-e-izolyacii-oborudovaniya.html>. – Дата доступа : 01.04.2024.
- 6 Измерение частичных разрядов в изоляции трансформаторного оборудования [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://dimrus.ru/texts/measpd.html>. – Дата доступа : 01.04.2024.
- 7 Паздников, И. Схема простого прибора для обнаружения короткозамкнутых витков в обмотках трансформаторов и дросселей / И. Паздников // Радио. – 1990. – № 7. – С. 68–69.

Получено 01.10.2024

V. N. Galushko, I. L. Gromyko, D. V. Mirosh. Device for detection of interturn failures.

A schematic and technical description of a device for detecting interturn short circuits, based on an improved Pазdnikov probe, is given. Using this device, you can check the presence of short-circuited turns in the windings of transformers, chokes, electric motors, relays, magnetic starters, contactors and other inductors. The proposed design of the device is inexpensive and is based on available elements, in contrast to its foreign analogues. Using an RLC meter, the inductance values of railway transformers, asynchronous motors and other equipment were measured to determine the limits of application of the device.

МЕТОДЫ РАСЧЕТА КОНТРОЛЬНОГО РЕЖИМА ПЕРЕГОННЫХ ТОНАЛЬНЫХ РЕЛЬСОВЫХ ЦЕПЕЙ

Работа посвящена проблеме анализа рельсовой линии при изломе рельса в тональных рельсовых цепях, применяемых в централизованных системах автоблокировки. Выполнен анализ существующих методов расчета A -параметров эквивалентного четырехполосника рельсовой линии. Разработана компьютерная математическая модель для получения численных значений A -параметров эквивалентного четырехполосника рельсовой линии. Предложено использовать метод эквивалентного сопротивления для анализа рельсовой линии при изломе рельса в тональных рельсовых цепях. Представлены обобщенные уравнения для рельсового четырехполосника перегонных рельсовых цепей при изломе рельса.

Для обеспечения надежной и устойчивой работы тональной рельсовой цепи (ТРЦ) при выполнении ею основных функций, таких как обнаружение подвижной единицы на участке железнодорожного пути и своевременному обнаружению излома рельса при отсутствии подвижной единицы на контролируемом участке пути необходимо выполнить расчет регулировочных характеристик. Расчет производится двумя способами: первый – по заданным напряжению и току на входе путевого приемника (ПП) находят необходимые для этих условий напряжение и ток путевого генератора (ГП) [1–3]. Второй способ представляет собой решение обратной задачи: по известному напряжению и току ГП рассчитывают фактическое значение напряжения и ток на входе ПП [3]. При решении таких задач используют известные математические выражения, описывающие зависимости между входными и выходными искомыми величинами [1–5]. Основная математическая модель, используемая при анализе ТРЦ в основных режимах её работы (нормальном, шунтовом, АЛС и контрольном) основана на каскадном соединении четырехполосников [1–5]. Расчет первых трех режимов работы ТРЦ не вызывает особых трудностей так как выражения, описывающие зависимости напряжений и токов в данных режимах, широко известны [1, 2] и достаточно неплохо поддаются автоматизации с использованием специализированного математического программного обеспечения. В свою очередь математическая модель контрольного режима более-менее описана в литературе для рельсовых цепей с одним путевым приемником и при наличии изолирующих стыков [1, 2]. В [1, 2] также приводятся математические модели рельсовых цепей, не ограниченных изолирующими стыками, но данные модели не позволяют учесть влияние смежных рельсовых цепей. Множество научных работ посвящено поиску математических моделей рельсовых цепей сложной структуры, но данный вопрос в настоящее время не является окончательно решенным.

В настоящее время при расчете контрольного режима используются две известные методики.

Первая методика определения коэффициентов четырехполосника рельсовой линии при изломе рельса описана в [1, 2] и заключается в получении аналитических выражений для A -параметров четырехполосника на основании решения уравнений однородной линии,

составленных по граничным условиям, относительно постоянных интегрирования для конкретного случая. Количество постоянных интегрирования в свою очередь напрямую зависит от топологии рассматриваемого участка рельсовой цепи.

Вторая методика основана на использовании правила Крамера (метода обратной матрицы) для решения системы линейных алгебраических, реализованного прикладным математическим пакетом [5]. При помощи данного метода, так же как и по методике [2], необходимо составлять систему линейных уравнений по граничным условиям, но нет необходимости аналитически решать данную систему для определения постоянных интегрирования. Рационально применять данную методику только при анализе рельсовых цепей со сложной топологией.

Основной особенностью перегонных ТРЦ является наличие изолирующих стыков только в рельсовых цепях, ограничивающих перегон, а в рельсовых цепях, расположенных между ними изолирующие стыки отсутствуют. Тогда в общем случае перегонные ТРЦ справедливо разделить на три вида (рисунок 1): а) бесстыковая ТРЦ; б) ТРЦ, ограниченная с релейного конца; в) ТРЦ, ограниченная с питающего конца. На рисунке 1 приняты следующие обозначения: УЗС – устройства защиты и согласования; АЛС – устройства подключения аппаратуры кодирования; ФПМ – путевой фильтр; ГП – путевой генератор; ПП – путевой приемник; $l_{см1}$ – длина смежной рельсовой линии со стороны питающего конца; $l_{см2}$ – длина смежной рельсовой линии со стороны релейного конца; l_1 – длина рельсовой линии от питающего конца до места обрыва рельса; l_2 – длина рельсовой линии от релейного конца до места обрыва рельса; $l_{рц}$ – общая длина рельсовой линии рассматриваемой ТРЦ ($l_{рц} = l_1 + l_2$); $Z_{см1}$ – эквивалентное входное сопротивление аппаратуры смежной рельсовой цепи со стороны питающего конца; $Z_{см2}$ – эквивалентное входное сопротивление аппаратуры смежной рельсовой цепи со стороны релейного конца.

Для определения A -параметров рельсового четырехполосника перегонных ТРЦ в контрольном режиме воспользуемся основной схемой замещения (рисунок 2).

Схема замещения рельсовой цепи в контрольном режиме представляет собой каскадное соединение двух четырехполосников N_{11} и N_{12} . Где первый четырехполосник N_{11} замещает участок рельсовой линии между источником питания и местом обрыва, а второй N_{12} – между местом обрыва и нагрузкой.

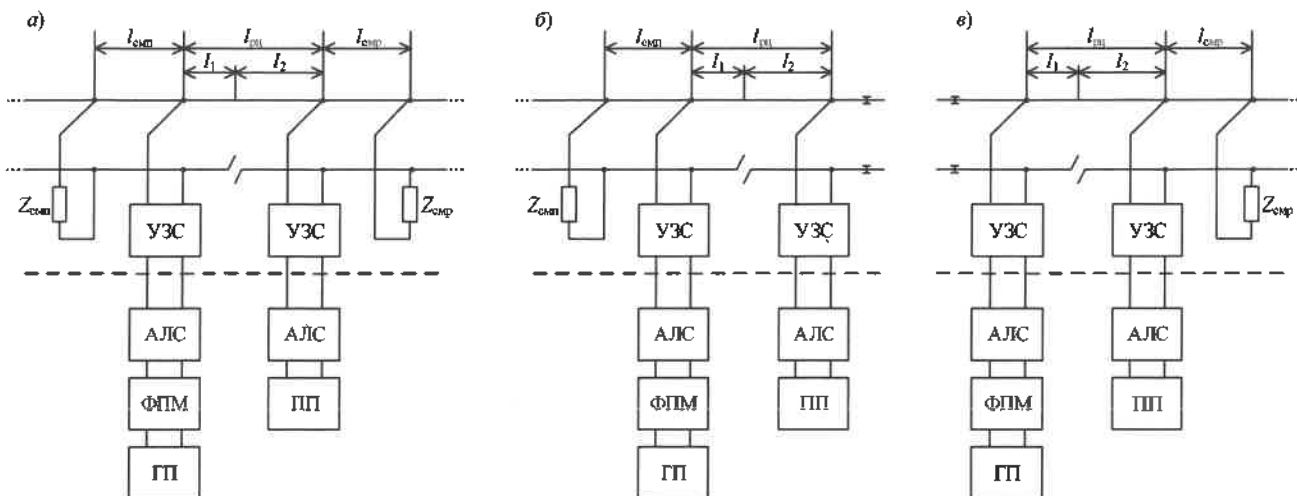


Рисунок 1 – Основные виды тональных рельсовых цепей на перегоне:
 а – бесстыковая; б – ограниченная с релейного конца; в – ограниченная с питающего конца

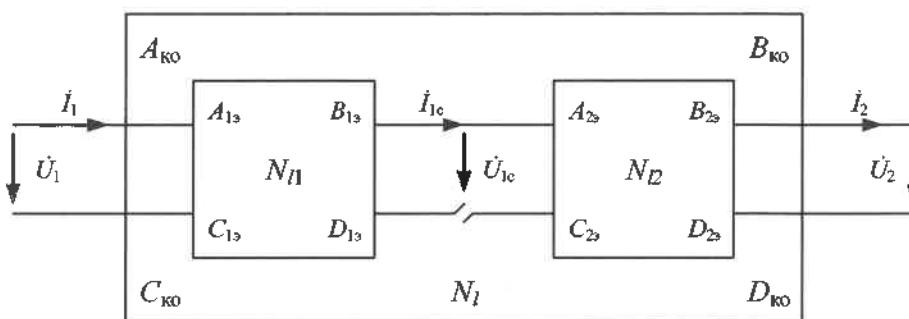


Рисунок 2 – Основная схема замещения рельсовой цепи в контрольном режиме

Для определения A -параметров каждого из этих четырехполосников необходимо по законам Кирхгофа записать уравнения, связывающие напряжение и ток от источника сигнала до места обрыва (для питающего конца) и от места обрыва до нагрузки (релейный конец). Для получения связывающих уравнений воспользуемся схемами замещений участка рельсовой линии, изображенной в [4, рисунок 3.13] для бесстыковой рельсовой цепи, учитывающей влияние одной смежной рельсовой цепи, и схемой замещения участка рельсовой линии, изображенной в [2, рисунок IV.4, а], для рельсовой цепи с изолирующими смычками (рисунок 3, б, в). На рисунках приняты следующие обозначения: $\dot{U}_{1с}$, $I_{1с}$ – напряжение и ток в месте излома рельса относительно земли; \dot{U}_1 , I_1 – напряжение и ток в месте подключения источника питания рельсовой цепи; \dot{U}_2 , I_2 – напряжение и ток в месте подключения нагрузки; $\dot{U}'_{1н}$, $\dot{U}'_{1к}$, $\dot{U}'_{1н}$, $\dot{U}'_{1к}$, $\dot{U}'_{1н}$, $\dot{U}'_{1к}$ – напряжение в первом рельсе относительно земли в начале («н») и в

конце («к») участков рельсовой линии l_1 , $l_{смп}$ и бесконечно длинного короткозамкнутого участка; $\dot{U}'_{2н}$, $\dot{U}'_{2к}$, $\dot{U}'_{2н}$, $\dot{U}'_{2к}$ – то же для второго рельса; $I'_{1н}$, $I'_{1к}$, $I'_{1н}$, $I'_{1к}$ – ток в первом рельсе относительно земли в начале («н») и в конце («к») участков рельсовой линии l_1 , $l_{смп}$ и бесконечно длинного короткозамкнутого участка; $I'_{2н}$, $I'_{2к}$, $I'_{2н}$, $I'_{2к}$ – то же для второго рельса; $Z_{вхп}$ – эквивалентное обратное входное сопротивление аппаратуры питающего конца; $Z_{вкк}$ – эквивалентное входное сопротивление аппаратуры релейного конца; $Z_{смп}$, $Z_{смп}$ – эквивалентное входное сопротивление аппаратуры смежной рельсовой цепи со стороны питающего и релейного конца соответственно; $Z_{нвк}$, $Z_{квх}$ – сопротивление между точкой идеального автотрансформатора и землей в начале и конце рельсовой линии.

Пусть начало координат для рисунка 3, а будет в точке подключения питающего конца, а положительное направление оси x – в сторону смежной рельсовой цепи. Граничные условия имеют следующий вид:

<p>при $x = -l_1$:</p> $I'_{1к} = I_{1с};$ $\dot{U}'_{1к} = \dot{U}_{1с};$ $I'_{2к} = 0;$	<p>при $x = 0$:</p> $\dot{U}'_{1к} - \dot{U}'_{1н} = 0;$ $\dot{U}'_{2к} - \dot{U}'_{2н} = 0;$ $I'_{1к} + I'_{2к} - I'_{1н} - I'_{2н} = 0;$	<p>при $x = l_{смп}$:</p> $\dot{U}'_{1к} - \dot{U}'_{1н} = 0;$ $\dot{U}'_{2к} - \dot{U}'_{2н} = 0;$ $I'_{1к} + I'_{2к} - I'_{1н} - I'_{2н} = 0;$ $I'_{1н} - I'_{1к} + I'_{2к} - I'_{2н} + (2 / Z_{смп})(\dot{U}'_{1н} - \dot{U}'_{2н}) = 0;$	<p>при $x = \infty$:</p> $I''_{1н} + I''_{2н} = 0;$ $\dot{U}'_{1н} - \dot{U}'_{2н} = 0;$
--	---	---	---

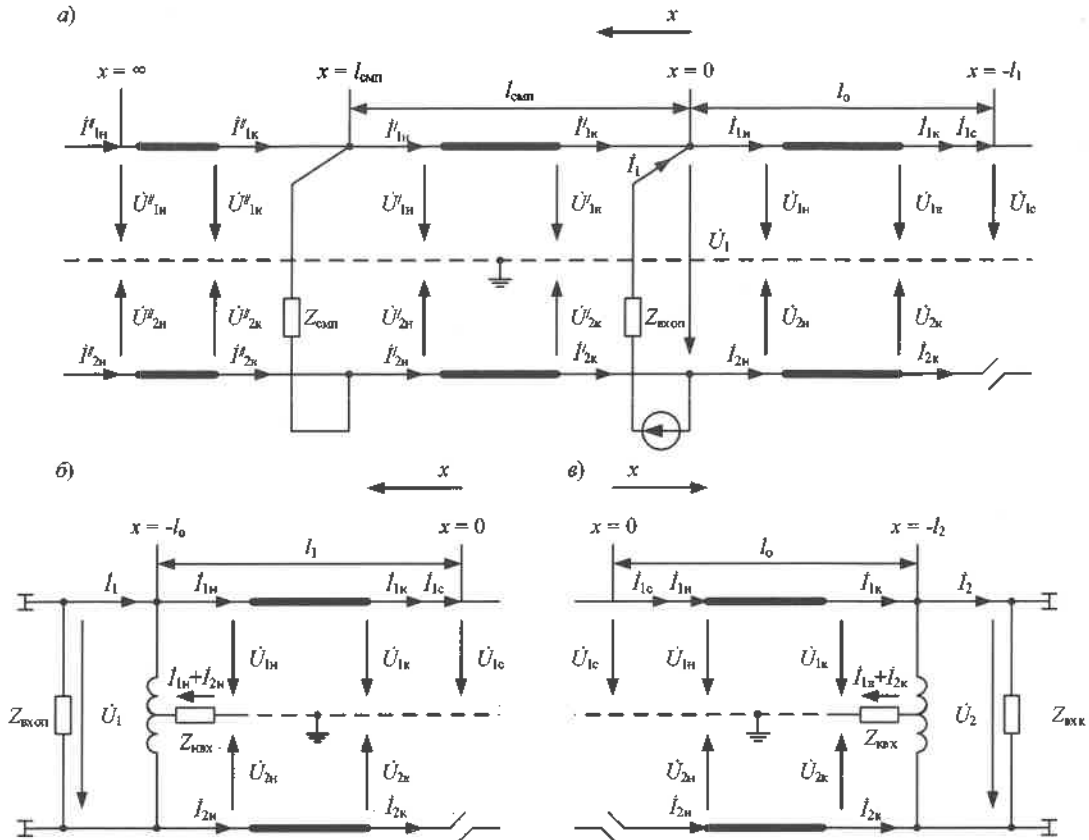


Рисунок 3 – Схема замещения участка рельсовой линии:
 а – между питающим концом и местом обрыва рельса бесстыковой (а) и ограниченной (б) ТРЦ;
 рельсным концом и местом обрыва рельса ограниченной ТРЦ (в)

Если принять ограничение, что рельсовая линия является симметричной, в соответствии с [2] уравнения для определения коэффициентов четырехполосника будут иметь вид

$$A_1 \operatorname{ch}(\gamma_1 l_0) - A_2 \operatorname{sh}(\gamma_1 l_0) + A_3 \operatorname{ch}(\gamma_2 l_0) - A_4 \operatorname{sh}(\gamma_2 l_0) = \dot{U}_{1c}; \quad (1)$$

$$y_{21}(A_2 \operatorname{ch}(\gamma_1 l_0) - A_1 \operatorname{sh}(\gamma_1 l_0)) - y_{22}(A_4 \operatorname{ch}(\gamma_2 l_0) - A_3 \operatorname{sh}(\gamma_2 l_0)) = \dot{I}_{1c}; \quad (2)$$

$$y_{21}(A_2 \operatorname{ch}(\gamma_1 l_0) - A_1 \operatorname{sh}(\gamma_1 l_0)) + y_{22}(A_4 \operatorname{ch}(\gamma_2 l_0) - A_3 \operatorname{sh}(\gamma_2 l_0)) = 0; \quad (3)$$

$$A_1' - A_1 - A_3 + A_3' = 0; \quad (4)$$

$$A_3 - A_3' - A_1' + A_1 = 0; \quad (5)$$

$$2y_{21}A_2' - 2y_{21}A_2 = 0; \quad (6)$$

$$A_1'' \operatorname{ch}(\gamma_1 l_{\text{смп}}) + A_2'' \operatorname{sh}(\gamma_1 l_{\text{смп}}) + A_3'' \operatorname{ch}(\gamma_2 l_{\text{смп}}) + A_4'' \operatorname{sh}(\gamma_2 l_{\text{смп}}) - A_1' \operatorname{ch}(\gamma_1 l_{\text{смп}}) - A_2' \operatorname{sh}(\gamma_1 l_{\text{смп}}) - A_3' \operatorname{ch}(\gamma_2 l_{\text{смп}}) - A_4' \operatorname{sh}(\gamma_2 l_{\text{смп}}) = 0; \quad (7)$$

$$A_1'' \operatorname{ch}(\gamma_1 l_{\text{смп}}) + A_2'' \operatorname{sh}(\gamma_1 l_{\text{смп}}) - A_3'' \operatorname{ch}(\gamma_2 l_{\text{смп}}) - A_4'' \operatorname{sh}(\gamma_2 l_{\text{смп}}) - A_1' \operatorname{ch}(\gamma_1 l_{\text{смп}}) - A_2' \operatorname{sh}(\gamma_1 l_{\text{смп}}) +$$

$$+ A_3' \operatorname{ch}(\gamma_2 l_{\text{смп}}) + A_4' \operatorname{sh}(\gamma_2 l_{\text{смп}}) = 0. \quad (8)$$

$$-2y_{21}(A_1' \operatorname{sh}(\gamma_1 l_{\text{смп}}) + A_2' \operatorname{ch}(\gamma_1 l_{\text{смп}})) = 0; \quad (9)$$

$$-2y_{21}(A_1' \operatorname{sh}(\gamma_1 l_{\text{смп}}) + A_2' \operatorname{ch}(\gamma_1 l_{\text{смп}})) = 0; \quad (9)$$

$$2y_{22}(A_3'' \operatorname{sh}(\gamma_2 l_{\text{смп}}) + A_4'' \operatorname{ch}(\gamma_2 l_{\text{смп}})) - 2y_{22}(A_3' \operatorname{sh}(\gamma_2 l_{\text{смп}}) + A_4' \operatorname{ch}(\gamma_2 l_{\text{смп}})) + \frac{2}{Z_{\text{смп}}}(A_3' \operatorname{ch}(\gamma_2 l_{\text{смп}}) + A_4' \operatorname{sh}(\gamma_2 l_{\text{смп}})) = 0; \quad (10)$$

$$A_1'' + A_2'' = 0; \quad (11)$$

$$A_3'' + A_4'' = 0. \quad (12)$$

Для выражений (1)–(12)

$$y_{11} = \frac{1}{Z_{\text{в1}}}; \quad y_{12} = \frac{1}{Z_{\text{в2}}};$$

$$y_{21} = y_{11}; \quad y_{22} = -y_{12},$$

где $Z_{\text{в1}} = 0,5EZ_{\text{в}}\sqrt{1+2p}$ – волновое сопротивление земляного тракта для симметричной рельсовой линии; $Z_{\text{в2}} = 0,5Z_{\text{в}}$ – волновое сопротивление фазового тракта для симметричной рельсовой линии; E – постоянная земляного тракта; $Z_{\text{в}} = \sqrt{Zr_{\text{н}}}$ – волновое сопротивление рельсовой линии; $\gamma = \sqrt{\frac{Z}{r_{\text{н}}}}$ – коэффициент распро-

странения волны для симметричной рельсовой линии;

$$\gamma_1 = \frac{E\gamma}{\sqrt{1+2p}} - \text{коэффициент распространения волны}$$

земляного тракта рельсовой линии; $\gamma_2 = \gamma$ – коэффициент распространения волны фазового тракта рельсовой линии; Z – удельное сопротивление рельсовой линии; r_n – удельное сопротивление изоляции рельсовой линии; p – коэффициент поверхностной проводимости.

На основании законов Кирхгофа напряжение \dot{U}_1 и ток \dot{I}_1 выражаются уравнениями:

$$\dot{U}_1 = \dot{U}_{1н} - \dot{U}_{2н}; \quad (13)$$

$$\dot{I}_1 = \frac{1}{2}(\dot{I}_{1н} - \dot{I}'_{1к} + \dot{I}'_{2к} - \dot{I}_{2н}). \quad (14)$$

С учетом выражений для напряжений и токов в первом и втором рельсе [2] уравнения (13) и (14) примут следующий вид:

$$\dot{U}_1 = 2A'_3; \quad (15)$$

$$\dot{I}_1 = y_{22}(A'_4 - A_4). \quad (16)$$

Выражений (1)–(12), (15), (16) и численных значений Z, r_n, p , напряжения и тока на выходе эквивалентного четырехполосника $\dot{U}_{1с}, \dot{I}_{1с}$ будет достаточно чтобы получить численные значения A -параметров четырехполосника N_{11} согласно методике, изложенной в [5] или используя вычислительный блок *Given / Find* системы компьютерной алгебры *Mathcad 15*. Причем в обоих случаях следует задаваться двумя парами численных значений $\dot{U}_{1с}, \dot{I}_{1с}$ имитирующими режимы холостого хода и короткого замыкания согласно [5].

Четырехполосник N_{12} при рассмотрении бесстыковой ТРЦ (см. рисунок 1, а) будет аналогичен четырехполоснику N_{11} , поэтому для нахождения численных значений A -параметров N_{12} справедливо будет воспользоваться выражениями (1)–(14) с заменой в них l_1 на $l_2, l_{смп}$ на $l_{смп}$ и $Z_{смп}$ на $Z_{смп}$. При этом необходимо

учесть, что в четырехполоснике N_{12} , направление передачи сигнала будет противоположным по сравнению с N_{11} , поэтому коэффициенты A и D следует поменять местами.

Выражения для определения параметров четырехполосников для участков, ограниченных изолирующими стыками (см. рисунок 3, б, в) достаточно полно описаны в [1, 2].

Коэффициенты четырехполосника N_{12} для ТРЦ, ограниченной с релейного конца (см. рисунок 3, б), имеют вид [2]:

$$\left. \begin{aligned} A_{23} &= 0,5E\sqrt{1+2p} \operatorname{sh}(\gamma l_2) + 0,5 \operatorname{ch}(\gamma l_2); \\ B_{23} &= 0,5E\sqrt{1+2p} \operatorname{ch}(\gamma l_2) + \frac{Z_B}{2} \operatorname{sh}(\gamma l_2); \\ C_{23} &= \frac{2 \operatorname{sh}(\gamma l_2)}{Z_B}; \\ D_{23} &= 2 \operatorname{ch}(\gamma l_2). \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

Коэффициенты четырехполосника N_{11} для ТРЦ, ограниченной с питающего конца (см. рисунок 3, в), можно получить из (17) с учетом обратного направления (меняются местами A и D) и с заменой l_2 на l_1 .

К плюсам методики расчета контрольного режима с помощью вычислительного блока *Given / Find* системы компьютерной алгебры *Mathcad 15* можно отнести простоту конструкций и несложную реализацию после получения системы линейных уравнений. Данная методика может применяться для анализа ТРЦ любой топологии. Основным недостатком вышеописанных методик является необходимость составления системы линейных уравнений по граничным условиям.

В [1, 2] также известна эквивалентная схема замещения рельсовой цепи в контрольном режиме, представленная на рисунке 4.

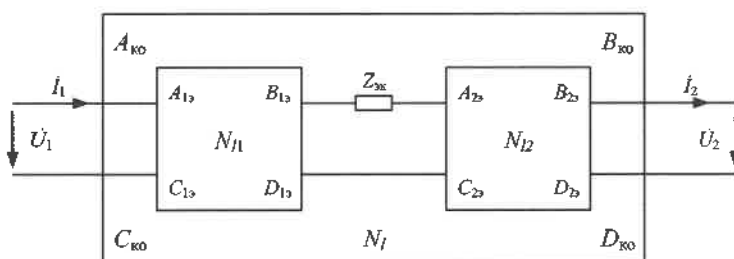


Рисунок 4 – Эквивалентная схема замещения неразветвленной рельсовой контрольным режиме

В данной схеме общий четырехполосник поврежденной линии $A_{ко}, B_{ко}, C_{ко}, D_{ко}$ представляет собой каскадно включенные четырехполосники рельсовой линии РЛ₁ длиной l_1 , некоего эквивалентного сопротивления $Z_{эк}$, включенного в месте повреждения рельса и рельсовой линии РЛ₂ длиной l_2 . Четырехполосники РЛ₁ и РЛ₂ будут являться четырехполосниками обычной рельсовой линии вторичные параметры которых соответствуют наилучшим условиям контрольного режима (сопротивление рельсов минимальное, а сопротивление изоляции – критическое).

Выражения коэффициентов $A_{ко}, B_{ко}, C_{ко}, D_{ко}$ получим перемножением четырехполосников РЛ₁, $Z_{эк}$, РЛ₂

$$\begin{aligned} \begin{vmatrix} A_{ко} & B_{ко} \\ C_{ко} & D_{ко} \end{vmatrix} &= \begin{vmatrix} \operatorname{ch}(\gamma l_1) & Z_B \operatorname{sh}(\gamma l_1) \\ \operatorname{sh}(\gamma l_1) & \operatorname{ch}(\gamma l_1) \end{vmatrix} \times \\ &\times \begin{vmatrix} 1 & Z_{эк} \\ 0 & 1 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} \operatorname{ch}(\gamma l_2) & Z_B \operatorname{sh}(\gamma l_2) \\ \operatorname{sh}(\gamma l_2) & \operatorname{ch}(\gamma l_2) \end{vmatrix}. \end{aligned} \quad (18)$$

Согласно [1, 2] $Z_{ЭК}$ выражается следующим образом:

$$Z_{ЭК} = 2EZ_B \sqrt{1 + 2p}. \quad (19)$$

Схема замещения, представленная на рисунке 4 и выражения (18), (19) справедливы только при рассмотрении рельсовой цепи, ограниченной изолирующими стыками с обеих сторон.

Для анализа перегонных ТРЦ, представленных на ри-

сунке 1, предлагается дополнить схему замещения, представленную на рисунке 4, сопротивлениями $Z_{ВХ.СМП}$ и $Z_{ВХ.СМР}$, которые учитывают утечки в смежные рельсовые цепи со стороны питающего и релейного конца соответственно и наличие за смежными рельсовыми цепями бесконечно длинного и замкнутого накоротко в начале участка. С учетом вышесказанного эквивалентные схемы рельсовых линий для перегонных ТРЦ (см. рисунок 1) представлены на рисунке 5.

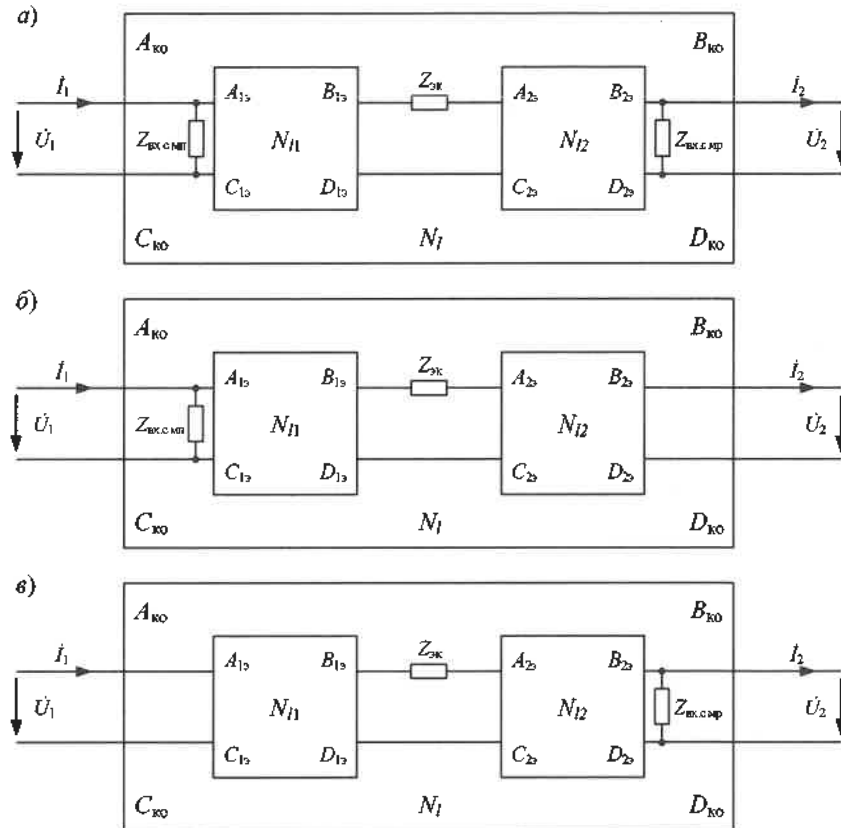


Рисунок 5 – Эквивалентные схемы замещения тональных рельсовых цепей на перегоне:
а – бесстыковая; б – ограниченная с релейного конца; в – ограниченная с питающего конца

Выражения коэффициентов $A_{КО}$, $B_{КО}$, $C_{КО}$, $D_{КО}$ для схем замещения, представленных на рисунке 5, будут иметь следующий вид:

– для бесстыковой рельсовой цепи с учетом смежных участков

$$\begin{vmatrix} A_{КО} & B_{КО} \\ C_{КО} & D_{КО} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 & 0 \\ \frac{1}{Z_{ВХ.СМП}} & 1 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} \text{ch}(\gamma l_1) & Z_B \text{sh}(\gamma l_1) \\ \frac{\text{sh}(\gamma l_1)}{Z_B} & \text{ch}(\gamma l_1) \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} 1 & Z_{ЭК} \\ 0 & 1 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} \text{ch}(\gamma l_2) & Z_B \text{sh}(\gamma l_2) \\ \frac{\text{sh}(\gamma l_2)}{Z_B} & \text{ch}(\gamma l_2) \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} 1 & 0 \\ \frac{1}{Z_{ВХ.СМР}} & 1 \end{vmatrix}; \quad (20)$$

– для рельсовой цепи ограниченной с релейного конца

$$\begin{vmatrix} A_{КО} & B_{КО} \\ C_{КО} & D_{КО} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 & 0 \\ \frac{1}{Z_{ВХ.СМП}} & 1 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} \text{ch}(\gamma l_1) & Z_B \text{sh}(\gamma l_1) \\ \frac{\text{sh}(\gamma l_1)}{Z_B} & \text{ch}(\gamma l_1) \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} 1 & Z_{ЭК} \\ 0 & 1 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} \text{ch}(\gamma l_2) & Z_B \text{sh}(\gamma l_2) \\ \frac{\text{sh}(\gamma l_2)}{Z_B} & \text{ch}(\gamma l_2) \end{vmatrix}; \quad (21)$$

– для рельсовой цепи ограниченной с питающего конца

$$\begin{vmatrix} A_{КО} & B_{КО} \\ C_{КО} & D_{КО} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \text{ch}(\gamma l_1) & Z_B \text{sh}(\gamma l_1) \\ \frac{\text{sh}(\gamma l_1)}{Z_B} & \text{ch}(\gamma l_1) \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} 1 & Z_{ЭК} \\ 0 & 1 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} \text{ch}(\gamma l_2) & Z_B \text{sh}(\gamma l_2) \\ \frac{\text{sh}(\gamma l_2)}{Z_B} & \text{ch}(\gamma l_2) \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} 1 & 0 \\ \frac{1}{Z_{ВХ.СМР}} & 1 \end{vmatrix}. \quad (22)$$

После перемножения и преобразования с учетом формул для $\text{sh}(\pm)$ и $\text{ch}(\pm)$ и выражения (19) получим следующие обобщенные уравнения для рельсового четырехполосника перегонных рельсовых цепей:

$$\left. \begin{aligned} A_{\text{ко}} &= \text{ch}(\gamma l) + 2E\sqrt{1+2p}\text{ch}(\gamma l_1)\text{sh}(\gamma l_2) + S_1; \\ B_{\text{ко}} &= Z_{\text{в}}[\text{sh}(\gamma l) + 2E\sqrt{1+2p}\text{ch}(\gamma l_1)\text{ch}(\gamma l_2)]; \\ C_{\text{ко}} &= \frac{1}{Z_{\text{в}}}\left[\text{sh}(\gamma l) + 2E\sqrt{1+2p}\text{sh}(\gamma l_1)\text{sh}(\gamma l_2)\right] + S_3 + S_4; \\ D_{\text{ко}} &= \text{ch}(\gamma l) + 2E\sqrt{1+2p}\text{sh}(\gamma l_1)\text{ch}(\gamma l_2) + S_2. \end{aligned} \right\} (23)$$

$$\text{где } S_1 = \frac{Z_{\text{в}}}{Z_{\text{вх.смп}}}\left[\text{sh}(\gamma l) + 2E\sqrt{1+2p}\text{ch}(\gamma l_1)\text{ch}(\gamma l_2)\right];$$

$$S_2 = \frac{Z_{\text{в}}}{Z_{\text{вх.смп}}}\left[\text{sh}(\gamma l) + 2E\sqrt{1+2p}\text{ch}(\gamma l_1)\text{ch}(\gamma l_2)\right];$$

$$S_3 = \frac{1}{Z_{\text{вх.смп}}}\left[\text{ch}(\gamma l) + 2E\sqrt{1+2p}\text{ch}(\gamma l_1)\text{sh}(\gamma l_2)\right];$$

$$S_4 = \frac{1}{Z_{\text{вх.смп}}}\left[\text{ch}(\gamma l) + 2E\sqrt{1+2p}\text{sh}(\gamma l_1)\text{ch}(\gamma l_2) + S_2\right].$$

Причем при расчете ТРЦ, ограниченной со стороны питающего конца $S_2 = 0$ и $S_3 = 0$, а для ТРЦ, ограниченной со стороны релейного конца соответственно $S_1 = 0$ и $S_4 = 0$.

Для учета бесконечно длинного и замкнутого накопителя в начале участка, находящегося за смежной рельсовой цепью, необходимо при расчете A -параметров рельсового четырехполосника воспользоваться выражением (VII.4) из [2]:

$$\left. \begin{aligned} A_{\text{рл.смп}} &= \text{ch}(\gamma' l_{\text{смп}}) + \text{sh}(\gamma' l_{\text{смп}}); \\ B_{\text{рл.смп}} &= Z_{\text{в}}\text{sh}(\gamma' l_{\text{смп}}); \\ C_{\text{рл.смп}} &= \frac{1}{Z_{\text{в}}}\left[\text{sh}(\gamma' l_{\text{смп}}) + \text{ch}(\gamma' l_{\text{смп}})\right]; \\ D_{\text{рл.смп}} &= \text{ch}(\gamma' l_{\text{смп}}). \end{aligned} \right\} (24)$$

Тогда входное сопротивление смежной рельсовой цепи со стороны питающего конца

$$Z_{\text{вх.смп}} = \frac{A_{\text{рл.смп}}Z_{\text{смп}} + B_{\text{рл.смп}}}{C_{\text{рл.смп}}Z_{\text{смп}} + D_{\text{рл.смп}}}. \quad (25)$$

Для расчета входного сопротивления смежной рельсовой цепи со стороны релейного конца необходимо в (24) заменить $l_{\text{смп}}$ на $l_{\text{смп}}$, а в (24) $Z_{\text{смп}}$ на $Z_{\text{смп}}$.

Для проверки корректности предложенного метода был произведен расчет A -параметров рельсового четырехполосника бесстыковой ТРЦ методом численного решения системы линейных уравнений с помощью вычислительного блока *Given / Find* системы компьютерной алгебры *Mathcad 15* и методом вносимого сопротивления. Параметры исследуемой ТРЦ: $l_{\text{рл}} = 0,5$ км; $l_{\text{смп}} = l_{\text{смп}} = 0,7$ км; $l_1 = l_2 = 0,25$ км; частота сигнального тока $f = 420$ Гц; $Z_{\text{смп}} = Z_{\text{смп}} = 0,42e^{j46,8}$.

Дополнительно сравнивались результаты расчета, полученные двумя различными способами при одном

произвольном наборе исходных данных. Расчет относительной погрешности полученных результатов для оценки результатов расчета, выполненного различными способами по следующей формуле:

$$\delta = \frac{X_1 - X_2}{X_1} \cdot 100\%, \quad (26)$$

где X_1, X_2 – коэффициенты (A, B, C или D) рельсового четырехполосника полученные методами численного решения системы линейных уравнений [1, 2, 4, 5] и вносимого сопротивления.

С помощью выражения (26) была выполнена оценка результатов расчета A -параметров по методу вносимого сопротивления относительно A -параметров, рассчитанных методом численного решения системы линейных уравнений, для 10 000 точек с различными исходными данными.

Наибольшее значение погрешности составляет $4,249 \cdot 10^{-14}\%$, что в свою очередь подтверждает корректность применения метода вносимого сопротивления для получения A -параметров рельсового четырехполосника перегонных ТРЦ в контрольном режиме.

Так как физически очень затруднительно провести исследование работы рельсовой цепи в контрольном режиме, необходимо при составлении регулировочных таблиц иметь математические модели, достаточно точно описывающие физические процессы, которые происходят при изломе рельса.

Рассмотренные методики получения численных значений A -параметров рельсового четырехполосника [1, 2, 4, 5] позволяют достаточно точно оценить пути растекания сигнального тока вдоль рельсовой линии. Однако недостатком данных методик является необходимость составления системы линейных уравнений на основании граничных условий для последующего определения значений постоянных интегрирования. Количество уравнений в свою очередь зависит от топологии рассматриваемого участка.

Применение же предложенного способа расчета контрольного режима методом вносимого сопротивления в свою очередь позволяет отказаться от составления громоздких уравнений. При анализе перегонной ТРЦ методом вносимого сопротивления достаточно знать ее топологию для того, чтобы при помощи обобщенного выражения (23) получить численные значения A -параметров рельсового четырехполосника.

Стоит отметить, что в классических математических моделях [1, 2, 4, 5] расчет ТРЦ производится только в установившемся состоянии, без учета искажения спектра при его прохождении через устройства ТРЦ. Сигнал ТРЦ имеет довольно сложную форму, и при расчетах дополнительно следует учитывать его частотные составляющие при помощи метода рядов Фурье [3].

Метод вносимого сопротивления для анализа контрольного режима может быть использован для со-

ставления регулировочных таблиц перегонных ТРЦ, при составлении классификаторов состояний рельсовых линий и при необходимости может быть дополнен методом рядов Фурье [3] для учета частотной и временной составляющей сигнала ТРЦ.

Список литературы

1 Котляренко, Н. Ф. Электрические рельсовые цепи / Н. Ф. Котляренко. – М. : Трансжелдориздат, 1961. – 327 с.

2 Брылеев, А. М. Теория, устройство и работа рельсовых цепей / А. М. Брылеев, Ю. А. Кравцов, А. В. Шишляков. – М. : Транспорт, 1978. – 344 с.

3 Медведев, Д. Д. Анализ искажений амплитудно-манипулированного сигнала контроля рельсовых линий / Д. Д. Медведев // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2024. – № 1 (48). – С.17–23.

4 Щербина, А. Е. Способ повышения устойчивости функционирования рельсовых цепей тональной частоты : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.08 / А. Е. Щербина; Московский гос. ун-т путей сообщения. – М., 2011. – 24 с.

5 Щербина, А. Е. Методика получения А-параметров эквивалентного четырехполюсника рельсовой линии при изломе рельса без аналитического решения дифференциальных уравнений / А. Е. Щербина, Е. Г. Щербина // Автоматика на транспорте. – 2024. – Т. 10, № 2. – С. 123–154.

Получено 11.11.2024

D. D. Medvedev. Methods of calculation of control mode of overpass tonal rail circuits.

The paper is devoted to the problem of rail line analysis at rail fracture in tone rail circuits used in centralized autoblocking systems. The existing methods of calculation of A-parameters of the equivalent four-pole of the rail line are analyzed. A computer mathematical model for obtaining numerical values of A-parameters of the equivalent four-pole pole of a rail line is developed. It is proposed to use the method of equivalent impedance to analyze the rail line at rail fracture in tone rail circuits. The generalized equations for the rail quadrupole of tunnel rail circuits at rail fracture are presented.

УДК 621.332.3

Д. В. ШКОРОЕДОВ, Д. А. ЧЕРНОУС, кандидат технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

ВАРИАНТ РАСЧЕТА СИЛОВОЙ НАГРУЖЕННОСТИ ДВУХТЯГОВОГО КРОНШТЕЙНА ЛЭП

Разработана расчетная методика определения силовой нагруженности двухтягового кронштейна КПСИП-3, основанная на использовании уравнений статики твердого тела и допущении о недеформируемости балки кронштейна. В отличие от традиционных методов механики материалов данная методика позволяет получить относительно простые аналитические соотношения для реакций связей и провести многопараметрический анализ силовой нагруженности кронштейна в процессе эксплуатации. Установлены зависимости сил в креплениях кронштейна и внутреннего момента в балке от значений одного из конструктивных параметров. Результаты расчетов сопоставлены с данными, полученными при использовании метода сил для раскрытия статической неопределенности.

Введение. Одним из элементов креплений воздушных линий электрических передач являются кронштейны. В настоящее время всё более широко начинают применяться кронштейны, изготовленные из композитных материалов на основе полимеров [1]. Эти конструкции часто для краткости называют полимерными кронштейнами. В частности, на железнодорожном транспорте для поддержания и изоляции проводов воздушных линий электропередачи устройств сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ) и линии продольного электроснабжения (ПЭ) напряжением 6–10 кВ используются кронштейны серии КПСИП [2]. В этих устройствах балка кронштейна и тяги выполнены из профильного электроизоляционного стеклопластика. На рисунке 1 представлен схематичный чертеж кронштейна КПСИП-3, предназначенного для крепления трех проводов. Наиболее распространенный вариант изготовления кронштейна подразумевает крепление «малой» тяги в точке подвеса внутреннего провода. Однако, как будет показано в дальнейшем, такое крепление не является оптимальным с точки зрения минимизации механических нагрузок.

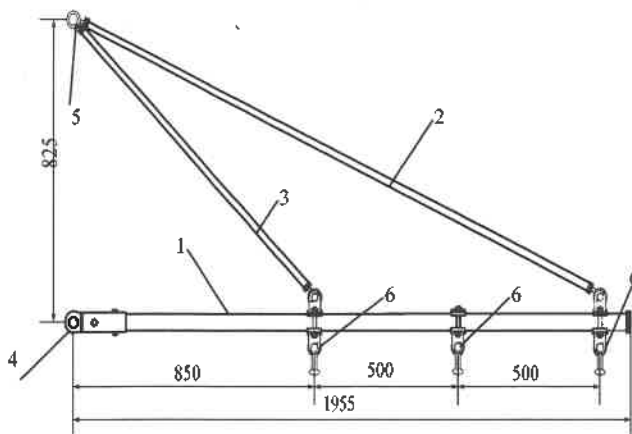


Рисунок 1 – Схематичный чертеж кронштейна КПСИП-3. 1 – балка кронштейна; 2 – «большая» тяга; 3 – «малая» тяга; 4 – крепление балки кронштейна к опоре ЛЭП; 5 – крепление тяг к опоре ЛЭП; 6 – устройства крепления проводов ЛЭП к балке кронштейна

Полимерные кронштейны превосходят традиционно используемые стальные аналоги по электроизоляционным показателям, себестоимости, технологичности изготовления и эксплуатации, устойчивости к

негативным климатическим воздействиям. Однако показатели механических жесткости и прочности материалов полимерного кронштейна ниже соответствующих значений для сталей. Поэтому при возрастании ветровой или гололедной нагрузок происходит излом балки кронштейна КПСИП-3 или разрыв одной из тяг [3]. Данное обстоятельство обуславливает актуальность оптимизации конструкции полимерного кронштейна с целью снижения его силовой нагруженности. Подобная оптимизация требует разработки расчетной методики, позволяющей с приемлемой точностью прогнозировать значения деформационно-прочностных показателей кронштейна во всем возможном диапазоне изменения значений конструктивных параметров. Расчет на прочность двухтягового кронштейна усложняется тем, что система сил, действующих на его балку, является статически неопределимой. Для раскрытия неопределенности можно использовать один из трех подходов.

1 Подход, основанный на классических методах механики материалов (методе сил или перемещений) [4]. Преимущество данного подхода состоит в учете процесса изгиба балки кронштейна. Недостатком этого подхода является громоздкость аналитических соотношений и трудоемкость реализации при произвольном значении геометрических параметров.

2 Подход, основанный на построении и анализе численной математической модели рассматриваемой конструкции. При этом задача теории упругости для данной конструкции решается одним из численных методов, в частности, методом конечных элементов [5]. Численные модели позволяют не только учесть деформативность всех элементов кронштейна, но и производить расчеты без упрощений геометрии конструкции. Однако использование этого подхода для поиска оптимальных значений геометрических параметров конструкции сопряжено с существенным повышением трудоемкости процесса оптимизации.

3 Подход, основанный на допущении о том, что балка кронштейна является абсолютно жестким телом. При этом для раскрытия статической неопределенности используется метод возможных перемещений и закон Гука для тяг. В рамках данного подхода используются только соотношения статики твердого тела [6].

В известных научных публикациях для прочностного расчета кронштейнов используются только первый [7] или второй [2] из описанных подходов. Вместе с тем аналитические соотношения для действующих на балку кронштейна сил и моментов, получаемые в рамках третьего подхода, позволяют существенно упростить процесс установления оптимальных значений геометрических параметров рассматриваемой конструкции.

В связи с вышесказанным, целью настоящего исследования является разработка упрощенной методики расчетного определения показателей силовой нагруженности двухтягового полимерного кронштейна КПСИП-3, основанной на допущении о недеформируемости балки кронштейна.

Расчетная методика

На рисунке 2 представлена расчетная схема кронштейна КПСИП-3. Здесь введены обозначения: G – нагрузка от силы тяжести провода; F – сила аэродинамического сопротивления; R_y, R_x – компоненты реакции в точке крепления кронштейна к опоре; T_y, T_x – компоненты силы натяжения в тросах. Значения расстояний, указанных на рисунке 2, приведены в таблице 1 и соответствуют конструкции кронштейна (см. рисунок 1). Для компонент $T_{1y}, T_{1x}, T_{2y}, T_{2x}$ сил в тросах выполняются соотношения

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{T_{1y}}{T_{1x}} = \frac{H}{d}, \quad \operatorname{tg} \beta = \frac{T_{2y}}{T_{2x}} = \frac{H}{a+2b}. \quad (1)$$

Здесь H – расстояние между точками крепления кронштейна и тяги к опоре.

Таблица 1 – Геометрические параметры расчетной схемы кронштейна КПСИП-3

Параметр	a	b	H	h
Значение	850	500	825	10

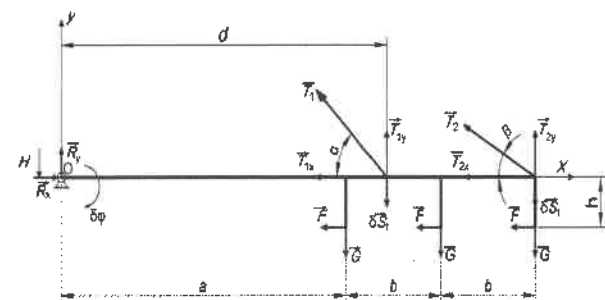


Рисунок 2 – Расчетная схема кронштейна КПСИП-3

В рамках данной работы будем использовать подход к раскрытию статической неопределенности системы сил, основанный на упрощенных соотношениях статики твердого тела. Как будет показано далее, результаты использования данного подхода и метода сил для рассматриваемой конструкции различаются несущественно.

Возможным перемещением балки кронштейна является поворот на угол $\delta\varphi$ вокруг шарнира O (см. рисунок 2). При этом точка крепления «малой» тяги смещается вертикально на $\delta s_1 = \delta\varphi \cdot d$, а точка крепления «большой» тяги – на $\delta s_2 = \delta\varphi(a+2b)$. Данные смещения определяют удлинения соответствующих тросов

$$\Delta l_1 = l_1 - l_{01} = \sqrt{(H + \delta s_1)^2 + d^2} - \sqrt{H^2 + d^2}; \quad (2)$$

$$\Delta l_2 = l_2 - l_{02} = \sqrt{(H + \delta s_2)^2 + (a+2b)^2} - \sqrt{H^2 + (a+2b)^2}.$$

Здесь l_{01}, l_{02} – длины тросов без учета возможного смещения. Так как возможные перемещения являются бесконечно малыми, то выражения для удлинений Δl можно разложить в ряд по степеням δs и оставить только линейные слагаемые

$$\Delta l_1 = \Delta l_1|_{\delta s_1=0} + \frac{d\Delta l_1}{d\delta s_1}|_{\delta s_1=0} \cdot \delta s_1 = \frac{H\delta s_1}{\sqrt{H^2 + d^2}};$$

$$\Delta l_2 = \Delta l_2|_{\delta s_2=0} + \frac{d\Delta l_2}{d\delta s_2}|_{\delta s_2=0} \cdot \delta s_2 = \frac{H\delta s_2}{\sqrt{H^2 + (a+2b)^2}}. \quad (3)$$

В соответствии с законом Гука удлинения тросов вызывают возникновение в данных тросах сил натяжения

$$T_1 = EA \frac{\Delta l_1}{l_{01}}, \quad T_2 = EA \frac{\Delta l_2}{l_{02}}.$$

Здесь E, A – модуль Юнга материала и площадь поперечного сечения тросов.

Подставив в равенства для сил натяжения соотношения (1)–(3), получим

$$T_1 = EA\delta\varphi \frac{Hd}{[H^2 + d^2]}, \quad T_2 = EA\delta\varphi \frac{H(a+2b)}{[H^2 + (a+2b)^2]}. \quad (4)$$

Для определения сил натяжения в тросах составим уравнение равновесия балки кронштейна. Сумма моментов сил относительно шарнира O равна нулю

$$T_{1y}d + T_{2y}(a+2b) - Ga - G(a+b) - G(a+2b) - 3Fh = 0.$$

Подставим в данное уравнение равновесия выражения для сил натяжения. После выполнения математических преобразований получим выражение для комбинации величин $EA\delta\varphi$

$$EA\delta\varphi = \frac{3}{H^2} [G(a+b) + Fh] \times \left(\frac{d^2}{[H^2 + d^2]^{3/2}} + \frac{(a+2b)^2}{[H^2 + (a+2b)^2]^{3/2}} \right)^{-1}. \quad (5)$$

Зная данную комбинацию величин, определяем по формулам (4) силы натяжения в тросах. Для определения силы в шарнире O составим уравнения равновесия балки кронштейна. Сумма проекций сил на ось x (рисунок 2) равна нулю

$$R_x - T_{1x} - T_{2x} - 3F = 0.$$

Следовательно

$$R_x = T_1 \frac{d}{\sqrt{H^2 + d^2}} + T_2 \frac{a+2b}{\sqrt{H^2 + (a+2b)^2}} + 3F. \quad (6)$$

Сумма проекций сил на ось y равна нулю

$$R_y + T_{1y} + T_{2y} - 3G = 0.$$

Следовательно

$$R_y = 3G - T_1 \frac{H}{\sqrt{H^2 + d^2}} - T_2 \frac{H}{\sqrt{H^2 + (a+2b)^2}}. \quad (7)$$

Зная проекции R_x и R_y , определим модуль реакции шарнира

$$R_0 = \sqrt{R_x^2 + R_y^2}. \quad (8)$$

Таким образом, последовательное использование соотношений (5), (4), (6), (7), (8) позволяет при заданных значениях размеров кронштейна (H , a , b , h) и известных нагрузках (F , G) определить значения сил в тросах и шарнире для произвольного значения d .

Пример расчета

На рисунке 3 представлены расчетные зависимости силы в «большой» тяге и реакции шарнирного крепления от расстояния d , полученные для нормативных значений нагрузок [2] $G = 2$ кН и $F = 0,3G = 0,6$ кН. Данные графики позволяют сделать вывод о том, что снижение силовой нагруженности кронштейна наиболее эффективно реализуется в диапазоне значений d от 1000 до 1200 мм. Учитывая требование минимизации материалоемкости конструкции, в качестве оптимального значения расстояния d можно принять $d_0 = 1090$ мм, соответствующее математическому минимуму реакции в шарнире.

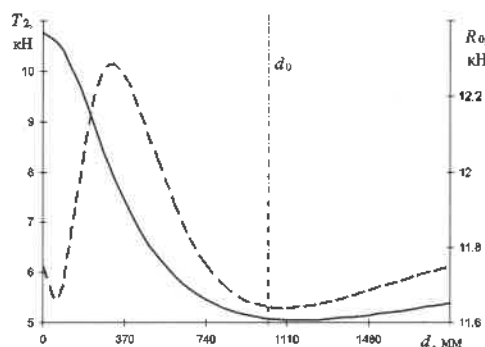


Рисунок 3 – Расчетные зависимости силы натяжения в «большой» тяге (сплошная кривая) и реакции шарнирного крепления (пунктирная) от расстояния между точкой крепления «малой» тяги к балке кронштейна и шарнирным креплением

В таблице 2 представлено сопоставление результатов использования разработанной методики с расчетными оценками, полученными при раскрытии статической неопределенности методом сил [4].

Таблица 2 – Расчетные оценки силы натяжения в «малой» тяге и максимального (по модулю) момента в балке кронштейна

d , мм	T_1 , кН		M_{max} , кН·м
	Метод сил	Разработанная методика	
850 (a)	6,67	7,04	0,88
1090 (d_0)	6,08	6,54	0,48
1350 ($a + b$)	5,79	6,09	0,65

Трудно прогнозируемым является тот факт, что оценки силы натяжения в «малой» тяге (а значит, и сил T_2 , R_0), полученные на основе различных подходов практически совпадают. Расхождение данных значений не превышает 10 % от соответствующих оценок, полученных в рамках методов механики материалов. При этом разработанная упрощенная методика приводит к несколько завышенным оценкам силы T_1 .

Получено 10.10.2024

D. V. Shkoroedov, D. A. Chernous. Option for calculation of power loading of a double-trust bracket of transmission line.

A calculation method for determining the power loading of a double-thrust bracket KPSIP-3 has been developed, based on the use of equations of rigid body statics and the assumption of non-deformability of the bracket beam. Unlike traditional methods of material mechanics, this method allows obtaining relatively simple analytical relationships for the reactions of connections and conducting a multi-parameter analysis of the power loading of the bracket during operation. The dependences of the forces in the bracket fastenings and the internal moment in the beam on the values of one of the design parameters have been established. The calculation results are compared with the data obtained using the force method to disclose static uncertainty.

Зная реакции внешних связей, можно установить распределение внутреннего изгибающего момента в балке кронштейна. Рассмотрим эпюры момента для трех характерных положений «малой» тяги (рисунок 4). Можно отметить, что при креплении тяги на расстоянии $d = d_0$ максимальное по модулю значение изгибающего момента будет наименьшим из рассмотренных вариантов.

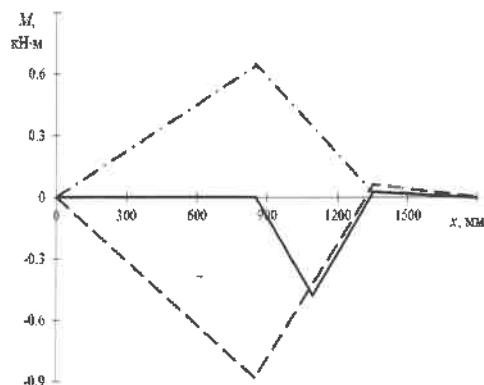


Рисунок 4 – Эпюры внутреннего изгибающего момента в балке кронштейна при $d = d_0$ (сплошная кривая), $d = a$ (пунктирная), $d = a + b$ (штрихпунктирная)

Заключение

С использованием разработанной методики установлено оптимальное с точки зрения минимизации реакций внешних связей и внутреннего изгибающего момента значение расстояния от шарнирного крепления до точки крепления «малой» тяги к балке кронштейна. Показано, что расчетные оценки, полученные на основе разработанной методики не более чем на 10 % отличаются от результатов использования метода сил.

Список литературы

- 1 НГО-13-3320. Кронштейны из полимерных материалов. – М.: ЦНИИС, 2013. – 82 с.
- 2 Кочунов, Ю. А. Разработка и исследования полимерного кронштейна воздушной линии электропередачи в сетях нетяговых железнодорожных потребителей 6–10 кВ : дис. ... канд. техн. наук: 05.22.07 / Ю. А. Кочунов. – Екатеринбург, 2016. – 235 с.
- 3 ТКП 641-2019 (33240). Линии электропередачи воздушные. Ветровые воздействия, гололедные нагрузки и ветровые воздействия при гололеде / М-во энергетики Респ. Беларусь. – Минск : Экоэнерго, 2020. – 121 с.
- 4 Старовойтов, Э. И. Механика материалов : учеб. / Э. И. Старовойтов. – Гомель : БелГУТ, 2011. – 380 с.
- 5 Алямовский, А. А. Инженерные расчеты в SolidWork Simulation / А. А. Алямовский. – М.: ДМК-Пресс, 2010. – 464 с.
- 6 Шимановский, А. О. Статика твердого тела : учеб.-метод. пособие / А. О. Шимановский. – Гомель : БелГУТ, 2023. – 87 с.
- 7 Кочунов, Ю. А. Аналитическое определение прочности стеклопластикового кронштейна проводов для линий продольного электроснабжения / Ю. А. Кочунов // Транспорт Урала. – 2014. – № 3 (43). – С. 102–108.

АВТОМОБИЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ

УДК 656.13.05

С. А. АЗЕМША, кандидат технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ И ЭФФЕКТИВНОСТИ КООРДИНИРОВАННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ НА ул. КИРОВА г. ГОМЕЛЯ

Реализация координированного регулирования группой светофорных объектов является современным, малозатратным методом повышения эффективности и качества дорожного движения. Координированное регулирование группой светофорных объектов на улицах современных городов имеет важное значение и позволяет обеспечивать плавный и непрерывный поток транспорта, минимизируя пробки и задержки, увеличивает пропускную способность дороги и сокращает время в пути для водителей и пассажиров, повышает безопасность дорожного движения, содействует эффективному использованию дорожной инфраструктуры и повышению мобильности горожан.

Данная научная статья посвящена обоснованию параметров и эффективности координированного регулирования на улице Кирова в городе Гомеле. Рассматривается важность координирования работы светофорных объектов для обеспечения плавного и безопасного движения транспорта на данной улице. Автор исследует различные факторы, влияющие на выбор параметров регулирования, такие как интенсивность движения, объем транспорта и особенности дорожной инфраструктуры. После таких исследований производится обоснование параметров координированного регулирования применением специализированного программного продукта. Также проводится анализ эффективности координированного регулирования на улице Кирова, с учетом улучшения пропускной способности и снижения задержек для водителей и пассажиров. Результаты исследования могут быть полезными для разработки оптимальных параметров работы светофоров на данной улице и повышения качества дорожного движения в городе Гомеле.

Введение. Координирование работы групп светофорных объектов на улицах современных городов имеет огромное значение для эффективности дорожного движения и безопасности всех участников. Синхронизация светофоров позволяет обеспечить плавный и непрерывный поток транспорта на перекрестках, минимизируя пробки и задержки. Также оптимизация работы светофоров с учетом интенсивности движения и объема транспорта позволяет увеличить пропускную способность дороги, сокращая время в пути для водителей и пассажиров. Кроме того, координирование светофоров способствует более безопасному дорожному движению, так как это позволяет уменьшить количество аварий и конфликтных ситуаций на перекрестках.

Для повышения эффективности организации дорожного движения разработаны и успешно используются специализированные программные продукты для транспортного планирования и моделирования. В данной статье при помощи программного продукта ArteruLite [1, 2] производится оптимизация и координация параметров светофорного регулирования на регулируемых перекрестках улицы Кирова г. Гомеля.

Улица Кирова имеет существенное значение для города Гомеля, в частности для центрального и железнодорожного районов. Она является одной из основных улиц, которая связывает наиболее загруженные магистрали города Гомеля улицу Советскую и улицу Интернациональную.

Согласно действующей классификации улица Кирова относится к категории улиц Б. Начинается у площади Труда, заканчивается у перекрестка Советская – Малайчука. Протяженность улицы Кирова составляет 3,6 км.

Улицу Кирова пересекают следующие улицы: Советская, Дынды, Телегина, Новополевская, Хатаевича, Докутович, Рогачевская и др. Часть из них расположены последовательно друг за другом и имеют светофорное регулирование (рисунок 1), что и обосновывает целесообразность координирования их работы.



Рисунок 1 – Исследуемая часть ул. Кирова

На всём протяжении улицы Кирова в каждом направлении имеется по 2 полосы движения, шириной 3,5 м. На рассматриваемом участке расположено шесть регулируемых светофорных объектов. На каждом из них в настоящее время организованы светофорные циклы, продолжительность которых и сдвиги

включения разрешающих сигналов не увязаны для целей реализации координированного регулирования.

Для рассматриваемых светофорных объектов были изучены их геометрические характеристики, схемы организации дорожного движения, а также интенсивности движения транспортных и пешеходных потоков. При помощи полученных таким образом данных была построена модель исследуемого участка улицы Кирова

в программном продукте ArteryLite. Для оценки эффективности существующих условий движения было произведено моделирование работы исследуемой части улицы Кирова в утренний и вечерний часы пик. Результаты такого моделирования представлены в таблице 1. Локальные характеристики функционирования каждого перекрестка при существующем регулировании приведены в таблице 2.

Таблица 1 – Результаты функционирования ул. Кирова при существующем регулировании

Период	Средняя задержка, с/авт.	Остановки, шт.	КПС	Средняя скорость, км/ч	Расход топлива, л	Индекс эффективности
07:00–08:00	23,5	7249	0	27,8	809	0,1733
17:00–18:00	24,3	7544	0	27,0	812	0,1702

Таблица 2 – Локальные характеристики функционирования ул. Кирова при существующем регулировании

Период	Пересечение	Задержка, с/авт.	Остановка		Расход топлива, л	Уровень обслуживания
			Абсолютное значение	%		
07:00–08:00	Перекресток с ул. Советской	38,6	3011,1	88	305,82	D
	Перекресток с ул. Дынды	13,7	735,9	45	97,26	B
	Перекресток с ул. Федосеенко	11,2	391,1	26	52,58	B
	Пешеходный переход рядом с ЖОВД	13,1	422,6	28	57,89	B
	Пешеходный переход рядом с ГГУ	20,5	708,3	51	78,7	C
	Перекресток с ул. Телегина	12,8	741,2	42	91,36	B
	Перекресток с ул. Новополевской	16,5	959,7	59	96,35	B
17:00–18:00	Перекресток с ул. Советской	39,2	3218,2	91	312,6	D
	Перекресток с ул. Дынды	14,5	832,0	48	100,02	B
	Перекресток с ул. Федосеенко	11,3	393,3	26	53,14	B
	Пешеходный переход рядом с ЖОВД	14,2	623,0	39	73	B
	Пешеходный переход рядом с ГГУ	20,7	722,0	53	79,0	C
	Перекресток с ул. Телегина	12,9	743,2	43	91,02	B
	Перекресток с ул. Новополевской	16,4	922,0	54	92,3	B

Затем были рассчитаны возможности конфликтного движения в одинаковых фазах, минимальные (по условиям пешеходного движения) продолжительности основных тактов и оптимизированы при помощи ArteryLite сдвиги включения разрешающих сигналов. Полученная таким образом диаграмма безостановочного движения приведена на рисунке 2. В таблице 3 приведены значения показателей эффективности дорожного движения для существующего и скоординированного режимов работы

исследуемого участка. Локальные характеристики функционирования каждого перекрестка при координированном регулировании приведены в таблице 4. На рисунке 3 приведена итоговая диаграмма экономических потерь на исследуемом участке ул. Кирова до и после реализации координированного регулирования.

Все приведенные данные показывают целесообразность реализации предложенного координированного регулирования.

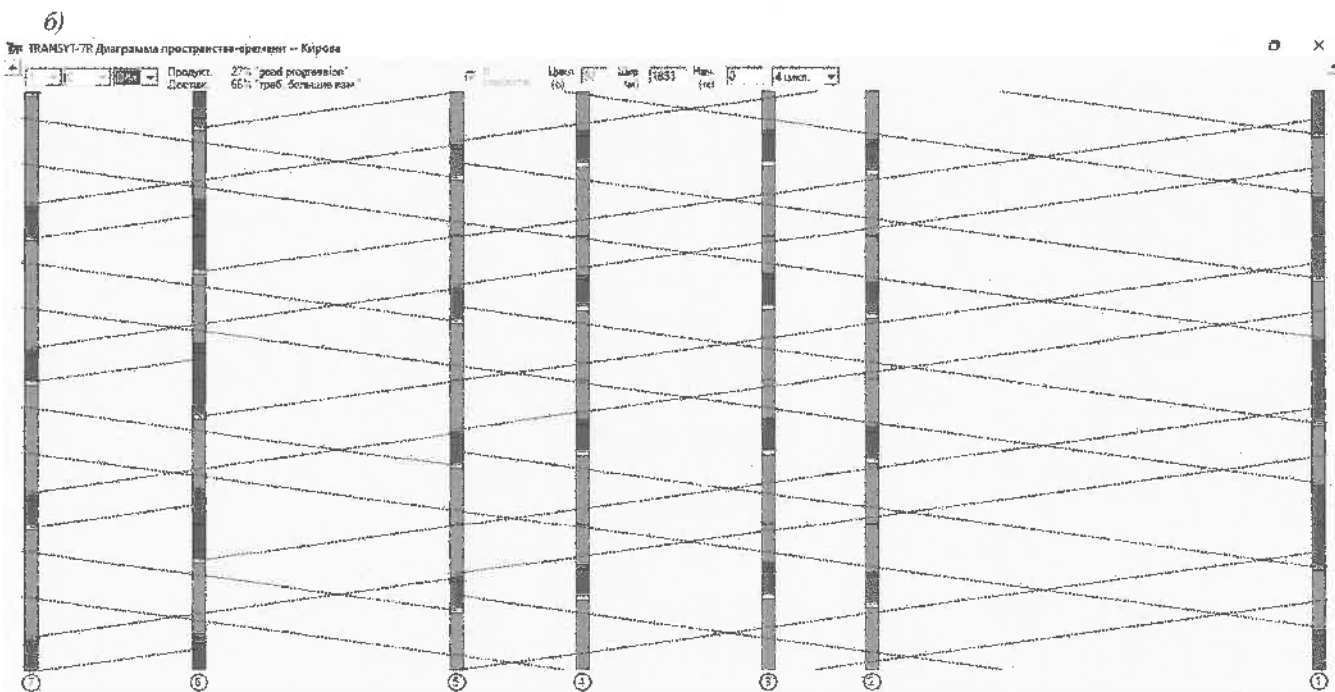
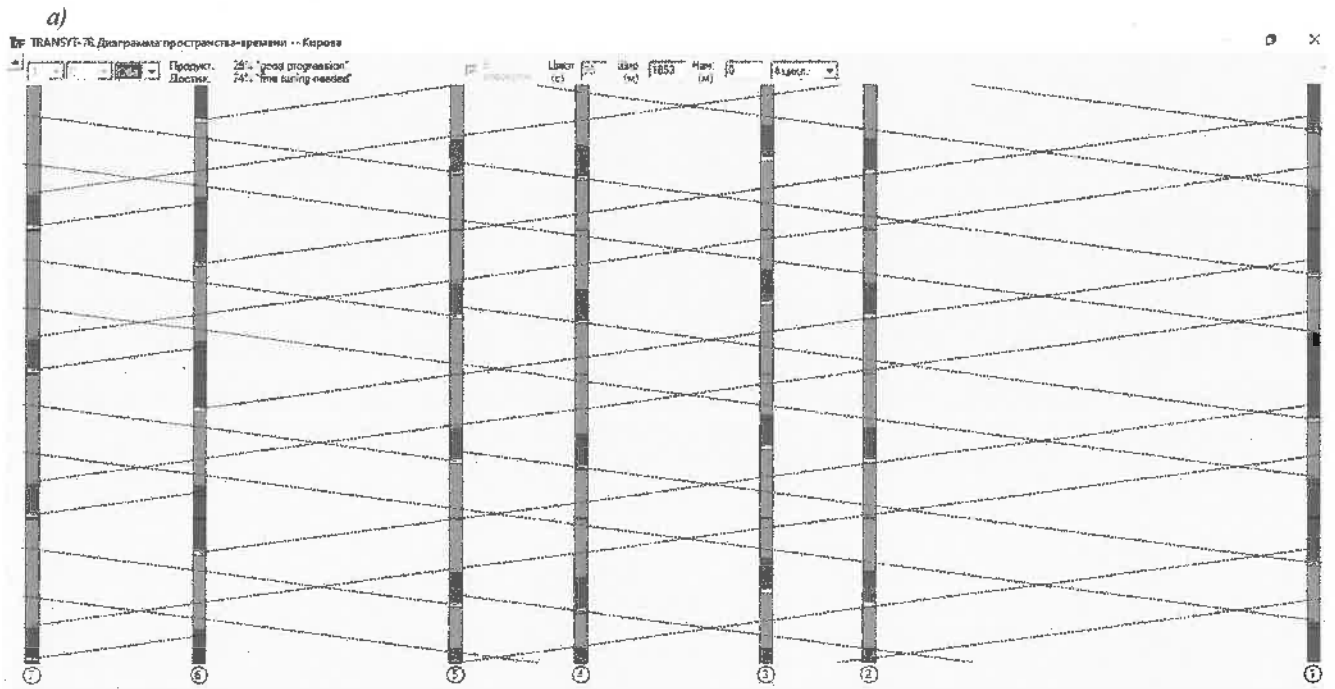


Рисунок 2 – Диаграмма пространства-времени для утреннего (а) и вечернего (б) часа пик

Таблица 3 – Средняя удельная задержка ТС

Период	Средняя задержка, с/авт.		Остановки, шт./ч		Средняя скорость, км/ч		Расход топлива, л/ч	
	сущест- вующая	координи- рованная	сущест- вующие	координи- рованные	сущест- вующая	координи- рованная	сущест- вующий	координи- рованный
07:00–08:00	23,5	9,8	7249	4677	27,8	40,5	809	607
17:00–18:00	24,3	9,5	7544	4651	27,0	40,8	812	606

Таблица 4 – Локальные характеристики функционирования ул. Кирова при координированном регулировании

Период	Пересечение	Задержка, с/авт.	Остановка		Расход топлива, л	Уровень обслуживания
			Абсолютное значение	%		
07:00–08:00	Перекресток с ул. Советской	23,9	2386,9	72	255,85	С
	Перекресток с ул. Дынды	2,6	363,5	23	71,71	А
	Перекресток с ул. Федосеенко	1,0	79,8	5	31,19	А
	Пешеходный переход рядом с ЖОВД	4,3	355,0	24	46,02	А
	Пешеходный переход рядом с ГГУ	5,3	465,1	34	54,94	А
	Перекресток с ул. Телегина	20,2	787,9	57	115,40	С
	Перекресток с ул. Новополесской	6,0	580,3	36	71,05	А
17:00–18:00	Перекресток с ул. Советской	22,7	2228,3	70	240,30	С
	Перекресток с ул. Дынды	2,7	381,68	24	75,30	А
	Перекресток с ул. Федосеенко	1,1	83,79	5	32,75	А
	Пешеходный переход рядом с ЖОВД	4,5	372,75	25	48,32	А
	Пешеходный переход рядом с ГГУ	5,6	488,36	36	57,69	А
	Перекресток с ул. Телегина	18,3	698,2	55	112,40	С
	Перекресток с ул. Новополесской	6,3	609,32	38	74,60	А

Экономические потери, у.е./год

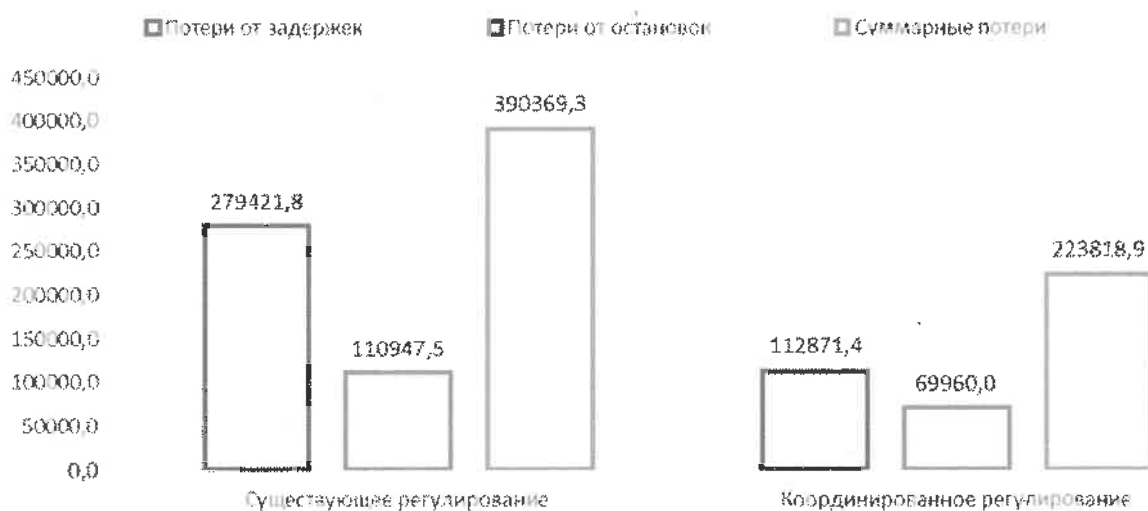


Рисунок 3 – Экономическая оценка при различных видах светофорного регулирования

Заключение и выводы.

В данной публикации на основании моделирования работы участка ул. Кирова г. Гомеля, состоящего из шести регулируемых объектов, в программном продукте ArteryLite установлено, что при существующих параметрах регулирования и отсутствии координации суммарные экономические потери от остановок и задержек транспортных средств составляют более 390 тыс. у.е./год. Оптимизация параметров светофорного регулирования, а

также расчет параметров координированного регулирования в том же программном продукте позволили снизить суммарные экономические потери транспортного потока до 223,8 тыс. у.е./год.

Список литературы

- 1 ArteryLite. Руководство пользователя. – 101 с.
- 2 Transyt-7FR. Руководство пользователя (русская версия). – 508 с.
- 3 Аземша, С. А. / Оптимизация параметров координированного регулирования по ул. Советской г. Гомеля /

С. А. Аземша, Т. В. Грищенко, О. О. Ясинская // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2022. – № 1 (44) – С. 18–26.

4 Аземша, С. А. / Оценка влияния характеристик регулируемых перекрестков на эффективность оптимизации их работы корреляционным анализом / С. А. Аземша, П. И. Капитанов // Организация и безопасность дорожного движения : материалы XIV Национальной науч.-практ. конф. с междунар. участием (13 мая 2021 г.) / отв. ред. Д. А. Захаров. – Тюмень : ТИУ, 2021. – С. 152–157.

5 Аземша, С. А. / Повышение эффективности дорожного движения на перекрестках внедрением адаптивного регулирования / С. А. Аземша, П. И. Капитанов, В. И. Евланов // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2020. – С. 31–36.

6 Dauhulevich, V. Reducing the negative impact of vehicles on air quality by optimizing the traffic light cycle at the intersection / V. Dauhulevich, S. Azemsha // ECOLOGICA / glavni urednik Larisa Jovanović, God. 1, broj 1 (1994) – Beograd (Kneza Miloša 7a): Naučno-stručno društvo za zaštitu životne sredine Srbije. – 2019. – Vol. 96 – P. 499–504.

Получено 05.03.2024

S. A. Azemsha. Justification of parameters and efficiency of coordinated regulation on Kirova street in Gomel.

The implementation of coordinated regulation by a group of traffic light objects is a modern, low-cost method of improving the efficiency and quality of road traffic. Coordinated regulation by a group of traffic light objects on the streets of modern cities is important and allows to provide a smooth and continuous flow of traffic, minimising congestion and delays, increases road capacity and reduces travel time for drivers and passengers, improves road safety, promotes the effective use of road infrastructure and increases the mobility of citizens.

This research paper is devoted to the justification of parameters and effectiveness of coordinated regulation on Kirov Street in the city of Gomel. The article discusses the importance of coordinating the work of traffic light facilities to ensure smooth and safe traffic flow on this street. The author investigates various factors influencing the choice of regulation parameters, such as traffic intensity, traffic volume and road infrastructure features. After such studies, the justification of the coordinated control parameters is done by using a specialised software product. The effectiveness of coordinated traffic control on Kirov Street is also analysed, taking into account the improvement of traffic capacity and reduction of delays for drivers and passengers. The results of the study can be useful for the development of optimal parameters of traffic lights on this street and improving the quality of traffic in the city of Gomel.

УДК 656.13.05

С. А. АЗЕМША, кандидат технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ НЕРОВНОСТЕЙ НА ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОТЕРИ В ДОРОЖНОМ ДВИЖЕНИИ

Ежегодно на дорогах мира погибают более 270 тыс. пешеходов. В глобальных масштабах на долю пешеходов приходится 22 % общего числа случаев смерти в результате дорожно-транспортных происшествий, а в Республике Беларусь – порядка половины таких случаев. В настоящее время одним из основных мероприятий по повышению безопасности движения пешеходов является применение искусственных неровностей. Это объясняется низкой стоимостью реализации и высокой скоростью выполнения работ. В то же время следует понимать, что применение искусственных неровностей снижает скорость движения транспортных средств, что наряду со снижением аварийных потерь дает рост экологических и экономических потерь в дорожном движении.

Целью данной статьи является оценка влияния применения искусственных неровностей на экономические потери в дорожном движении путем установления вида зависимости между такими потерями и параметрами транспортных и пешеходных потоков. Достижение такой цели производится сбором натурных данных о работе реальных объектов, на которых установлены искусственные неровности, имитационным моделированием их работы, установлением регрессионной модели между зависимой и независимыми переменными.

Введение. Искусственная неровность (ИН) – конструкция, устраиваемая в виде возвышения на проезжей части дороги с целью принудительного снижения скорости движения транспортных средств или предупреждения водителей транспортных средств (ТС) о приближении к опасному участку дороги путем шумового воздействия [1].

Классификацию, технические требования, правила приемки и методы контроля ИН устанавливает [1], а правила их применения и размещения – [2].

Конструкции ИН в зависимости от назначения и условий применения классифицируют следующим образом:

- конструкции ИН1 (типа «лежачий полицейский»), устраиваемые перед или на опасных для дорожного движения (ДД) участках дорог с целью принудительного снижения скорости движения ТС (рисунок 1, а);

- конструкции ИН2 (приподнятый пешеходный переход), устраиваемые на пешеходных переходах с целью пропуска пешеходов и принудительного снижения скорости движения ТС (рисунок 1, б);

- конструкции ИН3 (шумовые полосы), устраиваемые с целью предупреждения водителей ТС о приближении к опасному участку дороги путем шумового воздействия (рисунок 1, в).

Как следует из определения ИН, ИН1 и ИН2 предназначены для целей снижения скорости движения ТС. Очевидно, что такое воздействие на транспортный поток приведет к снижению количества и тяжести дорожно-транспортных происшествий (ДТП). Действительно, в [3] отмечено, что создание предпосылок для достижения в будущем в Республике Беларусь такого состояния ДД, при котором исключаются травматизм и гибель людей в результате ДТП – основная цель госу-

дарственной политики в области ДД и обеспечения его безопасности на всех уровнях управления.

Следует понимать, что сопряженное с применением ИН снижение скорости наряду с повышением безопасности ДД влияет на экономические потери. Это обусловлено тем, что при проезде ИН водитель снижает скорость, а затем, после ее проезда, вновь разгоняется. Таким образом образуется перерасход топлива, рост времени на преодоление участка улицы. При этом чем больше интенсивность движения транспортного потока, тем больше будет величина таких потерь. Поэтому целью данной статьи является оценка влияния применения ИН на экономические потери в ДД путем установления вида зависимости между такими потерями и параметрами транспортных и пешеходных потоков.

В качестве объектов исследования выбраны 5 ИН типа ИН2, расположенных на нерегулируемых пешеходных переходах на ул. Огоренко, в районе дома № 13; ул. Каменщикова, в районе дома № 46; ул. Свиридова, в районе домов № 14, 27, 79 г. Гомеля (рисунок 2). Для указанных объектов были определены интенсивности транспортного и пешеходного потоков по часам суток, а также геометрические характеристики этих объектов. Всё это послужило базой для создания имитационных моделей исследуемых пешеходных переходов в программном продукте RTV Visim. При помощи таких моделей смоделирована работа объектов исследования и определены величины задержек и остановок ТС на них, а также их стоимость (таблица 1).

По полученным таким образом данным было построено графическое представление зависимости потерь в ДД от установки ИН (Π , у.е./ч) от интенсивностей транспортных (Q , ед./ч) и пешеходных (P , пеш./ч) потоков (рисунок 3).

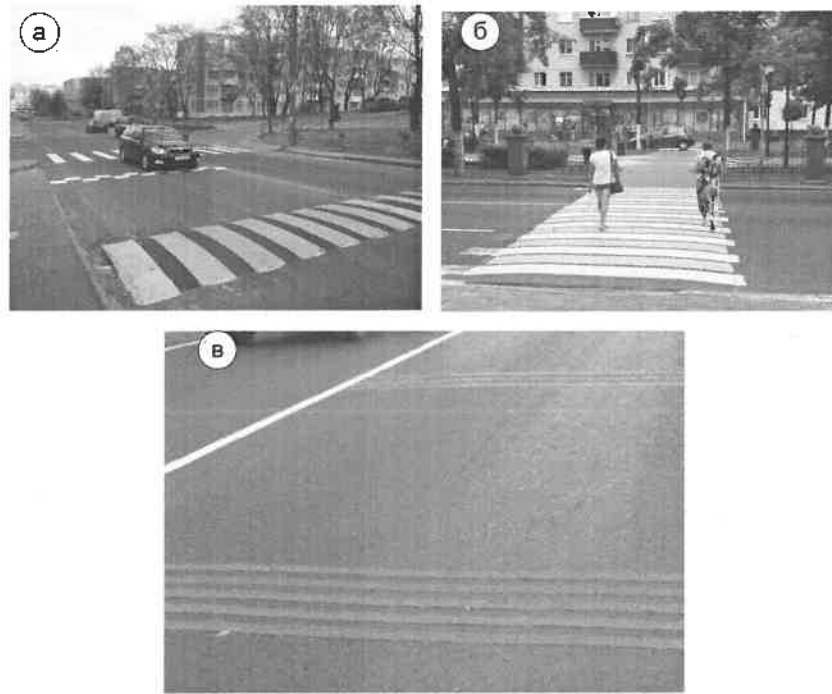


Рисунок 1 –Классификация ИН: а – ИН1; б – ИН2; в – ИН3



Рисунок 2 – Объекты исследования

Таблица 1 – Результаты моделирования работы пешеходных переходов (фрагмент (07:00–08:00))

Место	Огоренко	Каменщикова	Свиридова 14	Свиридова 27	Свиридова 79
Число полос	4	3	4	3	4
Интенсивность ТС, ед./ч	1056	726	1194	948	624
Интенсивность пешеходов, пеш./ч	96	36	60	174	390
Потери с ИН, у.е./ч	2,505	1,009	3,334	2,720	8,209
Потери без ИН, у.е./ч	1,162	0,499	1,062	1,066	4,865
Потери из-за ИН, у.е./ч	1,344	0,510	2,273	1,654	3,345

Для установления вида зависимости $\Pi = f(Q, P)$ использовался множественный нелинейный регрессионный анализ, реализованный в [4]. Результаты такого анализа представлены в таблице 2. Из таблицы 2 видно, что искомая зависимость имеет вид

$$\Pi = -0,849627 + 0,000002 Q^2 + 0,000021 P^2. \quad (1)$$

Также видно, что значение коэффициента корреляции равно 0,855. Это говорит о высокой степени связи между зависимой и независимыми переменными. Значение коэффициента детерминации, равное 0,731, говорит о том, что более 73 % значений зависимой переменной объясняются значениями независимых переменных. Значения уровней доверительной вероятности

(p-level) меньше 0,05, как в общем для модели, так и для каждой ее независимой переменной. Это говорит о

том, что полученная модель и ее коэффициенты статистически значимы.

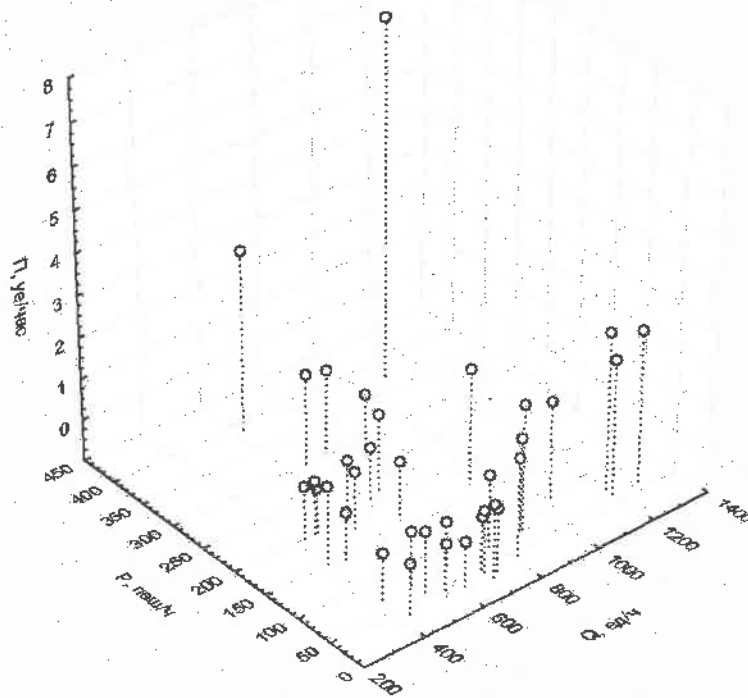


Рисунок 3 – Зависимость между приведенной интенсивностью транспортного (Q) и пешеходного (P) потоков и величиной экономических потерь в ДД из-за установки ИН (Π)

Таблица 2 – Результаты Множественной нелинейной регрессии

Regression Summary for Dependent Variable: Π (Spreadsheet1) $R = ,85467965$ $R^2 = ,73047730$ Adjusted $R^2 = ,71363213$ $F(2,32) = 43,364$ $p < 0,05$						
Свободный член	Beta	Std.Err.	B	Std.Err.	t(32)	p-level
	–	–	–0,849627	0,247	–3,436	<0,05
Q^2	0,657	0,092	0,000002	0,000	7,159	<0,05
P^2	0,558	0,092	0,000021	0,000	6,076	<0,05

На рисунке 4 приведена гистограмма распределения остатков.

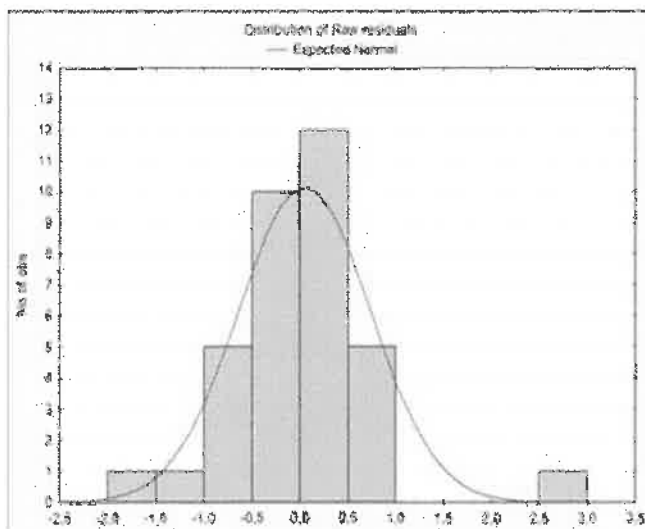


Рисунок 4 – Гистограмма распределения остатков

Из рисунка 4 видно, что распределение остатков схоже с нормальным законом распределения. Это го-

ворит об адекватности модели (1). Таким образом, модель (1) может быть использована для прогнозирования дополнительных экономических потерь в ДД, возникающих из-за установки ИН.

На рисунке 5 приведены фактическая зависимость между приведенной интенсивностью транспортного (Q) и пешеходного (P) потока и величиной экономических потерь в ДД из-за установки ИН (Π), а также соответствующее регрессионное выражение.

Полученное выражение (1) может быть использовано для оценки целесообразности применения ИН на конкретном пешеходном переходе. Для этого необходимо подсчитать интенсивность транспортных и пешеходных потоков на таком переходе, подставить их в выражение (1). Полученную таким образом величину дополнительных, вследствие установки ИН, экономических потерь необходимо сравнить с величиной снижения аварийных потерь. Если снижение аварийных потерь будет выше, чем рост экономических, то можно говорить о целесообразности применения ИН. Графически суть приведенного сравнения представлена на рисунке 6.

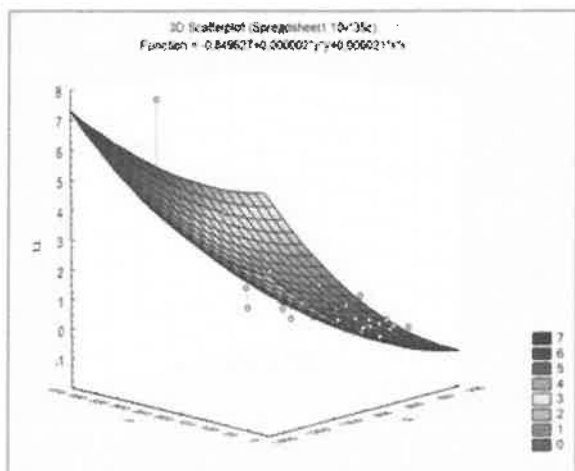


Рисунок 5 – Фактическая зависимость между приведенной интенсивностью транспортного и пешеходного потоков и величиной экономических потерь

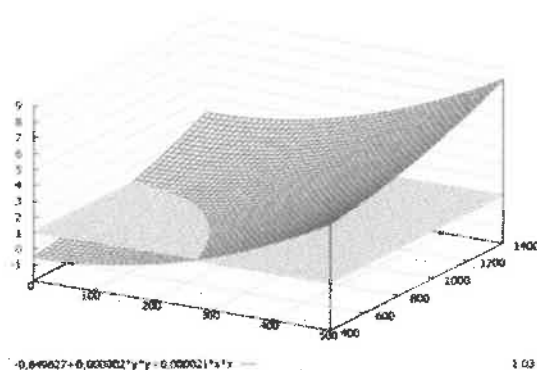


Рисунок 6 – График зависимости экономических потерь и аварийных потерь при одном пострадавшем

На рисунке 6 горизонтальная плоскость изображает величину экономии годовых аварийных потерь из-за установки ИН. В данном примере это одно ДТП с ранеными. Наклонная плоскость показывает выражение (1), т. е. величину экономических потерь, которые появляются вследствие установления ИН. Видно, что такие потери растут с увеличением интенсивности как транспортного, так и пешеходного потока, и эти плоскости пересекаются, образуя два множества значений таких интенсивностей:

– множество 1 – интенсивности транспортных и пешеходных потоков, при которых плоскость, показы-

вающая уравнение (1), находится ниже плоскости, показывающей снижение аварийных потерь;

– множество 2 – интенсивности транспортных и пешеходных потоков, при которых плоскость, показывающая уравнение (1), находится выше плоскости, показывающей снижение аварийных потерь.

Если на исследуемом объекте значения интенсивностей транспортных и пешеходных потоков попадают во множество (1), т. е. величина увеличения экономических потерь от введения ИН меньше, чем величина снижения аварийных потерь (горизонтальная плоскость на рисунке 6 выше), то применение ИН можно считать целесообразным.

Заключение и выводы.

В данной публикации рассмотрена актуальная задача оценки влияния применения ИН на рост экономических потерь в ДД. Для такой оценки был исследован ряд пешеходных переходов г. Гомеля, на которых применены ИН (см. рисунок 2). По результатам такого обследования построены их имитационные модели, при помощи которых были оценены величины экономических потерь в ДД от применения ИН (см. таблицу 1, рисунок 3). Приведена методика определения целесообразности применения ИН, основанная на оценке разницы между снижением аварийных потерь и ростом экономических потерь от такого применения, а также ее графическая интерпретация (см. рисунок 6).

Список литературы

- 1 СТБ 1538–2013. Технические средства организации дорожного движения. Искусственные неровности. Общие технические условия. – Введ. 27.11.13. – Минск : Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации; Беларус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2013. – 15 с.
- 2 СТБ 1300–2014. Технические средства организации дорожного движения. Правила применения. – Введ. 28.01.14 (с изм. и доп.). – Минск : Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации; Беларус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2014. – 144 с.
- 3 О Концепции обеспечения безопасности дорожного движения в Республике Беларусь [Электронный ресурс] : постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 22 мая 2023 г., № 329 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2024.
- 4 Statistica 13.3 (Serial number JRR709H998119TE-A).

Получено 05.03.2024

S. A. Azemsha. Assessment of the impact of road traffic bumps on economic losses in road traffic.

More than 270.000 pedestrians die on the world's roads each year. Globally, pedestrians account for 22 percent of total road traffic fatalities, and in the Republic of Belarus they account for about half of such fatalities. Currently, the main intervention to improve pedestrian safety is the use of road bumps. This is due to the low cost of implementation and high speed of work. At the same time, it should be understood that the use of road bumps reduces the speed of vehicles, which along with the reduction of accident losses gives an increase in environmental and economic losses in road traffic.

The aim of this article is to evaluate the impact of the use of road bumps on economic losses in road traffic by establishing the type of dependence between such losses and the parameters of traffic and pedestrian flows. Achievement of such a goal is made by collecting field data on the operation of real objects where road bumps are installed, simulation modelling of their operation, establishing a regression model between the dependent and independent variables.

УДК 656.062

А. А. МИХАЛЬЧЕНКО, кандидат технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

ОСОБЕННОСТИ ЛОГИСТИКИ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК В УСЛОВИЯХ ОГРАНИЧЕНИЙ И САНКЦИЙ

Приведены результаты исследований логистики пассажирских перевозок в международном сообщении Республики Беларусь в условиях ограничений и санкций. Рассматриваются методические основы формирования современной логистики пассажирских перевозок в новых условиях функционирования транспорта при выполнении их в международном сообщении. Рассматриваются варианты организации пассажирских перевозок различными видами транспорта при интеграционном сотрудничестве перевозчиков различных государств.

Введение. В условиях ограничений и санкций, проводимых в последнее время, транспортная система Беларуси не работает в том режиме, который бы соответствовал необходимому уровню комфортности поездки пассажира в международном сообщении. Воздушное сообщение со странами ЕС практически отсутствует и пассажирские перевозки в этом направлении носят эксклюзивный характер. По отношению к белорусским и российским перевозчикам в странах ЕС введены ограничения и санкции, что значительно усложнило передвижение граждан по территории Беларуси в международном сообщении.

Воздушные перевозки в страны ЕС из Беларуси выполняются с использованием пассажирской логистики через аэропорты Стамбула (Турция) или Батуми (Грузия). Продолжительность такой перевозки значительно возросла. При этом возникли неудобства для поездки: значительная продолжительность предполётного контроля пассажиров (до 3 часов) при начальном и транзитном отправлении; зависимость полетов от геополитической ситуации в регионе; возросшие стоимостные параметры поездки (в 2–3 раза).

Широкое распространение получили пассажирские перевозки наземным транспортом: автомобильным и железнодорожным. При этом потребовались новые методические разработки для формирования эффективной модели перевозки пассажиров с интеграцией видов транспорта и перевозчиков различных государств.

При формировании эффективной современной логистики пассажирских перевозок используются информационные технологии транспортной логистики в пассажирских перевозках.

Основная часть. Спрос на перевозки пассажиров в международном сообщении в Беларуси и странах ЕС (на въезд) практически не изменяется в течение нескольких лет. Независимо от ограничений и санкций сохраняются отношения различных форм: родственные, научные контакты (совещания, симпозиумы, конференции), туризма (познавательный, с целью отдыха, учитывая, что в стране нет выхода к морю). Спрос на такие поездки практически поддерживается в течение года. Проведены исследования структуры международных пассажирских перевозок в страны ЕС. Функциональное распределение поездок в течение года

выглядит следующим образом: туризм на постоянной основе (круглогодично) – 31,4 %; поддержание родственных связей – 36,3 %; отдых – 32,3 %. Диаграмма спроса на перевозки в международном сообщении в Беларуси приведена на рисунке 1.

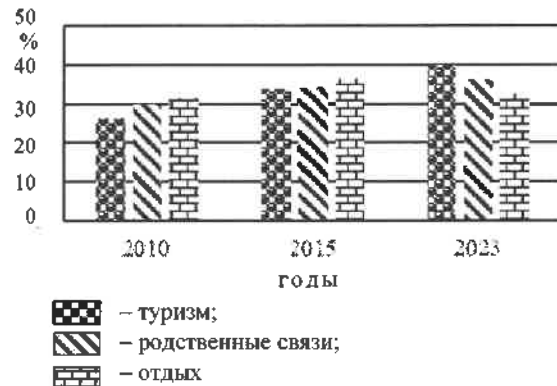


Рисунок 1 – Динамика спроса на пассажирские перевозки в международном сообщении

Из рисунка 1 видно, что структура спроса на пассажирские перевозки в международном сообщении на продолжительный период времени практически не изменяется.

По видам транспорта имеет место значительное изменение структуры его использования в международном пассажирском сообщении. Диаграмма использования гражданами Беларуси видов транспорта в 2023 году для международных пассажирских перевозок приведена на рисунке 2.



Рисунок 2 – Распределение пассажиропотоков в международном сообщении по видам транспорта

Из диаграммы, приведенной на рисунке 2, видно, что основным видом транспорта при выполнении перевозок пассажиров в международном сообщении остается автомобильный. На его использование приходится 59 % перевозок пассажиров.

В существующей системе организации пассажирских перевозок в международном сообщении имеются недостатки и недоработки, которые появились при ограничениях и санкциях. Они включают [1]:

- слабое развитие логистики пассажирских перевозок;

- устаревшее отношение транспортных организаций к сегментированному рынку пассажирских перевозок между различными видами транспорта.

Следует отметить, что виды транспорта работают в собственных функциональных режимах и целевых интересах. Это лишает потенциального пассажира международного сообщения возможности выбрать наиболее приемлемый для себя вариант поездки по уровню ценового и комфортного рассмотрения, перечня оказываемых при этом услуг.

Логистика пассажирских перевозок имеет особенности, которые следует учитывать при формировании перевозок пассажиров в международном сообщении в сложившихся условиях [2]. При выполнении пассажирских перевозок в международном сообщении для условий Беларуси выделяются следующие особенности:

- территориальная подвижность населения по функциональным признакам поездки;

- мобильность пассажиров по видам сообщения и транспорта;

- уровень развития логистики пассажирских перевозок при реализации логистической цепочки перемещения пассажира;

- состояние пассажирской транспортной системы, пригодной для выполнения мультимодальной и интермодальной перевозки.

В создавшихся условиях ограничений и санкций приобретает популярность использование инновационной логистики в системе организации и управления пассажирскими перевозками в международном сообщении [3]. Для данного вида сообщений характерным для формирования логистики пассажирских перевозок является следующее:

- инновационная логистика – это система методик целесообразной организации новаторской деятельности транспортных организаций и управления пассажирскими потоками;

- современная пассажирская логистика рассматривает процесс проектирования и включения организационно-экономических инноваций в управленческую деятельность организаций пассажирского транспорта для сокращения затрат и улучшения качества транспортного обслуживания пассажиров [4].

С учетом этих постулатов выделены основные задачи инновационной логистики при управлении пассажирскими перевозками в международном сообщении:

- создание современных стратегий в сфере управления потоковыми процессами в пассажирской транспортно-логистической системе. Основу составляют экономические, математические и статистические эффективные модели;

- систематизация и реализация передового опыта инновационной работы в сфере пассажирской логистики;

- создание организационного и экономического механизма для осуществления гармоничной деятельности системы управления пассажирскими перевозками;

- адаптация к реальным условиям развития функционирующих пассажирских транспортных структур.

Инновационная логистика управления пассажирскими перевозками способна осуществить необходимое регулирование провозных и пропускных способностей транспортных коммуникаций и возрастающих объемов пассажиропотоков.

Система пассажирской логистики выстраивается с интеграцией всех пассажиропотоков в международном сообщении. Она основывается на применении компьютерных технологий для управления перевозками пассажиров от конструирования пассажиропотоков до объединения процессов перевозок на видах транспорта в местах пересадок, регулирования и организации сервисных услуг для пассажиров, нормирования, анализа, учета, мониторинга, регулирования и оперативной диспетчеризации [5].

В странах с небольшой территорией и транспортной системой имеет место практическая реализация логистического подхода при осуществлении перевозок пассажиров различными видами транспорта в международном сообщении. Это приводит к следующим результатам:

- высокая убыточность пассажирских перевозок и покрытие убытков за счет дотирования от доходов грузовых перевозок или осуществления других видов деятельности транспортными предприятиями;

- низкое качество услуг на всех этапах пассажирских перевозок, характеризующееся большой продолжительностью поездки, несогласованностью графиков по основным пунктам пересадки и основным пассажирообразующим пунктам;

- непредсказуемость функционирования пограничных переходов на автомобильном транспорте, что срывает расписание движения автобусов и их прибытие в пункт дальнейшей поездки граждан (воздушным транспортом);

- снижение технологической и финансовой устойчивости предприятий транспорта, что зачастую выражается в количественном недостатке соответствующего международного стандартам подвижного состава;

- техническое состояние транспортной инфраструктуры пограничных зон находится на недостаточном уровне предоставляемой пассажиру транспортной услуги;

- низкий уровень конкурентоспособности международных транспортных предприятий, по сравнению с перевозчиками иностранных государств, по сектору пассажирских перевозок.

Главные направления реализации инновационной политики при развитии логистики пассажирских перевозок в международном сообщении для Республики Беларусь:

- высокий уровень интеграции сервисных услуг пассажирских перевозок для выполнения одним или несколькими видами транспорта;

– учет интересов пассажира в формате складывающегося тарифа и соответствие условию «цена – качество» транспортных услуг на различных видах транспорта;

– развитие транспортной деятельности предприятий, связанной с перевозками пассажиров в международном сообщении, которое должно максимально вписываться в логистические схемы пассажирских перевозок;

– оптимизация новых логистических условий действующих технологий и схем выполнения пассажирских перевозок [6].

Современные технологии в логистике пассажирских перевозок в общей системе пассажирских перевозок имеют две глобальные проблемы:

1) выполнение перевозок при низких тарифах с низким уровнем окупаемости (40–60 %) и низким качеством транспортного обслуживания и в старом подвижном составе (что особенно актуально для пассажирских перевозок социального значения [7]);

2) при значимом повышении тарифов отмечается резкое падение объемов перевозок пассажиров и активизация конкурентов на рынке пассажирских перевозок Республики Беларусь (в частности, в международном сообщении).

Наложение санкций и ограничений произошло по следующим направлениям:

– технологические: 1) запрет на пересечение границы транспортом, принадлежащим организациям Беларуси; 2) ограничения на сроки эксплуатации транспортных средств (не более 10 лет); 3) использование технологии пограничного и таможенного контроля по более продолжительным срокам и неудобным пересечениям границы пассажирами;

– финансовые: 1) ограничение на использование финансовых средств в банковских системах причастных государств; 2) запрет на использование межбанковских переводов, что увеличило использование наличных финансовых ресурсов и их бартера; 3) ограничение использования резервных валют во взаиморасчетах за выполненные перевозки; 4) разная номенклатура расходов при формировании бухгалтерской и статистической отчетности;

– организационные: 1) ограничение доступа к международной транспортной инфраструктуре; 2) недопуск персонала сопредельных стран к работе на их коммуникациях; 3) отказ в визовой поддержке оперативного персонала.

В создавшейся ситуации ограничений и санкций транспортными организациями разрабатываются новые методики выполнения перевозочного процесса, которые реализуются на видах транспорта в различных вариантах международных пассажирских перевозок. При этом рассматриваются нетрадиционные предпосылки:

- геополитика;
- потребность населения в поездках;
- платежеспособность населения;
- востребованный класс обслуживания;
- параметры времени доставки пассажиров;

– логистика транспортного обслуживания пассажиров [6, 7].

Модель организации международной перевозки пассажиров, построенная независимо от вида транспорта, имеет вид интегрирования с заменой переменной. Формализация модели основана на проведении подинтегрального выражения и использования свойств неопределенного интеграла, т. е.

$$A = \int f(a) da = \int f(a(t)) a'(t) dt, \quad (1)$$

где $\alpha(t)$ – количество отправленных пассажиров международного сообщения по железной дороге за период t ;

$$\alpha(t) = \sum_{j=1}^k (\beta_j^{tp} \alpha_j), \quad (2)$$

β_j^{tp} – обобщенный показатель тренда отправления пассажиров по i -й станции; α_j – количество отправленных пассажиров в международном сообщении по i -й станции.

Максимальный пассажиропоток в международном сообщении

$$A_{\max} = \frac{f(a)(w - \alpha)}{f(w_i) - f(\alpha_i)}, \quad (3)$$

где w – количество пассажиров с учетом исключаемых по причине санкций и ограничений в целом по железной дороге; w_i – количество пассажиров, попадающих под санкции и ограничения по i -й станции.

Значительное влияние на выполнение пассажирских перевозок в международном сообщении оказала геополитика. В условиях санкций и ограничений между государствами роль геополитики заключается в следующем:

– ограничение по визовой поддержке иностранным гражданам;

– санкции по отношению к транспортным компаниям, размещенным в государствах санкционного и подсанкционного вердикта;

– изменение направления движения пассажиропотоков с уменьшением их объемов в западном направлении и увеличением в южном;

– сокращение перевозок пассажиров при введении ограничений на пересечение государственной границы отдельными видами транспорта.

Количество пассажиров, включаемых в санкции и ограничения,

$$A_{\text{ит}} = A_{\text{отр}} \int \frac{d\alpha_i}{\sqrt{e^{\alpha} - 1}}. \quad (4)$$

В соответствии с приведенной моделью формируется развернутая расчетная формула интегрированного трендового прогнозного показателя по пассажирским перевозкам в международном сообщении:

$$\beta_{q_j}^{tp} = 1 + \frac{\sqrt{\frac{\gamma_j^{n,n} \cdot q_j^{np/nc}}{a_j^{fao}}} - \sqrt{\frac{\varphi_j^{n,n} \cdot q_j^{np/nc}}{a_j^{fao}}} + \sqrt{\frac{\nu_j^{n,n} \cdot q_j^{np/nc}}{a_j^{fao}}} + \sqrt{\frac{\delta_j^{n,n} \cdot q_j^{np/nc}}{a_j^{fao}}} - \sqrt{\frac{\mu_j^{1,n} \cdot q_j^{np/nc}}{a_j^{fao}}} + \sqrt{\frac{\tau_j^{1,n} \cdot q_j^{np/nc}}{a_j^{fao}}}}{\text{mid}(q_j^{np}; q_j^{fao})}, \quad (5)$$

где γ_j^n – индекс геополитических изменений территории прогнозирования; ϕ_j^n – индекс платежеспособности граждан и инфляции в Республике Беларусь; ν_j^n – изменения потребности выполнения пассажирских перевозок; δ_j^n – влияние класса обслуживания и степени развития и использования IT-технологий при обслуживании пассажиров; μ_j^n – индекс изменения тарифной политики Белорусской железной дороги и государства; τ_j^n – сезонности перевозок пассажиров.

Распределение объема пассажирских перевозок в международном сообщении по факторам прогнозирования показано на рисунке 3.

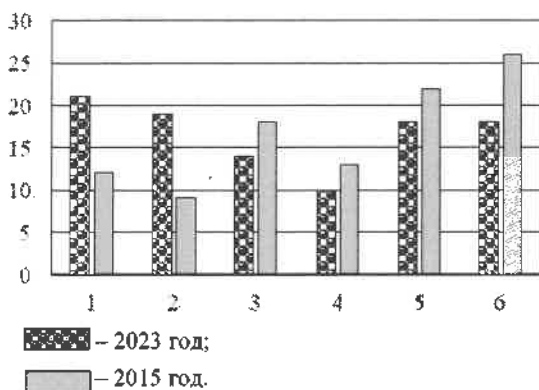


Рисунок 3 – Диаграмма распределения объема пассажирских перевозок в международном сообщении по факторам прогнозирования:

- 1 – геополитика; 2 – потребность населения в поездках;
- 3 – платежеспособность населения; 4 – востребованный класс обслуживания; 5 – параметры времени доставки пассажиров;
- 6 – логистика транспортного обслуживания пассажиров

Из приведенных диаграмм видно, что наименьшие изменения получил фактор выбора класса обслуживания. Наибольшие изменения связаны с потребностью в перевозках пассажиров в международном сообщении.

Рассматривается модель учета геополитики при выполнении пассажирских перевозок в международном сообщении. Она учитывает потребность населения в поездках в международном сообщении железнодорожным транспортом. Это сегодня является важным фактором, влияющим на объемы пассажирских перевозок.

По отношению к XX веку в XXI веке потребность в пассажирских перевозках в международном сообщении у населения многих стран значительно изменилась. На первое место выходит туризм. Его объемы выросли за последние 50 лет в 11 раз. Вторым фактором, определяющим потребность населения в перевозках, является транспортное обеспечение образования. По данному фактору можно отметить рост передвижений по студенческому обмену, реализации многих молодежных программ.

Платежеспособность населения взаимосвязана с потребностью в перевозках. За последние годы она значительно выросла. По данным ВМФ, в странах Европы и Евразии она выросла в 4–6 раз. При этом следует

отметить возросшее качество пассажирских перевозок: комфортабельный подвижной состав, высокие скорости движения пассажирских поездов по специальным железнодорожным линиям, использование информационных технологий при выполнении начально-конечных операций с пассажирами и в пути следования. Это позволяет железным дорогам предоставлять информационные услуги пассажирам.

Класс обслуживания при выполнении пассажирских перевозок в международном сообщении имеет важное значение для конкуренции видов транспорта. В международном сообщении используются следующие классы обслуживания.

VIP – для привилегированных пассажиров, которые путешествуют и параметр времени для них не является приоритетным. Стоимость проезда в вагонах такого класса значительно превышает тариф проезда в обычном вагоне (в 2–3 раза). За последние 10 лет спрос на проезд по классу VIP значительно вырос.

СВ – используется для массового пассажира. Спрос на проезд в таких вагонах вырос за рассматриваемый период незначительно, а на некоторых направлениях даже снизился.

Конкуренция железной дороги с воздушным транспортом потребовала использования скоростных поездов. Построены новые скоростные линии. Так, в КНР эти линии имеют протяженность более 80000 км. Выгода от использования скоростных линий железной дороги заключается в нескольких параметрах:

- более 60 % имеют аэрофобию – боязнь летать на самолетах;
- продолжительность предполетных процедур в аэропортах (необходимость прибытия за три часа до отправления самолёта);
- удаленность аэропортов от населенных пунктов.

В результате продолжительность поездки пассажира на воздушном транспорте в ряде случаев превышает железнодорожную перевозку в 1,5–2 раза. Например, на линии Минск – Москва продолжительность проезда составляет:

- по железной дороге: в течение 7 ч с прохождением пограничного контроля в движении поезда;
- воздушный транспорт: проезд в аэропорт – один час; предполетный контроль за три часа до вылета самолета; один час – перелет по маршруту Минск – Москва; один час – процедуры послеполетного сервиса и пограничного контроля; 1,5 часа – проезд из аэропорта в город. Общая продолжительность – 7,5 ч.

При этом нужно рассматривать фактор территориального комфорта: поезд отправляется и прибывает в центр Минска и Москвы.

В условиях санкций и ограничений на перевозки пассажиров в международном сообщении изменена логистика их выполнения. Имеет место резкое сокращение или отмена прямых рейсов на воздушном транспорте (в страны ЕС – полная отмена полетов). Увеличение продолжительности воздушных перевозок (продолжитель-

ность перелета из Минска в Ганновер – 1,2 суток). В логистической схеме используется аэропорт Стамбула.

В таких условиях выигрывает наземный транспорт. При его использовании рассматриваются два варианта.

1 *Железнодорожный транспорт*: перевозка пассажира до границы в своем подвижном составе, прохождение пограничных процедур, пересадка в подвижной состав иностранного государства и проезд до места назначения. Выполняются стыковочные рейсы на пограничных станциях, которые учитывают продолжительность пограничного и вокзального сервиса на станции пересадки. Проезд выполняется по единому или дифференцированным документам.

2 *Автомобильный транспорт*:

– перевозка пассажиров выполняется аналогично железной дороге – до границы и после неё автобусами различных иностранных администраций;

– перевозка выполняется автотранспортом одной из администраций по всему международному маршруту с переменным водителем в пограничном пункте. Это связано с отказом визовой поддержки водителям. На протяжении всего маршрута используется один автобус без пересадки пассажиров в пунктах пограничного контроля.

Продолжительность поездки пассажира при введении логистики в международном сообщении возрастает незначительно (рисунок 4)

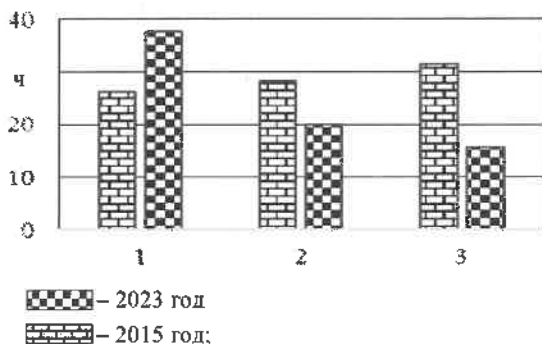


Рисунок 4 – Продолжительность поездки пассажира в международном сообщении при использовании варианта логистики:

1 – прямое сообщение; 2 – комбинированная перевозка одним видом транспорта; 3 – комбинированная перевозка несколькими видами транспорта

Из приведенных диаграмм видно, что наиболее привлекательным в условиях санкций и ограничений является прямое сообщение. Оно выполняется автомобильным транспортом.

В последнее время актуальными у пассажиров в международном сообщении являются комбинированные маршруты нескольких видов транспорта. Например, при проезде из Гомеля в Париж используются два вида транспорта: автомобильный и воздушный. На маршруте Гомель (автовокзал) – Варшава (аэропорт) – Париж общая продолжительность поездки составляет 14 ч 30 мин.

Положительным моментом для таких маршрутов является:

– самый быстрый маршрут из имеющихся;

– стоимость проезда покрывается в национальных валютах по месту приобретения проездных документов;

– перевозка по маршруту от пункта пограничного контроля до посадки в самолёт выполняется без дополнительных контрольных процедур.

К недостаткам сервиса перевозки можно отнести следующие:

– высадка пассажиров из автобуса в пункте пограничного контроля;

– ограничение багажа по правилам «Лоукостер»;

– все авиакомпании-лоукостеры разрешают бесплатную перевозку одного места ручной клади для каждого пассажира (это означает, что все вещи, включая дамскую сумочку, фотоаппарат, ноутбук, зонтик или покупки в дьюти-фри магазинах аэропорта придется упаковать в одну-единственную сумку или чемодан).

Заключение.

Развитие логистики пассажирских перевозок по видам сообщений в условиях ограничений на их выполнение в международном сообщении позволяет с комфортом доставлять пассажиров, не прибегая к протяженным окружным маршрутам.

Объем пассажирских перевозок в международном сообщении сохраняется на постоянном уровне. В условиях ограничений могут использоваться маршруты перевозок пассажиров различными видами транспорта, интегрированными в единую технологию с работой на международных маршрутах перевозчиков различных государств.

Методические основы позволяют формировать модель международных пассажирских перевозок повышенного качества по доступным тарифам в условиях санкций и ограничений.

Интеграция использования на международных маршрутах перевозчиков различных государств обеспечивает сохранение рабочих мест в транспортных предприятиях, эффективное развитие организаций пассажирского сервиса.

Список литературы

1 Ходоскина, О. А. Формирование логистики железнодорожных пассажирских перевозок / О. А. Ходоскина, Р. Б. Ивуть // *Новости науки и технологий*. – 2017. – № 1 (40). – С. 11–19.

2 Вакулenco, С. П. Логистика пассажирских перевозок: особенности и основные понятия / С. П. Вакулenco, Е. В. Копылова // *Мир транспорта*. – 2015. – Т. 13, № 3 (58). – С. 32–36.

3 Кенжаева, Б. О. Инновационная логистика в системе организации и управления пассажирскими перевозками / Б. О. Кенжаева, С. С. Ражапова // *Экономика и социум*. – 2023. – № 5-2 (108). – С. 759–763.

4 Логистика качества пассажирских перевозок в транспортной системе города / Т. В. Коновалова [и др.] // *Научно-технические аспекты инновационного развития транспортного комплекса*: сб. науч. тр. – Донецк, 2022. – С. 25–27.

5 Кравченко, Е. А. Информационные технологии транспортной логистики в междугородных пассажирских пере-

возках / Е. А. Кравченко, М. А. Голоскоков // *Фундаментальные исследования*. – 2007. – № 12-3. – С. 509–510.

6 Самусев, Н. С. Современные технологии в логистике пассажирских перевозок / Н. С. Самусев, Е. О. Абсалямова, И. В. Тарасова // *Актуальные проблемы развития экономики и*

управления в современных условиях : сб. науч. тр. – М., 2020. – С. 692–700.

7 Копылова, Е. В. Логистика – перспективное направление развития пассажирских перевозок / Е. В. Копылова, Е. Б. Куликова // *Железнодорожный транспорт*. – 2010. – № 3. – С. 61–64.

Получено 28.08.2024

A. A. Mikhalchenka. Features of passenger transportation logistics under restrictions and sanctions.

The article presents the results of studies of passenger transportation logistics in international traffic of the Republic of Belarus under the conditions of restrictions and sanctions. The article examines the methodological foundations of the formation of modern passenger transportation logistics in the new conditions of transport operation when performing them in international traffic. The article examines options for organizing passenger transportation by various modes of transport when integrating cooperation between carriers from different countries.

ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС

УДК 624.876.001.24

А. А. ПОДДУБНЫЙ, кандидат физико-математических наук, *Е. В. ПЕЧЕНЕВ*, магистр технических наук, *И. С. ДЕМИДОВИЧ*, магистр технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ШТУРМОВЫХ БЫСТРОВОВОЗВОДИМЫХ МАЛОГАБАРИТНЫХ МОСТОВ РУЛОННОГО ТИПА

Представлен проект перспективного штурмового быстровозводимого малогабаритного моста рулонного типа для решения задач преодоления водной преграды при штурмовых операциях и чрезвычайных ситуациях. Проведен анализ существующих штурмовых пешеходных мостов. Представлены схема и способы применения разработанного штурмового быстровозводимого малогабаритного моста рулонного типа, основные элементы его конструкции. Произведен укрупненный расчет нетиповых конструкций под заданную нагрузку в различных условиях эксплуатации с использованием программного комплекса Autodesk Inventor Professional. Дана оценка эффективности применения и перспектив развития.

Введение. В ходе проведения специальной военной операции Российской Федерацией на определенных участках территории Украины были уничтожены практически все искусственные сооружения, такие как большие и средние капитальные и временные мосты. В том числе уничтожение дамб и плотин привело к затоплению больших участков местности и образованию дополнительных барьерных участков.

Всё это препятствует передислокации воинских подразделений для выполнения поставленных задач, а также затрудняет и, в некоторых случаях, делает невозможным эвакуацию мирного населения.

Невозможность эвакуации мирного населения, создания гуманитарных коридоров, а также доставки потерпевшим различного вида помощи (скорой квалифицированной медицинской помощи, средств первой необходимости), оставшимся на территории ведения боевых действий или районов чрезвычайных ситуаций приводит к росту числа жертв.

В свою очередь применение противоборствующей стороной современных средств высокоточного вооружения и FPV-дронов большого и среднего радиуса действия не в полной мере позволяет имеющимися инвентарными конструкциями наплавных мостов (переправ) организовать преодоление барьерных участков, передислокацию на другой берег водной преграды, закрепление на нем и создание плацдарма для развития наступления на заданном участке для воинских формирований, а также эвакуационных мероприятий мирных жителей.

Основными проблемными вопросами выполнения мероприятий преодоления барьерных объектов как воинскими подразделениями, так и гражданским населением являются:

1) отсутствие в районе операции или чрезвычайной ситуации необходимого количества инвентарных конструкций;

2) необходимость применения техники при передислокации инженерных конструкций в место наведения мостового перехода;

3) труднопроходимость участков местности и необходимость применения дорожно-строительной, грузоподъемной техники для наведения мостового перехода.

Так как южные области территории Республики Беларусь (Брестская и Гомельская области) схожи по условиям местности и климатическим условиям с территориями Брянской области Российской Федерации и северо-западными районами Украины, а также в связи с отсутствием современного решения озвученных выше проблем встал вопрос о создании новых конструктивных решений.

Таким решением может стать предложенный вариант разработанной конструкции штурмового быстровозводимого малогабаритного моста рулонного типа.

Основными требованиями, предъявляемыми к данным типам мостовых переходов, являются:

1) низкая масса конструктивных элементов мостового перехода и возможность его передислокации личным составом штурмовых подразделений без использования дорожно-строительной, грузоподъемной техники;

2) надежность элементов конструкций и мостового перехода в целом, обеспечивающая пропуск пешеходной нагрузки;

3) возможность многократного применения и интуитивно понятная технология сборки и разборки мостовых конструкций без использования специализированного персонала;

4) минимальное время развертывания и свертывания мостового перехода;

5) оптимальное количество монтажных элементов и облегченная технология их крепления;

6) возможность проведения текущего ремонта в полевых условиях;

7) низкая стоимость изготовления и сооружения мостовых конструкций.

Также важным критерием при проведении штурмовой операции являются маскировочные свойства материалов мостового перехода, позволяющие защититься от современных средств наблюдения, в том числе тепловизионных.

Для определения основных параметров и подбора оптимальных решений при выполнении данных требований рассмотрим существующие конструкции штурмовых мостов и проведем их анализ.

Анализ существующих конструкций штурмовых быстровозводимых малогабаритных пешеходных мостов.

Задача преодоления водных преград на протяжении всего периода вооруженных конфликтах стояла постоянно. Изначально вооруженные силы не располагали табельными войсковыми переправочными средствами, которые можно было бы использовать для форсирования водных преград различными подразделениями.

Применение тяжелых понтонных парков для передислокации пехотных подразделений при ширине водной преграды от 10 до 50 метров нецелесообразно и в определенных местах невозможно.

Таким образом, в период Первой мировой войны 1914–1918 годов было создано несколько схожих моделей штурмовых переходных мостов.

Одним из таких универсальных средств, которое можно было использовать как для переправы вплавь одиночных бойцов, так и для сборки из него плотов, паромов и даже легких наплавных мостов для переправы пехоты, кавалерии и даже легких орудий, стал понтонный мост «Поплавок Полянского» (рисунок 1, а).

Это средство представляло собой надуваемый воздухом глухой мешок прямоугольной формы, изготовленный из промасленного или пропитанного резиновым составом брезента объемом около 0,085 м³.

Поплавок тонул при четырех пулевых пробоях при полной нагрузке через 1,5–2 мин.

Используя кольца на ремнях, можно было крепить к поплавку лямки, веревки и т. п., соединять между собой любое количество поплавков.

В простейшем случае поплавок надевался на спину солдата подобно вещевому мешку или же солдат плыл, удерживаясь за поплавок. Можно было соединить два поплавка, и тогда боец мог плыть, располагаясь на веревках между двумя поплавками; 4–6 соединенных между собой поплавков использовали для переправы плохо плавающих или утомленных лошадей, пулемета (с погружением его в воду). Повозки можно было переправлять, обеспечив их плавучесть привязыванием к ним необходимого числа поплавков [1].

В таблице 1 представлены тактико-технические характеристики «Поплавка Полянского».

Таблица 1 – Тактико-технические характеристики «Поплавка Полянского»

Характеристика	Значение
Вес, кг	2
Грузоподъемность, кг	50
Длина, ширина, высота, м	0,7; 0,35; 0,35
Время снаряжения, мин	4

Почти идентичной по конструкции и назначению является понтонный пешеходный мост армии Великобритании (рисунок 1, б), который незначительно отличается конструкцией и материалом понтонов.

Для большей устойчивости данного типа мостовых переходов при больших скоростях течения водной преграды применялись растяжки и проводилась установка анкеров на противоположных берегах.

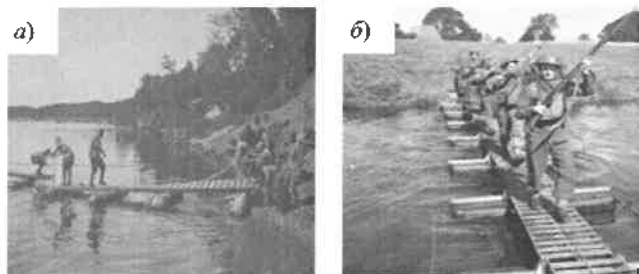


Рисунок 1 – Штурмовые пешеходные мосты, применяемые в военных конфликтах:
а – понтонный мост «Поплавок Полянского»;
б – пешеходный понтонный мост армии Великобритании

Примером современного быстровозводимого мостового перехода является разработанный в Германии мост пехотного десанта IAB (рисунок 2), который был принят на вооружение в 1992 году и включен в состав наплавного мостового оборудования британскими военными.



Рисунок 2 – Мост пехотного десанта IAB

Комплект пехотного моста состоит из семи алюминиевых модулей длиной 4,5 м, сигарообразного поплавок и аксессуаров, которые можно собирать и демонтировать с любого берега. Поплавок используется для облегчения спуска на воду, а также с его помощью можно увеличить проходимое расстояние.

Однопролетный мост длиной 16 м может быть сформирован менее чем за 5 минут восемью людьми, а однопролетный мост длиной 30 м, спущенный через водную преграду с помощью поплавка, возводится менее чем за десять минут. Мост длиной 44 м может быть построен с использованием компонентов из двух

комплектов мостов, при этом два поплавка будут выступать в качестве промежуточной опоры.

Мост предназначен для использования пехотными штурмовыми взводами, среди которых он очень популярен, но эксплуатируется эскадрильями поддержки RE для облегчения хранения, осмотра и ремонта, а также для концентрации ограниченного количества мостов для более эффективного использования.

Полный комплект осей перевозится на 4- или 8-тонном транспортном средстве. Но после разгрузки его секции могут переноситься силами двух бойцов на расстояние до 600 м и более.

Независимо от пролета моста, его максимальная нагрузка должна быть ограничена тремя солдатами, равномерно размещенными на мосту, а вес каждого бойца в полном снаряжении или с переносимым грузом не должен превышать 135 кг. Максимально допустимая разовая нагрузка составляет 200 кг, но комплект адаптеров для носилок из ЗИПа позволяет одному человеку «перебросить» раненого товарища через мост без увеличения нагрузки на мостовой переход.

IAВ успешно применялся в боевых действиях, например, в Афганистане [2].

Анализ существующих конструкций показал, что даже с развитием и модернизацией переходных штурмовых мостов остается множество недостатков в отношении мобильности и технологии монтажа.

Варианты конструкций и основные элементы штурмового быстровозводимого малогабаритного моста

С учетом проведенного анализа существующих конструкций и для выполнения установленных нами основных требований, предъявляемых к штурмовым быстровозводимым пешеходным мостам, необходимо определить следующие параметры:

- 1) схема мостового перехода с привязкой к необходимой местности и заданным условиям;
- 2) основные элементы конструкции мостового перехода, а также их материал;
- 3) технология строительства наплавного моста, затраченные при этом силы и средства.

В качестве основного материала пролетного строения (понтон) рассматривается AIR-DECK.

AIR-DECK – это современный материал, представляет из себя два полотна полиэстеровой ткани, каждое из которых имеет ПВХ-покрытие на лицевой стороне (рисунок 3).



Рисунок 3 – Структура ткани AIR-DECK

В таблице 2 представлены технические характеристики материалов AIR-DECK.

Таблица 2 – Технические характеристики материалов AIR-DECK

Характеристика	Значение
Высота, мм	200
Масса 1 м ² , г	2800
Ширина, м	2,0
Толщина нити, переплетение	1000D×1500D
Разрывная нагрузка. N 45 см по основе / по утку 2800×2500	2130 / 2760
Сопротивление раздиранию, N / 5 см	725 / 620
Удлинение при разрыве, % по основе / по утку	50 / 70
Температурная устойчивость, нижний предел, °C	-30
Адгезия, N / 5 см	155/155
Рекомендуемое давление max, МПа	0,14

Данный материал оптимально подходит для выполнения поставленных задач. Во-первых, пролетное строение из данного материала можно спроектировать и изготовить практически любых геометрических размеров для определенной задачи. Во-вторых, в сложенном виде он очень компактный и легкий, что позволяет вручную переносить одно или несколько пролетных строений (понтон) одному человеку. В-третьих, его физические свойства позволяют выдерживать временную пешеходную нагрузку, а модульность его сборки – осуществлять сборку паромов и понтонных мостов в сложных условиях.

Пролетные строения в сложенном виде представляют собой скрученный в рулон материала AIR-DECK установленных для определенной задачи геометрических размеров. Оптимальными размерами штурмового пешеходного моста приняты значения его длины (5 м), ширины (1 м). Высота под различную нагрузку может изменяться, но в расчетах грузоподъемности принята 20 см.

Значение данных размеров обусловлено оптимальной компактностью переноски и приемлемой массой одного пролетного строения.

Крепление понтон между собой для создания моста необходимой длины осуществляется при помощи карабинов и быстросъемных приспособлений.

На рисунке 4 представлен вариант схемы штурмового наплавного моста рулонного типа, в том числе с привязкой к условной местности. Основой его конструкции являются пролетные строения рулонного типа, а также для устойчивости моста в русле реки применяются распорки в виде тросов.

Технология сооружения понтонной переправы из пролетных строений рулонного типа представляет собой несколько последовательных этапов:

- 1) проведение рекогносцировки местности и участка водной преграды, где будет осуществляться форсирование;
- 2) расчет необходимого количества пролетных строений рулонного типа и дополнительного монтажного снаряжения;
- 3) выдвигание к месту форсирования и сборка мостового перехода.

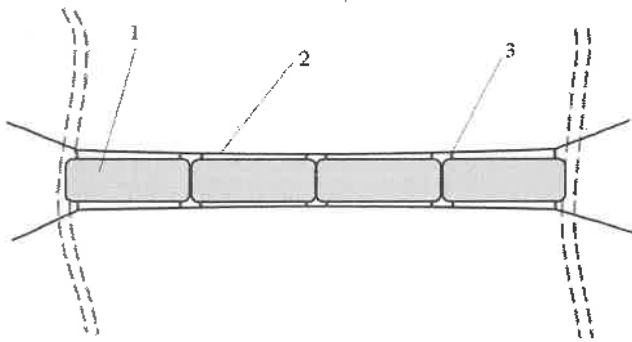


Рисунок 4 – Схема варианта штурмового наплавного моста:
1 – пролетное строение (AIR-DECK); 2 – трос распорки;
3 – крепление пролетного строения к распорке троса

Пролетное строение рулонного типа в сложенном виде переносится одним человеком в виде дополнительного груза поверх вещевого мешка или снаряжения. По прибытии к месту форсирования пролет раскладывается и надувается с помощью насосов (компрессоров). Для увеличения длины мостового перехода пролетные строения соединяются между собой. Для устойчивости моста при длине моста более 25 метров и при высоких скоростях течения используются тросовые растяжки, которые закрепляются на обе стороны водной преграды. Приблизительный вес одного пролетного строения в транспортном положении и комплекта дополнительных приспособлений для его монтажа (трос, насос) – не более 15 кг. Таким образом, дополнительная масса на одного монтажника не является критической с учетом его собственного вооружения и снаряжения.

В соответствии тактико-техническими характеристиками материалов AIR-DECK пролетного строения с геометрическими размерами 1×5 метров имеет грузоподъемность порядка 150 кг. Это позволяет при динамической временной нагрузке осуществлять передислокацию личного состава по данному пролетному строению в одиночном порядке.

Для передислокации габаритных грузов и тяжелого снаряжения данные виды пролетных строений можно использовать в качестве паромных переправ. Для этого пролетные строения стыкуются как в длину, так и в ширину. Также можно использовать несколько пролетов, уложенных один на один, таким образом увеличивая их грузоподъемность.

Еще одним преимуществом пролетного строения рулонного типа являются его маскировочные свойства. Покраска элементов под цвет водной преграды, а также отсутствие нагрева в связи с естественным охлаждением от водной преграды обеспечивает высокую скрытность от визуальной разведки, в том числе и с применением БЛА.

Получено 19.10.2024

A. A. Poddubny, E. V. Pechanov, I. S. Demidovich. Prospects for the use of assault prefabricated small-barite roll-type bridges.

The project of a promising pre-fabricated small-sized roll-type assault bridge for solving problems of overcoming a water barrier during assault operations and emergency situations is presented. The analysis of existing assault pedestrian bridges is carried out. The scheme and methods of application of the developed assault prefabricated small-sized roll-type bridge, the main elements of its design are presented. An enlarged calculation of atypical structures for a given load under various operating conditions was performed using the Inventor software package. An assessment of the effectiveness of the application and development prospects is given.

При проведении расчетов на смоделированном пролетном строении в программном комплексе Autodesk Inventor Professional (рисунок 5) можно сделать вывод о возможности его применения в реальных условиях.

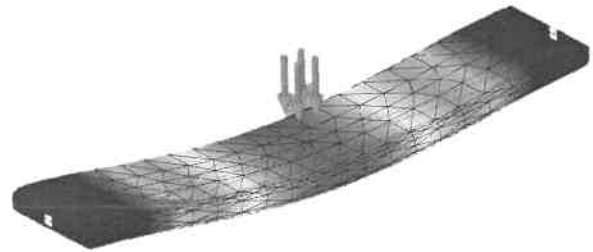


Рисунок 5 – Моделирование прогиба пролетного строения рулонного типа под заданной нагрузкой

Вывод. Проанализировав существующие штурмовые быстровозводимые малогабаритные мосты, можно определить, что данные конструкции не в полной мере соответствуют заданным характеристикам и требованиям. Необходимость использования специального оборудования, техники для перевозки и множества дополнительного инструмента не позволяет быстро и с минимальными трудозатратами осуществить мероприятия форсирования.

В свою очередь штурмовые быстровозводимые малогабаритные мосты рулонного типа решают большинство возникших проблем в плане мобильности, скорости развертывания (свертывания), а также повышения живучести. Простота использования, обслуживания и отсутствие необходимости квалификационного персонала для их наведения позволяет применять их в качестве средств эвакуации мирного населения в чрезвычайных ситуациях.

Список литературы

- 1 Ховратович, А. А. Переправочное дело / А. А. Ховратович. – М. : Гос. воен. изд-во, 1934. – Обл., 60 с.
- 2 The Infantry Assault Bridge IAB [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.mycity-military.com>. – Дата доступа : 19.10.2024.
- 3 Поддубный, А. А. Концепция интеллектуальной системы поддержки принятия решений по восстановлению мостовых переходов / А. А. Поддубный, Е. В. Печенев // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2023. – № 1 (46). – С. 42–44.
- 4 Мосты и переправы на военно-автомобильных дорогах. В 3 ч. Ч. 2. Низководные мосты из местных материалов : учеб. пособие / С. М. Бобрицкий [и др.]. – Гомель : БелГУТ, 2021. – 271 с.

УДК 625.172

В. В. РОМАНЕНКО, старший преподаватель, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

ИННОВАЦИОННЫЕ МЕРЫ ПО СНИЖЕНИЮ РАСХОДОВ НА СОДЕРЖАНИЕ СТРЕЛОЧНЫХ ПЕРЕВОДОВ

Проблемы по снижению затрат на содержание стрелочных переводов ведут к стремлению дистанций пути сократить расходы, путем замены деревянных оснований на железобетонные, а также разработки эффективных мероприятий для содержания стрелочных переводов. В 2022 году началась смена стрелочных переводов с деревянными переводными брусками на железобетонные с применением стрелочных башмаков, разработанных на ОАО «Гомельский ЭМЗ», которые позволяют осуществлять замену только подрельсового основания без металлических элементов. Технология позволит решить проблему недолговечности деревянных оснований, обеспечивая увеличение срока службы переводов за счет сопоставимости железобетонных брусков и металлических элементов, а также экономии материальных и трудовых средств.

Введение. Надежная работа Белорусской железной дороги (БЖД) во многом зависит от работы путевого хозяйства. В данной сфере задействовано около 15 % персонала железнодорожного транспорта, причем на поддержание надежности железнодорожного пути расходуется свыше четверти стоимости основных фондов БЖД. Эти расходы охватывают не только покупку новых материалов верхнего строения пути (ВСП), но и средств диагностики, путевых машин, развитие информационно-управляющих систем.

Путевое хозяйство БЖД включает (по состоянию на 01.01.2024 г.) 11 688,5 км развернутой длины железнодорожных путей и 12 080 стрелочных переводов. Несмотря на ежегодное увеличение протяженности путей на железобетонном основании, по-прежнему функционируют участки на деревянных шпалах: 112,2 км на главных путях, 1126,2 км на станционных и 462,3 км на путях необщего пользования. Практическое наблюдение показывает, что срок службы деревянных шпал составляет в среднем 5–7 лет, поэтому ежегодно меняется несколько сотен тысяч из них, что приводит к расходам в десятки миллионов рублей.

В дистанциях пути (ПЧ) проводится апробация новых подходов к организации работ по текущему содержанию путевых объектов, одним из которых является усиление стрелочного хозяйства.

Среди подобных мероприятий проводится комплексная замена деревянных переводных брусков на железобетонные. В рамках этого подхода каждый год на главных путях осуществляется замена стрелочных переводов на новые, а снятые с главных путей переносят на станционные. При этом деревянное подрельсовое основание заменяют железобетонным, а металлические элементы при необходимости ремонтируют.

Стрелочное хозяйство. Расходы на содержание подрельсового основания существенно возрастают из-за эксплуатации стрелочных переводов на деревянном основании, так как даже в главных и приемо-отправочных путях на деревянных брусках уложены 3037 комплектов, что составляет 45,7 % от их общего количества. На станционных путях и путях необщего пользования этот процент еще больше.

Исследование данной проблемы показывает, что организации путевого хозяйства пытаются значительно сократить свои расходы, с одной стороны, заменяя деревянное основание на более долговечное железобетонное, а с другой – разрабатывая эффективные комплексные мероприятия по улучшению принципов содержания стрелочных переводов, что включает в себя сокращение трудозатрат.

В последние годы количество переводов, укладываемых при смене, на деревянных брусках снизилось, а за последние два года этот показатель достиг нуля (рисунок 1).



Рисунок 1 – Динамика замены стрелочных переводов в период с 2014 по 2023 год

В соответствии с планом реализации Концепции развития путевого хозяйства БЖД [1] предусмотрены комплексные меры, направленные на повышение эффективности путевого хозяйства и снижение затрат на его обслуживание, например: переход на более долго-

вечные материалы ВСП, что позволит увеличить межремонтный срок; определение расчетного межремонтного срока на основании срока службы железобетонных шпал как ключевого элемента ВСП с наибольшим эксплуатационным ресурсом; внедрение ресурсосбе-

регающих технологий, которые помогут уменьшить материальные и трудовые затраты.

При использовании деревянных переводных брусев обеспечить продление срока службы, а иногда даже полностью использовать их срок годности, становится невозможным из-за возникновения трещин и гниения в древесине, что приводит к утрате стабильности рельсовой колеи. Обычно полная замена комплекта переводных брусев осуществляется одновременно с заменой всего стрелочного перевода, однако срок службы металлических рельсовых элементов значительно превышает срок эксплуатации деревянных брусев, поэтому в процессе текущего содержания пути постоянно возникает необходимость в одиночной замене переводных брусев [2].

Цена комплекта деревянных брусев для стрелочного перевода типа I/11 для широкой колеи I типа составляет 13,3 тыс. рублей, а для II типа – 11,4 тыс. рублей. В то же время комплект железобетонных брусев для аналогичного перевода обойдется в 11,2 тыс. рублей.

Хотя стоимость двух комплектов с различными подрельсовыми основаниями схожа, необходимо учитывать значительную разницу в сроке службы. Расходы на обслуживание деревянного перевода будут значительно выше, чем при использовании железобетонного основания, при этом в несколько раз увеличатся затраты в процессе эксплуатации [3].

В 2022 году с целью улучшения стрелочного хозяйства начались работы по замене стрелочных переводов с деревянным основанием на железобетонное, при этом использовался комплект стрелочных башмаков, произведенных ОАО «Гомельский ЭМЗ». Эти стрелочные башмаки разработаны специально для возможности реализации технологии замены только подрельсового основания без металлических элементов [4].

Данная технология нацелена на обновление стрелочных переводов с одновременной заменой подрельсового основания, при этом предполагается сокращение числа «окон» для выполнения этих работ. Однако чтобы успешно реализовать этот процесс, требуется особая организация путевых работ. Перед началом ремонтного сезона необходимо тщательно составить список мест, где будут осуществляться демонтаж и монтаж стрелочных переводов, так как можно заменять лишь однотипные конструкции.

Особенности организации работ по усилению подрельсового основания стрелочных переводов. Конкретные комплексные меры по снижению затрат на содержание стрелочных переводов рассмот-

рены на примере Жабинковской дистанции пути (ПЧ-5). Дистанция обслуживает 461 стрелочный перевод, из которых 307 имеют деревянное основание, из них лежат: в главных путях – 1, в приемоотправочных – 85, станционных и необщего пользования – 221.

В связи с недолговечностью деревянного основания, 67 % стрелочных переводов, а также факторы, общие для всех дистанций, создают проблему для ПЧ-5, заключающуюся в недопущении ограничений скорости из-за плохого качества элементов ВСП.

В процессе эксплуатации стрелочных переводов металлические элементы подвергаются износу и могут получать дефекты (I, II или III группы годности), которые возможно устранить с помощью различных видов наплавки или шлифовки. Учитывая значительную разницу в сроках службы деревянных брусев и металлических элементов даже третьей группы годности, деревянное основание заменяется несколько раз в течение срока эксплуатации последних. При установке железобетонных брусев сроки службы основания и металлических элементов выравниваются, что существенно сокращает материальные и трудовые затраты, так как на сегодня стоимость комплекта деревянных брусев превышает стоимость комплекта железобетонных.

В соответствии с Приказом 5Н от 4 января 2024 года, который утверждает планы путевых работ по ремонту и текущему содержанию железнодорожного пути в 2024 году, в ПЧ-5 запланирована укладка трех новых стрелочных переводов на железобетонном основании. В связи с этим переводы, демонтированные с мест замены, должны быть предусмотрены для укладки на участках с более низкими эксплуатационными требованиями. Для этого необходимо выбрать стрелочные переводы, подходящие по критериям:

- категория пути и условия эксплуатации;
- тип стрелочного перевода;
- марка крестовины;
- сторонность;
- величина вертикального и бокового износов.

Исходя из анализа данных годовых осмотров подходящими параметрами обладают стрелочные переводы на станциях Жабинка (3 шт.: № 28 (СП 28 и т. д.), 47 и 55), Оранчицы (2 шт.: 33 и 35), Лесная (2 шт.: № 11 и 15), Тевли (1 шт. – 11), Кобрин (4 шт.: № 12, 18, 25 и 27), Городец (1 шт. – 16), Дрогичин (1 шт. – 13а), разработанная схема смены представлена на рисунке 2.

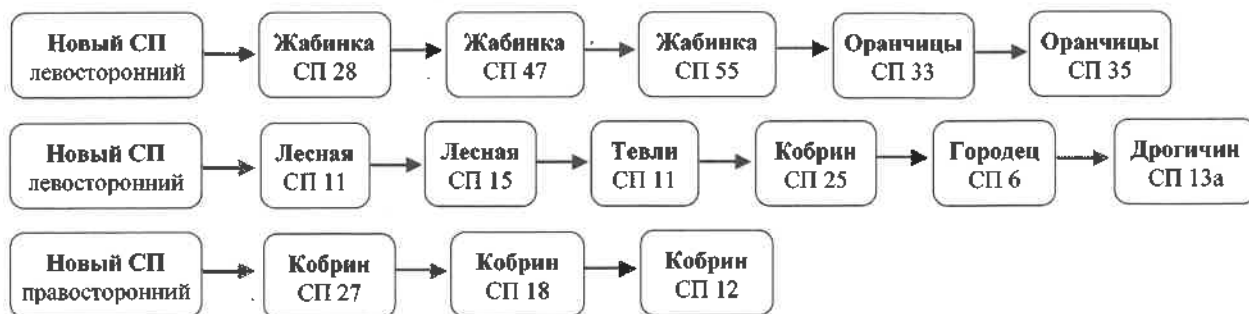


Рисунок 2 – Схема перекладки стрелочных переводов с заменой подрельсового основания

Например, согласно второй схеме существующий СП 11 по станции Лесная заменяют новым на железобетонном основании (СП_{жб}11), затем снятый СП 11 на деревянных брусьях (СП_д11) отправляют на производственную базу для замены подрельсового основания (подкладки и брусья) с деревянного на железобетонное (СП_{д/жб}11), после чего укладывают вместо СП_д15, у которого на производственной базе заменяют подрельсовое основание СП_{д/жб}15.

После ремонта металлических элементов и сборки СП_{д/жб}15 перевозят на станцию Тевли, так как на остальные переводы станции Лесная не подходят по обозначенным критериям. СП_{д/жб}15 заменяют СП_д11 и дальнейшие операции производятся в той же последовательности.

Работы по смене стрелочных переводов организуются в «окна» продолжительностью по 6 часов 30 минут. Демонтаж и монтаж производится краном УК 25/28 СП тремя блоками.

Анализ комплексных мер по сокращению трудовых затрат на содержание стрелочных переводов. Одной из распространенных работ по текущему содержанию стрелочных переводов на деревянных брусьях является их одиночная замена, так как негодные брусья перестают удерживать ширину колес, а также способствуют появлению просядок и других неисправностей.

Увеличение выправочных работ приводит к еще большему объему путевых работ.

В отличие от комплексной замены переводных брусьев их одиночная смена вызывает значительные трудовые затраты, которые, согласно [5], составляют порядка 180 чел.ч.

Исследования данной проблемы показывают, что трудовые затраты на замену комплекта брусьев в одиночном порядке в условиях нехватки контингента и потерь рабочего времени из-за пропуска поездов составляют примерно три рабочих дня. Это означает, что для выполнения работ потребуется задействовать весь штат монтеров пути околотка на три дня. Кроме того, если в этот период возникнет необходимость в выполнении неотложных задач, потребуется привлечение рабочих из других околотков, что может привести к невыполнению запланированных работ в них.

Следует отметить, что, помимо занятости рабочих, при производстве работ на стрелочном переводе, расположенном на главном пути, такая организация работ имеет значительные недостатки. В частности, потребуется трехдневное закрытие стрелочного перевода, что может повлечь за собой либо изменение порядка маневровой работы, либо еще большее увеличение продолжительности работ.

Учитывая объемы работ по смене стрелочных переводов с усилением подрельсового основания в пределах всей БЖД, а именно за 2023 год выполнено 169 комплектов, на 2024 год запланировано 450 комплектов, экономия как материальных, так и трудовых ресурсов очевидна.

Получено 25.09.2024

V. V. Romanenko. Innovative measures to reduce the cost of maintaining switches.

The problems of reducing the cost of maintaining switches lead to the desire to reduce the distance of the track by replacing wooden bases with reinforced concrete and developing effective measures for the maintenance of switches. In 2022, the replacement of switches with wooden transfer bars with reinforced concrete ones began, using arrow shoes developed at ISC Gomel EMZ, which allow the replacement of only the base without metal elements. The technology will solve the problem of the fragility of wooden bases, providing an increase in the service life of transfers due to the comparability of reinforced concrete beams and metal elements, as well as savings in material and labor resources.

Вывод. Разработанная технология в значительной мере позволит решить проблему недолговечности деревянных оснований стрелочных переводов, приводящую к частым ремонтам и ограничениям скорости движения поездов.

К преимуществам данной технологии можно отнести:

- увеличение срока службы перевода, так как жизненный срок железобетонных брусьев сопоставим с жизненным сроком металлических элементов стрелочного перевода, что снижает количество ремонтов;

- экономию средств – железобетонные брусья дешевле деревянных, а сокращение ремонтов снижает затраты на материалы и трудовые ресурсы;

- сокращение времени закрытия пути за счет того, что смена брусьев на специализированных площадках сокращает время закрытия участка работ на станции;

- ремонт изношенных металлических элементов наплавкой и шлифовкой продлевает срок их службы, выполнение этих работ на производственной базе также уменьшает количество «окон»;

- перемещение стрелочных переводов с главных путей на станционные пути позволяет использовать снятые с главных путей элементы вторично, реализуя при этом программу ресурсосбережения.

Таким образом подобный комплексный подход к решению проблемы недолговечности деревянных оснований стрелочных переводов, включающий замену на железобетонные, ремонт металлических элементов и оптимизацию процесса замены, позволяет значительно сократить трудовые затраты и повысить эффективность работы дистанции.

Список литературы

1 Об утверждении Концепции развития путевого хозяйства Белорусской железной дороги на 2022–2030 гг. : утв. приказом Нач. Бел. ж. д. от 28.12.2021 № 404Н. – Введ. 28.12.2021. – Минск : Бел. ж. д., 2021. – 16 с.

2 СТП 09150.56.010-2005. Текущее содержание железнодорожного пути. Технические требования и организация работ : утв. приказом Нач. Бел. ж. д. от 29.06.2006 № 221 Н. – Введ. 01.07.2006. – Минск : Бел. ж. д., 2006. – 290 с.

3 Романенко В. В. Анализ факторных решений по изменению системы ведения путевого хозяйства / В. В. Романенко // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2022. – № 2 (45). – С. 49–51.

4 Романенко В. В. Ресурсный подход к анализу содержания стрелочных переводов / В. В. Романенко // Инновационное развитие транспортного и строительного комплексов : материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 70-летию БелИИЖТа – БелГУТа. В 2 ч. Ч. 1. – Гомель : БелГУТ, 2023. – С. 411–413.

5 Типовые технические обоснованные нормы времени на работы по текущему содержанию пути : утв. приказом Нач. Бел. ж. д. от 08.04.2020 № 129 Н. – Введ. 01.08.2020. – Минск : Бел. ж. д., 2015. – 299 с.

УДК 625.171

В. В. РОМАНЕНКО, старший преподаватель, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель; А. Б. КАПИТОНЕЦ, Белорусская железная дорога, г. Минск

ОПТИМИЗАЦИЯ СОДЕРЖАНИЯ КРИВОЛИНЕЙНЫХ УЧАСТКОВ ПУТИ, ИЗМЕРЕНИЕ И АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ

В исследовании анализируются девять криволинейных участков, где проведены измерения стрел изгиба для определения радиусов и выявления отклонений. Примером служит кривая, для которой были вычислены радиусы и проанализированы различия между замерах с использованием хорд длиной 20 и 10 метров.

Введение. Одним из основных направлений производственной деятельности для всех организаций, занимающихся путевым хозяйством, является диагностика железнодорожного пути с целью оценки его технического состояния, определения объемов необходимых работ по содержанию и ремонту, а также приоритетности их выполнения на основе реального и технического состояния объекта. Это обеспечивает быстрое и экономически оправданное реагирование на события, которые могут привести к отступлениям геометрического положения рельсовой колеи, прогнозирование ее состояния исходя из результатов комплексной диагностики, внесение предложений по изменениям в нормативно-производственные документы для оптимизации финансовых затрат, а также предотвращает снижение надежности путем оперативного информирования о результатах диагностики.

В этом контексте для путевого хозяйства Белорусской железной дороги (БЖД) остается актуальной задача содержания криволинейных участков пути, соответствия их характеристик установленным скоростям движения поездов, контроль за положением этих участков, разработка методик их проверки и расчета для доведения их до проектного положения, а также подготовка и формирование исходных данных для работы путевых машин и комплексов, предназначенных для исправления такого рода участков.

В текущем содержании пути для измерения кривизны используются замеры стрел изгиба с шагом 10 м, а в некоторых случаях – 5 м [2]. Сокращение шага замеров позволяет получить большее количество точек, однако при этом абсолютное значение стрелы снижается в 4 раза, что не регламентируется [3]. Увеличение количества измерений особенно важно для кривых с малым радиусом и короткой протяженностью.

Замеры стрел изгиба проводятся для определения радиуса кривой и для сравнения показателей соседних участков между собой. Измерения с шагом 5 м обеспечивают более точную оценку кривизны, что позволяет с большей степенью достоверности выявлять ее отклонения. В кривой, геометрическое положение которой идеально правильное, радиусы от стрел, измеренных с шагом 10 и 5 м, будут одинаковыми. Напротив, при сравнении радиусов, полученных при замерах с шагом 10 и 5 м на «сбитой» кривой, часто возникают разногласия, иногда довольно значительные.

Основная задача данной статьи состоит в анализе информации, собранной при помощи двух различных

методов съемки реальных кривых (с интервалом в 10 и 5 м), а также в выработке рекомендаций по рациональности их использования.

Особенности эксплуатации кривых. На БЖД кроме главных и приемо-отправочных путей эксплуатируются станционные пути и пути необщего пользования. Доля станционных путей составляет 31 % (3619,7 км), а необщего пользования – 7 % (869,4 км). В то время как на главных путях диагностика параметров рельсовой колеи производится автоматизированными диагностическими средствами, а выправка машинами, на станционных и необщего пользования, оценка геометрии кривых выполняется по результатам ручной «съемки», а выправка – вручную, причем именно на таких путях расположено наибольшее количество кривых малого радиуса и протяженности.

Таким образом, съемка геометрического положения рельсовой колеи в кривой является одним из основных методов оценки кривизны и выявления места положения отклонений в плане на станционных путях и путях необщего пользования [4].

Кривые участки пути функционируют с большей нагрузкой по сравнению с прямыми. Это объясняется тем, что при движении по кривым на наружные нити действуют дополнительные силы: неуравновешенный компонент центробежной силы и давление от жесткой конструкции колесной пары подвижного состава, которая вписывается в колею.

Воздействие этих дополнительных сил на работу как пути, так и подвижного состава во многом зависит от состояния кривых. Непостоянная кривизна круговой кривой и резкие изменения в переходных кривых ведут к возникновению значительных горизонтальных сил, вызывающих сильные боковые колебания подвижного состава и дополнительные напряжения в элементах пути, что, в свою очередь, приводит к ухудшению их состояния [5].

Характеристика рельсовой колеи в плане определяется стрелами изгиба, измеренными от хорды с заданным шагом. Текущее состояние кривых считается удовлетворительным, если разница между соседними стрелами изгиба через 10 м не превышает установленных норм. Содержание правильной кривизны требует периодической проверки и коррекции радиусов при необходимости.

Планирование эксперимента. Для выполнения исследования выбраны девять криволинейных участков, эксплуатируемых Минской дистанцией пути БЖД. Каж-

дая кривая имеет геометрическое положение отличное от проектного, но не вызывающее закрытие движения.

Для всех кривых были выполнены измерения стрел изгиба в точках через 10 м от середины хорды 20 м (f_{20}) и через 5 м от середины хорды 10 м (f_{10}).

В результате исследования планируется установить соответствие параметров, получаемых при измерении от середины хорды 20 и 10 м, а именно:

- величину радиуса измеренной от середины 20-метровой R_{20} и 10-метровой R_{10} хорд;
- зависимость изменения в величине радиусов ΔR ;
- места, в которых отклонение радиусов минимальное и максимальное;
- места, в которых радиусы R_{20} и R_{10} примерно равны $R_{пр}$ (разница 10 % на погрешность измерений);

- зависимость расположения мест, где $\Delta R = \min \Delta R$ и $\Delta R = \max \Delta R$ от изменения стрел изгиба в пределах кривой.

Анализ результатов измерений. В качестве примера рассмотрим результаты исследования кривой № 5, находящейся на подъезде к ОАО «Крыница», которая примыкает к станции Степянка. Длина данной кривой составляет 133 метра. Используется рельс типа Р65, деревянные шпалы, скрепление представлено типом ДЮ, а балласт состоит из гравийно-песчаной смеси.

В процессе проведения съемки были вычислены радиусы в каждой точке кривой, а также проанализированы различия между измеренными стрелами изгиба, взятыми от середины хорды длиной 20 метров и хордой длиной 10 метров (таблица 1).

Таблица 1 – Результаты измерений кривой № 5

Номер точки	Стрела изгиба f_{20} , мм	Стрела изгиба f_{10} , мм	Разница стрел изгиба Δf_{20} , мм	Радиус R_{20} , м		Ограничение скорости, км/ч	Разница стрел изгиба Δf_{20} , мм	Радиус R_{10} , м	
				Значение	График			Значение	График
1	75	24	0	694		90	0	463	
2	80	26	5	400		90	2	250	
3	210	65	130	172		<15	39	156	
4	158	45	-52	161		40	-20	179	
5	172	37	14	182		90	-8	174	
6	220	60	48	186		60	23	189	
7	130	15	-90	244		15	-45	338	
8	450	140	320	289		<15	125	236	
9	420	123	-30	189		70	-17	179	
10	240	49	-180	175		<15	-74	179	
11	57	32	-183	185		<15	-17	192	
12	70	40	13	204		90	8	216	
13	335	95	265	225		<15	55	255	
14	253	65	-82	301		15	-30	417	
15	96	20	-157	476		<15	-45	735	
16	19	2	-77	704		15	-18	735	

Согласно [1] и таблице 1 причиной ограничения скорости менее 15 км/ч является геометрическое положение кривой в плане в точках 3, 8, 10, 11, 13, 15. Так как участки с точками 1–2 и 15–16 являются местами перехода прямого участка в круговую кривую (переходные кривые), для

которых радиус в каждой точке должен изменяться, из дальнейшего исследования эти участки исключены.

Таким образом, анализ параметров, определенных по результатам измерений кривой, производится для участка 2–15 (таблица 2).

Таблица 2 – Анализ параметров, определенных по результатам измерений кривой № 5

Номер точки	Отклонение R_{20} от R_{10}		Анализ данных измерений f_{20}					Анализ данных измерений f_{10}				
			Отклонение R_{20} от $R_{пр}$, м	Изменение R_{20} наружу / внутрь колен	Отклонение R_{20} от $R_{пр}$, %	Изменение стрел изгиба при изменении радиуса		Отклонение R_{10} от $R_{пр}$, м	Изменение R_{10} наружу/внутри колен	Отклонение R_{10} от $R_{пр}$, %	Изменение стрел изгиба при изменении радиуса	
	м	%				наружу	внутри				наружу	внутри
1	146	28	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2	144	30	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3	46	24	33		16		-13		6		—	—
4	38	14	111		54		73		36		—	—
5	47	16	86		42		133		65		—	—
6	19	9	22		11		3		1		—	—
7	448	116	180		88		628		306		—	—
8	22	25	-94		46		-116		57		—	—
9	17	17	-86		42		-103		50		—	—
10	47	23	3		1		50		24		—	—
11	486	124	672		328		186		91		—	—
12	401	128	509		248		108		53		—	—
13	17	13	-56		27		-73		36		—	—
14	6	3	-7		3		-13		6		—	—
15	104	20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
16	3618	137	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

По результатам анализа можно сделать выводы:

– максимальное расхождение между R_{20} и R_{10} составляет 128 % (точка 12);

– разница между R_{20} и R_{10} 20 % и более выявлена в точках 3, 7, 8, 10, 11 и 12;

– анализ отклонений R_{20} и $R_{пр}$ выявил, что в точках 7 и 8, а также 12 и 13 как для R_{20} так и для R_{10} кривая смещена наружу колеи (R_{20} и $R_{10} > R_{пр}$), а для точек 2–6, 10 и 11 – внутрь колеи (R_{20} и $R_{10} < R_{пр}$), в точке 2 для R_{20} кривая смещена внутрь колеи ($R_{20} < R_{пр}$), для R_{10} кривая смещена наружу колеи ($R_{10} > R_{пр}$);

– в точках 7 и 8, где разница между R_{20} и R_{10} составляет 116 мм, имеется изменение сторонности сдвижки для обоих способов измерения;

– отклонение R_{20} от R_{10} , равное нулю, не зафиксировано, $R_{20} > R_{10}$ – в пяти точках, $R_{20} < R_{10}$ – в семи.

В рамках анализа радиусов кривой R_{20} и R_{10} , их отношения между собой, а также отношения R_{20} и R_{10} к проектному радиусу $R_{пр}$ было выполнено ранжирование отклонений R_{20} от R_{10} , R_{20} от $R_{пр}$ и R_{10} от $R_{пр}$, в результате чего можно сделать выводы:

– в точке 5 выявлены максимальные значения отклонения отношения R_{10} и $R_{пр}$, при этом кривая смещена внутрь колеи;

– в точках 7 и 11 выявлены максимальные значения отклонения R_{20} и R_{10} , отношения R_{20} и $R_{пр}$, отношения R_{10} и $R_{пр}$, при этом кривая смещена внутрь колеи;

– в точке 12 выявлены максимальные значения отклонения R_{20} и R_{10} и отношения R_{20} и $R_{пр}$, при этом кривая смещена внутрь колеи;

– во всех точках, в которых выявлены максимальные значения отклонений расположены в местах изменения кривизны внутрь кривой (точки 5, 7, 11, 12).

Аналогичные исследования выполнены для всех девяти кривых, результаты которых обобщены и систематизированы.

Вывод. Для принятия решений по выправке кривой используют среднее значение радиуса из числа рассчитанных от промеров стрел изгиба.

Анализ радиуса кривой № 5 по сравнению с проектным в каждой точке выявляет значительные различия между R_{20} и R_{10} относительно $R_{пр}$. Для обоих вариантов смещение фактической кривой внутрь и наружу фиксируется в одних и тех же точках, за исключением точки 3.

Во всех кривых, кроме кривой № 3, наблюдаются изменения геометрического положения как внутрь, так и наружу. В кривых № 1, 2, 4–6 и 8 эти изменения имеют незначительные отличия, тогда как в кривых № 7 и 9 они оказались более выраженными. Кривые № 7 и 9 демонстрируют наибольшие отклонения между R_{20} и R_{10} , но при этом уровень расстройств у них минимален.

В некоторых случаях рекомендуется или необходимо измерять стрелы изгиба именно от хорды длиной 10 м в точке на расстоянии 5 м. Исследования в данной области показали, что из девяти изученных кривых:

– в одной (кривая № 3) отклонения R_{20} и R_{10} от $R_{пр}$ совпадают;

– в шести (кривые № 1, 2, 4, 6, 7, 8) отклонение R_{10} от $R_{пр}$ больше, чем R_{20} от $R_{пр}$;

– в двух (кривые № 5 и 9) отклонение R_{20} от $R_{пр}$ превышает R_{10} от $R_{пр}$.

Наличие большого отклонения R_{10} от $R_{пр}$ в шести из девяти кривых подчеркивает целесообразность проведения съемки кривой с шагом 5 м. Однако отсутствие

нормативной базы для такого подхода не позволяет утверждать, что средний радиус, определенный на основе значений R_{10} , будет достоверным. Эти наблюдения позволяют предположить, что усредненный радиус кривой не отражает реальной ситуации, и оценка радиуса всей кривой может оказаться некорректной.

При проведении работ по выправке кривой акцент в основном делается на разности стрел изгиба, а радиус не является основным параметром, поэтому измерения от хорды длиной 10 м выполняются локально для определения положения «угла» в плане. В этом контексте измерение от 10-метровой хорды действительно оправдано, так как это позволяет более точно установить геометрическое положение рельсовой колеи.

Тем не менее в некоторых случаях всё же необходимо определить радиус кривой, например, для ведения документации и расчета возвышения наружного рельса.

Список литературы

1 Романенко В. В. Графоаналитическое решение по оптимизации организации выправочно-рихтовочных работ по приведению кривых к проектной документации / В. В. Романенко, А. Б. Невзорова, Л. Н. Ародь // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2021. – № 3 (71). – С. 102–110.

2 Технические требования к эксплуатации кривых участков железнодорожного пути с радиусами менее 150 м на Белорусской железной дороге : утв. приказом зам. Нач. Бел. ж. д. от 24.12.2019 № 1245 НЗ. – Введ. 01.01.20. – Минск : Бел. ж. д., 2022. – 6 с.

3 СТП 09150.56.010-2005. Текущее содержание железнодорожного пути. Технические требования и организация работ : утв. приказом Нач. Бел. ж. д. от 29.06.2006 № 221 Н. – Введ. 01.07.06. – Минск : Бел. ж. д., 2006. – 290 с.

4 Романенко В. В. Вопросы оценки состояния криволинейных участков / В. В. Романенко, А. Б. Капитонен, В. Д. Макаревич // Инновационное развитие транспортного и строительного комплексов : материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 70-летию БелИИЖТа – БелГУТа, Гомель, 16–17 ноября 2023 г. В 2 ч. Ч 1. – Гомель : БелГУТ, 2023. – С. 415–417.

5 Об организации работы по обеспечению безопасности движения и эксплуатации железнодорожного транспорта на Белорусской железной дороге : утв. приказом Нач. Бел. ж. д. от 29.11.2021 № 370 Н. – Введ. 01.01.22. – Минск : Бел. ж. д., 2022. – 160 с.

Получено 25.09.2024

V. V. Romanenko, A. B. Kapitonets. Optimization of the maintenance of curved sections of railway track, measurement and analysis of parameters.

The study analyzes nine curved sections where bending arrows were measured to determine radii and identify deviations. An example is a curve for which radii were calculated and differences between measurements using chords of 20 and 10 meters in length were analyzed.

ПОДВИЖНОЙ СОСТАВ

УДК 629.44; 629.4.027.5

*Р. И. ЧЕРНИН, кандидат технических наук, Д. В. ШКОРОЕДОВ, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель***ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ НА ПРОЧНОСТЬ ТЕПЛОВОЙ НАПРЕССОВКИ ЛАБИРИНТНОГО КОЛЬЦА БУКСОВОГО УЗЛА НА ПРЕДПОДУСТИЧНУЮ ЧАСТЬ ОСИ КОЛЁСНОЙ ПАРЫ**

Приведены результаты теоретических исследований по оценке влияния на прочность прессового соединения лабиринтного кольца буксового узла эксплуатационных факторов: макрогеометрии сопрягаемых поверхностей (при сборке соединений), уровня загрузки вагона, скорости движения подвижного состава и температуры буксового узла.

Прочность прессовых соединений колёсных пар вагонов в свете обеспечения безопасности движения поездов была и остаётся актуальным вопросом.

К прессовым соединениям колёсных пар в общем случае (характерном для вагонов всех видов и типов) относятся тепловая посадка внутренних колец буксовых подшипников на шейку оси колёсной пары, тепловая напрессовка лабиринтного кольца на предподступичную часть оси колёсной пары и механическая запрессовка цельнокатаного колеса на подступичную часть оси. Кроме этого, возможны прессовые соединения ступицы тормозного диска и зубчатые колёса приводов с средней частью оси.

Из трёх видов прессовых соединений, характерных для всех вагонов, наименее изученным является соединение лабиринтного кольца буксового узла с предподступичной частью оси получаемого тепловым способом формирования.

Согласно данным за первое полугодие 2024 года, приведенным в [1], отцепки в текущий отцепочный ремонт вагонов грузового парка Российской Федерации по буксовому узлу составили 1,8 % (12 200 отцепок).

По причинам неисправностей (эксплуатационные, технологические, повреждение) для буксовых узлов из 100 % технологических неисправностей буксовый узел занимает 5 %, в повреждениях – 1,8 %.

Подведя итог вышесказанному, можно сделать вывод о том, что исследование прочности соединения лабиринтного кольца с предподступичной частью оси колёсной пары с учётом воздействия на него эксплуатационных факторов является важной научно-технической задачей, решение которой позволит повысить безопасность движения поездов и снизить эксплуатационные расходы вызванные необходимостью проведения текущих ремонтов.

Для оценки влияния эксплуатационных факторов на прочность тепловой напрессовки лабиринтного кольца на предподступичную часть оси колёсной пары создана конечно-элементная модель [2].

Для предподступичной части оси согласно требованиям [3] смоделирована овальность цилиндрической поверхности – 0,05 мм, для лабиринтного кольца по диаметру 165 мм (посадочному диаметру) смоделированы овальность 0,1 мм и конусообразность – 0,05 мм [4].

В качестве материалов оси указывались характеристики стали ОсВ, для лабиринтного кольца – Ст3 сп.

Модель основана на упругой постановке задачи и состоит из шейки оси колёсной пары с предподступичной частью, передним внутренним буксовым кольцом и задним.

Конечно-элементная модель, представленная на рисунке 1, состоит из конечных элементов Tet10 и насчитывает 63098 конечных элементов и 111214 узлов.

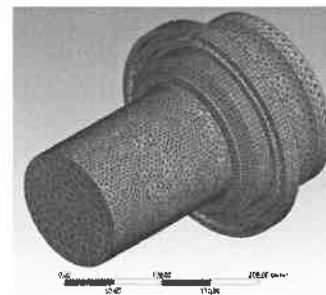


Рисунок 1 – Разбиение конечно-элементной модели соединения лабиринтного кольца с предподступичной частью оси колёсной пары

Напряжения фиксировались в четырёх сечениях на наружной поверхности лабиринтного кольца.

Диапазон изменения натягов согласно [3] от 0,020 мм до 0,186 мм.

Макрогеометрии сопрягаемых поверхностей. Для каждого значения натягов проводились расчёты для трёх углов взаимного расположения овальности и конусности сопрягаемых поверхностей (0°, 45°, 90°). Действующим руководящим документом [3] не регламентируется взаимное расположение конусности и овальности сопрягаемых поверхностей друг относительно друга, поэтому в практике возможна вариативность и, следовательно, для получения зависимости фактического натяга от замеряемого перед сборкой по применяемой методике целесообразно использовать усреднённую зависимость по полученным данным.

Анализ результатов проведённых расчётов позволил получить зависимости между действительными натягами и замеряемыми перед сборкой по разности диаметров для лабиринтного кольца с учётом микрогеометрии сопрягаемых поверхностей (рисунок 2).

Влияние уровня загрузки вагона. В нормальных условиях эксплуатации к лабиринтному кольцу не прилагается нагрузка, так как его задача совместно с лабиринтным уплотнением в корпусе буксы изолировать внутренний объём буксы от окружающей среды. В противном случае при восприятии нагрузки непосредственно лабиринтным кольцом возрастает вероятность нарушения работы лабиринтного уплотнения.

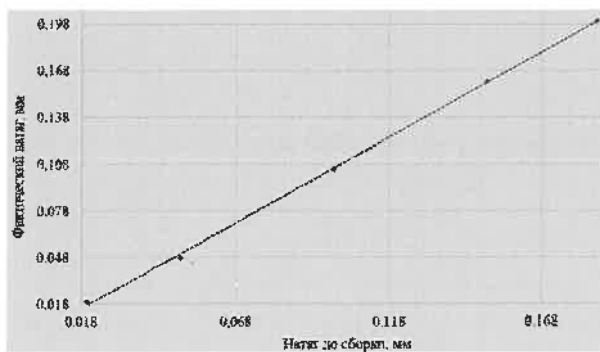


Рисунок 2 – Зависимость между действительным натягом и замеряемым перед сборкой по разности диаметров с учётом макрогеометрии сопрягаемых элементов ($y = 1,0969x - 0,0042$)

Для проверки данного предположения к разработанной модели прессового соединения к шейке оси при натягах по нижней и верхней границах рекомендованного диапазона (0,02 и 0,186 мм) прикладывается нагрузка в интервале от 1,5 до 16 тонн с шагом в 1,5 тонны.

Как показали результаты исследования модели, изменения напряжённо-деформированного состояния лабиринтного кольца от загрузки вагона по модулю не превышают 0,00652 МПа, что вызывает изменение натяга около 0,0001 мм.

Данные результаты позволяют подтвердить предположение о том, что при нормальных условиях работы буксового узла увеличение загрузки вагона не влияет на изменение прочности посадки лабиринтного кольца на неподступичную часть оси колёсной пары.

Влияние скорости движения. Дальнейшее исследование разработанной модели проводилось с изменением скорости движения колёсной пары от 0 до 200 км/ч, с шагом в 25 км/ч при значении натягов 0,02 и 0,186 мм, при нагрузке 1,5 и 16,5 т с принятым допущением о том, что перемещение колёсной пары строго прямое без торцевого воздействия на ось вследствие извилистого движения её по колее.

Анализ результатов исследования модели при изменении скорости с учётом принятых допущений показал зависимость влияния фактора «скорость движения» на изменение напряжений на наружной поверхности лабиринтного кольца и контактного давления в зоне сопряжения лабиринтного кольца в диапазоне натягов от 0,020 до 0,186 мм и нагрузке от 1,5 т до 16,5 т. Результаты проведенных расчётов представлены на рисунке 3.

Как видно из рисунка 3, увеличение скорости движения подвижного состава при принятых допущениях вызывает увеличение напряжённо-деформированного состояния лабиринтного кольца и уменьшение контактного давления в зоне сопряжения, а следовательно

но, и прочность прессового соединения, в дальнейшем оценивать прочность прессового соединения в динамике целесообразно выполнять по значению контактного давления в зоне сопряжения.

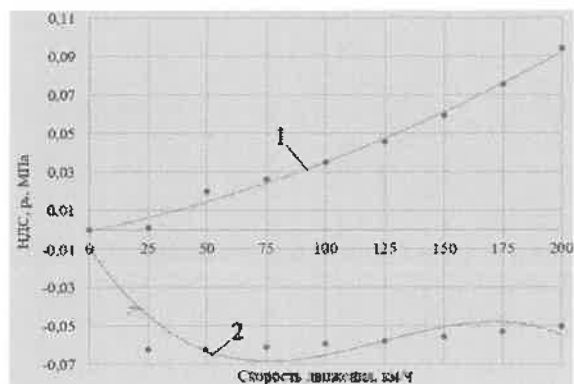


Рисунок 3 – Влияние скорости движения на НДС лабиринтного кольца: 1 – изменение НДС ($y = 0,0000011x^2 + 0,0002546x - 0,0007400$, $R^2 = 0,991$); 2 – изменение контактного давления ($y = -0,00000005x^2 + 0,00001749x^2 - 0,00183945x - 0,00888345$, $R^2 = 0,819$)

Влияние извилистого движения колёсной пары. В предыдущем исследовании влияния скорости движения подвижного состава на прочность прессового соединения лабиринтного кольца с неподступичной частью оси колёсной пары использовалось допущение о строго прямом движении по рельсовой колее.

В действительности же из-за наличия на поверхности катания конструктивных конусностей для самоустановки колёсной пары в колее на прямом участке пути кроме вертикальной нагрузки дополнительно на торец шейки оси по переменно будет воздействовать рамная сила, которая определяется согласно [5].

По методике, приведенной в работе [6] определялись параметры извилистого движения типовой колёсной пары: частота извилистого движения колёсной пары (λ), период извилистого движения (T) и длина волны извилистого движения (L).

Исходя из вышеописанного можно сделать вывод, что рамная сила будет действовать на торец шейки оси в одном направлении с периодом T и каждую половину периода в обратном.

Как и в предыдущем исследовании, прочность прессового соединения лабиринтного кольца с неподступичной частью оси с учётом извилистого движения колёсной пары целесообразно определять через контактное давление в зоне сопряжения, так как величина натяга, определённого через контактное давление на поверхности лабиринтного кольца и через контактное давление в зоне сопряжения, имеет значительные расхождения.

На рисунке 4 приведено влияние фактора «извилистое движение колёсной пары», для лабиринтного кольца в диапазоне натягов от 0,020 до 0,186 мм и нагрузке от 1,5 до 16,5 т, при изменении скорости от 0 до 200 км/ч.

Как видно из рисунка 4, увеличение скорости движения подвижного состава с учётом извилистого движения колёсной пары вызывает повышение контактного

ного давления в зоне сопряжения лабиринтного кольца с предподступичной частью оси.

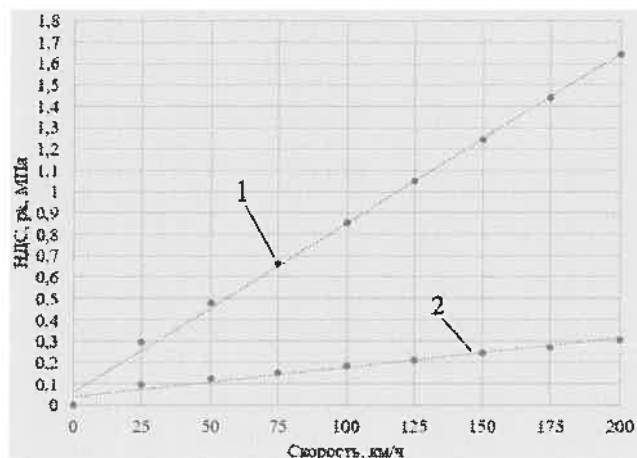


Рисунок 4 – Влияние скорости движения с учётом извилистого движения колёсной пары на НДС лабиринтного кольца и прочность прессового соединения: 1 – НДС поверхности кольца ($y = 0,008x + 0,0564$, $R^2 = 0,9977$); 2 – контактное давление в зоне сопряжения кольца с осью ($y = 0,0014x + 0,0379$, $R^2 = 0,968$)

Оценка влияния температуры на прочность прессового соединения лабиринтного кольца.

В эксплуатации колёсных пар одним из основных видов отказа является перегрев буксовых узлов [1, 7], поэтому следующим этапом в исследовании эксплуатационных факторов, влияющих на прочность прессового соединения внутренних колец буксовых подшипников с шейкой оси колёсной пары, является изучение влияния температуры.

Согласно [8, подп. 6.1.1.2] буксовые роликовые цилиндрические подшипники в составе железнодорожного подвижного состава должны быть работоспособными при температуре окружающей среды от минус 60 °С до плюс 55 °С.

В этом же документе есть требование надёжности подп. 6.1.3.2 где указано что максимальное превышение температуры нагрева подшипника относительно температуры окружающей среды – не более 80 °С.

Однако в практике [7, рисунки 5, 6] указывается что температура буксовых узлов возрастает до 80–140 °С.

Принимая во внимание вышеприведённую информацию, диапазон температур при которых будет произведен расчёт составляет от –60 °С до +100 °С шагом в 20 градусов (с учетом скорости, натяга и нагрузки всего более 144 расчётов).

На рисунке 5 приведена зависимость изменения контактного давления в зоне сопряжения лабиринтного кольца с предподступичной частью оси колёсной пары от температуры, для получения которых в качестве базиса использовались результаты расчета контактного давления без температурного фактора.

Из рисунка 5 видно, что увеличение температуры буксового узла вызывает снижение контактного давления в зоне сопряжения лабиринтного кольца с предподступичной частью оси колёсной пары, а как следствие, и уменьшение величины натяга рассматриваемого прессового соединения.

Результаты исследований позволили получить теоретическую зависимость величины натяга для лабиринтного кольца с учётом воздействия эксплуатационных факторов, используя зависимости для определения натяга вытекающие из решения Ляме – Гадолина:

$$\delta_{\text{эскиз}} = 1,0969\delta_{\text{по разн. диаметр}} + (-0,00005v^3 + 0,0162v^2 - 1,7v - 8,34t) \cdot 10^{-5} - 0,0026.$$

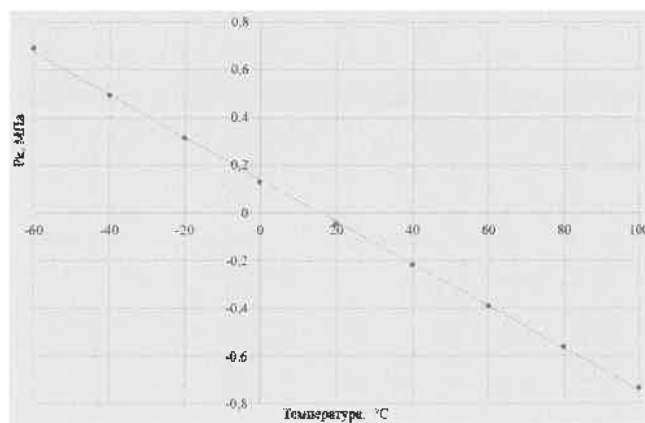


Рисунок 5 – Влияние температуры на контактное давление в зоне сопряжения лабиринтного кольца с предподступичной частью оси ($y = -0,0088x + 0,1403$)

Следующим этапом в проведении исследований является подготовка проведения экспериментальных напрессовок лабиринтных колец на предподступичные части осей колёсных пар для верификации полученной зависимости и выработка рекомендаций по совершенствованию технологии ремонта и получения данного типа прессового соединения.

Список литературы

- Агафонов, М. С. Отцепки грузовых вагонов в неплановый ремонт в первом полугодии 2024 г. / М. С. Агафонов // Вагоны и вагонное хозяйство. – 2024. – № 2 (79). – С. 11–13.
- ГОСТ 33200-2014. Оси колесных пар железнодорожного подвижного состава. Общие технические условия. – Введ. РБ 01.10.2016. – М.: АО «ВНИИЖТ», 2014. – 50 с.
- Руководящий документ по ремонту и техническому обслуживанию колесных пар с буксовыми узлами грузовых вагонов магистральных железных дорог колеи 1520 (1524) мм (РД ВНИИЖТ 27.05.01-2017). – 253 с.
- Чернин, Р. И. Моделирование прессового соединения лабиринтного кольца буксового узла с предподступичной частью оси колёсной пары подвижного состава / Р. И. Чернин // Наука, образование, транспорт: актуальные вопросы, приоритеты, векторы взаимодействия : материалы III Международ. науч.-метод. конф. 06–07 ноября 2024 г. Оренбург / редкол.: А. Н. Попов [и др.]. – Оренбург : ОриПС – филиал ПривГУПС, 2024. – С. 201–205.
- Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных) / ГосНИИВ-ВНИИЖТ. – М., 1996. – 319 с.
- Власов, С. А. Математическая модель кинематики колёсной пары вагона при свободном качении на прямом участке пути / С. А. Власов // Техническое регулирование в едином экономическом пространстве : сб. статей VII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, Екатеринбург,

20 мая 2020 г. / под науч. ред. Б. Н. Гузанова; ФГАОУ ВО «Рос. гос. проф.-пед. ун-т». – Екатеринбург, 2020. – С. 63–68.

7 **Мартыненко Л. В.** Безопасность и эксплуатация железнодорожного транспорта при выполнении комплексных работ по неразрушающему контролю подшипников буксовых узлов // *Современные технологии. Системный анализ.*

Моделирование. – 2021. – № 3 (71). – С. 193–200. – DOI : 10.26731/1813-9108.2021.3(71).193-200.

8 **Подшипники буксовые роликовые цилиндрические железнодорожного подвижного состава.** Технические условия: ГОСТ 18572-2014; введ. РБ 01.04.2017. – М. : ООО «ИЦ ЕПК», 2017. – 38 с.

R. I. Chernin, D. V. Shkoroedov. Assessment of the influence of operational factors on the strength of thermal pressing of the labyrinth ring of the axlebox unit onto the pre-tread part of the axle of a wheelset.

The article presents the results of theoretical studies to assess the influence of operational factors on the strength of the pressed joint of the labyrinth ring of the axle box assembly: macro geometry of the mating surfaces (during assembly of joints), the level of loading of the wagon, the speed of movement of the rolling stock and the temperature of the axle box.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА

УДК 691.32 : 624.012.45/46

А. А. ВАСИЛЬЕВ, кандидат технических наук, М. И. ТКАЧЕВА, аспирант, К. Э. АГЕЕВА, магистрант, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНОГО СОДЕРЖАНИЯ ЦЕМЕНТА БЕТОНОВ КЛАССОВ ПО ПРОЧНОСТИ НА СЖАТИЕ $C^{12/15}-C^{50/60}$

Показана необходимость оценки и прогнозирования карбонизации бетона новыми методами. Предложены зависимости определения предельной величины карбонизации бетона для различных марок бетонной смеси по удобоукладываемости бетонов классов по прочности на сжатие $C^{12/15}-C^{50/60}$. Приведена логичность использования показателя расчетного содержания цемента для определения предельной величины карбонизации бетона. Выполнены расчеты и представлены зависимости расчетного содержания цемента от величины осадки конуса для подвижных смесей и от величины времени вибрации для жестких смесей для отпускной прочности бетонов 70–100 % бетонов классов по прочности на сжатие $C^{12/15}-C^{50/60}$. Приведены расчетные значения содержания цемента для бетонов классов по прочности на сжатие $C^{12/15}-C^{50/60}$ марок бетонных смесей по удобоукладываемости П1, Ж1 и Ж2.

Введение. Воздействие углекислого газа воздуха среди других агрессивных сред, взаимодействующих с поровой жидкостью бетона (основой которой является гидроксид кальция) в атмосферных условиях эксплуатации подавляющего большинства железобетонных элементов (ЖБЭ) и конструкций (ЖБК) за счет постоянного (во времени) воздействия является основной причиной нейтрализации бетона и потери им защитных свойств по отношению к стальной арматуре. Таким образом, карбонизация, в первую очередь, определяет коррозионные свойства бетона и железобетона.

По результатам многолетних исследований карбонизации бетона (реакции и механизма карбонизации, развития карбонизации во времени по сечению бетонов различных классов по прочности на сжатие в различных эксплуатационных условиях) доцент А. А. Васильев в своих многочисленных работах [1–3 и др.] показал и убедительно доказал, что существующие методы оценки и прогнозирования карбонизации бетона, базирующиеся на фенолфталеиновом тесте (ФФТ) и краткосрочных лабораторных исследованиях, построенные на линейном распределении фронта карбонизации не позволяют ни оценивать, ни прогнозировать карбонизацию, тем более – оценивать и прогнозировать техническое состояние железобетона с учетом развития карбонизации во времени по сечению

бетона ЖБЭ и ЖБК. Это потребовало создания и применения новых методов исследования карбонизации и ее влияния на изменение коррозионных свойств бетона и стальной арматуры в карбонизированном бетоне [1–8], соответственно, введения новых понятий и определений.

Основная часть. Предельная величина карбонизации бетона (ПВК) оценивает максимальную карбонизируемость бетона (в любом сечении элемента (конструкции)) при условии полной гидратации цемента ($\alpha = 1$). Значения ПВК определяются по известному содержанию компонентов бетонной смеси [1]. Определение ПВК является основой для создания системы расчетно-экспериментальных зависимостей изменения степени фактической карбонизации (СФК) во времени по сечению бетона любого класса по прочности на сжатие (состава бетона) для различных эксплуатационных условий [2].

Простое и качественное определение ПВК (на стадии проектирования ЖБЭ (ЖБК), при детальном обследовании эксплуатируемых зданий и сооружений и др.) – одна из важнейших задач объективной оценки и прогнозирования технического состояния ЖБЭ (ЖБК).

По результатам исследований в [9–14] были предложены зависимости $PVK = f(R, Ц)$ для составов бетонов классов по прочности на сжатие $C^{12/15}-C^{50/60}$.

Для подвижных смесей

$$PVK = (-0,0028R^2 + 0,4325R - 13,78)10^{-8}Ц^3 - 9,0 \cdot 10^{-3}Ц^2 + (-5,0 \cdot 10^{-6}R^2 + 0,0007R + 0,0970)Ц + 6,0 \cdot 10^{-4}R^2 - 0,1012R + 2,381. \quad (1)$$

Для жестких смесей

$$PVK = (-0,0003R^2 + 0,0075R - 5,725) \cdot 10^{-8}Ц^3 - 1,0 \cdot 10^{-4}Ц^2 + (-8,0 \cdot 10^{-7}R^2 - 9,0 \cdot 10^{-6}R + 0,1361)Ц + 2,0 \cdot 10^{-4}R^2 - 0,0156R - 1,782, \quad (2)$$

где R – отпускная прочность бетона; %; $Ц$ – содержание цемента, $кг/м^3$.

В [4–10] представлены зависимости $PVK = f(R, Ц)$ для каждого (отдельного) класса бетона по прочности на сжатие. В общем виде

$$PVK = (k_1R + k_2)Ц + k_3R + k_4, \quad (3)$$

где k_1-k_4 – коэффициенты, аппроксимирующие линейную зависимость.

При подборе составов бетонов и выведении зависимостей (1)–(3) использовался вычислительный комплекс «Технолог», основанный на многофакторном методе подбора состава бетона, разработанном проф. В. В. Бабицким.

В приведенных зависимостях (1)–(3) неизвестны R и Π . Существует прямая зависимость между ними, но необходимо понимать, что каждому значению R соответствует ряд значений Π (так, для подвижных смесей марок по удобоукладываемости П1–П5 – 25 значений Π ; для жестких смесей марок по удобоукладываемости Ж1–Ж4 – 36 значений Π для каждого класса бетона по прочности на сжатие).

Отпускная прочность бетона изменяется в пределах 70–100 % для любого класса бетона по прочности на сжатие, при этом не только значительно изменяется содержание цемента при таком диапазоне R , но и значения Π пересекаются в границах соответствующих значений диапазонов R .

Так, для бетона класса по прочности на сжатие $C^{28}/_{35}$ при $R = 70 \dots 100$ % содержание цемента для подвижных смесей изменяется в пределах 418–793 кг/м³ (для $R = 70$ % $\Pi = 418 \dots 599$ кг/м³; $R = 80$ %; $\Pi = 461 \dots 661$ кг/м³; $R = 90$ %; $\Pi = 507 \dots 726$ кг/м³; $R = 100$ %; $\Pi = 554 \dots 793$ кг/м³); для жестких смесей – в пределах 353–565 кг/м³ (для $R = 70$ % $\Pi = 353 \dots 426$ кг/м³; $R = 80$ %; $\Pi = 390 \dots 470$ кг/м³; $R = 90$ %; $\Pi = 429 \dots 517$ кг/м³; $R = 100$ %; $\Pi = 469 \dots 565$ кг/м³).

Таким образом, для применения зависимостей (1)–(3) необходимо знать не только граничные значения Π для каждого значения R , но и соблюдать зависимость $\Pi(R)$, что сложно даже при проектировании ЖБЭ (ЖБК) в лабораторных условиях и практически невозможно в условиях обследования реальных конструкций.

Так как для бетона любого класса по прочности на сжатие для подвижных бетонных смесей марок по удобоукладываемости П1–П5 подвижность изменяется в пределах ОК = 1...25 см; для жестких (Ж1–Ж4) – 5...40 с, считаем необходимым получить зависимость расчетного содержания цемента от значений осадки конуса (времени вибрации), что позволит значительно упростить (без потери точности) определение ПВК.

В общем виде зависимость $\Pi_p = f(R, M(S))$ для любого граничного значения отпускной прочности бетона

$$\Pi_p = k_1 M^2(S^2) + k_2 M(S) + k_3,$$

где k_1 – k_3 – коэффициенты, аппроксимирующие полиномиальную зависимость; M – осадка конуса для подвижных смесей, см; S – время вибрации для жестких смесей, с; $k_1, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3 \cdot \text{см}^2}$; $k_2, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3 \cdot \text{см}}$, $k_3, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

Здесь

$$k_1 = k_4 R + k_5, \quad (4)$$

$$k_2 = k_6 R + k_7, \quad (5)$$

$$k_3 = k_8 R + k_9, \quad (6)$$

где k_4 – k_9 – коэффициенты, аппроксимирующие линейную зависимость; $k_4, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3 \cdot \text{см}^2 \cdot \%}$, $k_5, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3 \cdot \text{см}^2}$,

$k_6, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3 \cdot \text{см} \cdot \%}$, $k_7, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3 \cdot \text{см}}$, $k_8, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3 \cdot \%}$, $k_9, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

Так, для бетона класса по прочности на сжатие $C^{28}/_{35}$ подвижных смесей марок по удобоукладываемости П1–П5, для отпускной прочности бетона 70 %

$$\Pi_p = -0,3486M^2 + 14,46M + 403,7; \quad (7)$$

$$R = 80 \%, \quad \Pi_p = -0,3876M^2 + 18,23M + 445,4; \quad (8)$$

$$R = 90 \%, \quad \Pi_p = -0,4209M^2 + 19,86M + 489,8; \quad (9)$$

$$R = 100 \%, \quad \Pi_p = -0,4618M^2 + 21,74M + 535,2. \quad (10)$$

Путем математической обработки были получены коэффициенты k_1 – k_3 :

$$k_1 = -0,0037R - 0,0878; \quad (11)$$

$$k_2 = 0,1747R + 4,223; \quad (12)$$

$$k_3 = 4,389R + 95,46. \quad (13)$$

Таким образом, для бетона класса по прочности на сжатие $C^{28}/_{35}$ бетонных смесей марок по удобоукладываемости П1–П5

$$\Pi_p = (-0,0037R - 0,0878)M^2 + (0,1747R + 4,223)M + 4,389R + 95,46. \quad (14)$$

Аналогично, для жестких смесей марок по удобоукладываемости Ж1–Ж4

$$\Pi_p = (0,0002R + 0,0070)S^2 + (-0,0310R - 0,8313)S + 4,750R + 104,2. \quad (15)$$

С учетом того, что подавляющее большинство железобетонных элементов (ЖБЭ) выполняется из подвижных смесей марки по удобоукладываемости П1 (ОК = 3, 4 см) из жестких смесей – Ж1 (5–10 с) Ж2 (11–20 с), можно получить укрупненную зависимость $\Pi_p = f(R)$.

Для подвижных смесей (П1, ОК = 4 см)

$$\Pi_p = 5,029R + 111,0. \quad (16)$$

Для жестких смесей (Ж1, $S_{cp} = 8$ с)

$$\Pi_p = 4,512R + 97,99; \quad (17)$$

(Ж2, $S_{cp} = 15$ с)

$$\Pi_p = 4,330R + 93,29. \quad (18)$$

Полученные зависимости $\Pi_p = f(R, M(S))$ для бетонов классов по прочности на сжатие $C^{12}/_{15}$ – $C^{50}/_{60}$ для бетонных смесей марок по удобоукладываемости П1–П5 и Ж1–Ж4 приведены соответственно в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Зависимости $\Pi_p = f(R, M)$ для бетонов различных классов по прочности на сжатие (подвижность смеси П1–П5) и отпускной прочности 70–100 %

Класс бетона по прочности на сжатие	Зависимость $\Pi_p = f(R, M)$
$C^{12}/_{15}$	$(-0,0013R - 0,0449)M^2 + (0,0559R + 2,404)M + 1,539R + 81,66$
$C^{16}/_{20}$	$(-0,0021R - 0,0177)M^2 + (0,1111R + 0,2215)M + 1,894R + 113,5$
$C^{18}/_{22,5}$	$(-0,0036R + 0,0709)M^2 + (0,1550R - 1,695)M + 2,173R + 117,9$
$C^{20}/_{25}$	$(-0,0035R + 0,0169)M^2 + (0,1495R + 0,5500)M + 2,707R + 103,2$
$C^{22}/_{27,5}$	$(-0,0030R - 0,0596)M^2 + (0,1381R + 3,144)M + 3,255R + 89,15$

Окончание таблицы 1

Класс бетона по прочности на сжатие	Зависимость $\sigma_p = f(R, M)$
$C^{25}/_{30}$	$(-0,0029R - 0,0994)M^2 + (0,1361R + 4,601)M + 3,417R + 103,9$
$C^{28}/_{35}$	$(-0,0037R - 0,0878)M^2 + (0,1747R + 4,223)M + 4,389R + 95,46$
$C^{30}/_{37}$	$(-0,0039R - 0,0976)M^2 + (0,1823R + 4,562)M + 4,695R + 96,05$
$C^{32}/_{40}$	$(-0,0043R - 0,0945)M^2 + (0,2022R + 4,513)M + 5,128R + 99,97$
$C^{35}/_{45}$	$(-0,0048R - 0,1036)M^2 + (0,2287R + 4,858)M + 5,889R + 101,6$
$C^{40}/_{50}$	$(-0,0055R - 0,0984)M^2 + (0,2590R + 4,815)M + 6,645R + 102,7$
$C^{45}/_{55}$	$(-0,0061R - 0,1037)M^2 + (0,2865R + 4,945)M + 7,373R + 103,8$
$C^{50}/_{60}$	$(-0,0066R - 0,1105)M^2 + (0,3124R + 5,141)M + 8,110R + 104,3$

Таблица 2 – Зависимости $\sigma_p = f(R, S)$ для бетонов различных классов по прочности на сжатие (подвижность смеси Ж1–Ж4) и отпускной прочности 70–100 %

Класс бетона по прочности на сжатие	Зависимость $\sigma_p = f(R, S)$
$C^{12}/_{15}$	$(8,0 \cdot 10^{-5}R - 0,0038)S^2 + (-0,0096R - 0,4948)S + 1,652R + 86,78$
$C^{16}/_{20}$	$(-4,0 \cdot 10^{-5}R + 0,0160)S^2 + (-0,0099R - 0,8556)S + 2,127R + 113,3$
$C^{18}/_{22,5}$	$(0,0002R + 0,0003)S^2 + (-0,0301R + 0,8314)S + 2,417R + 120,4$
$C^{20}/_{25}$	$(0,0005R - 0,0231)S^2 + (-0,0395R + 1,067)S + 3,013R + 104,6$
$C^{22}/_{27,5}$	$(0,0003R - 0,0040)S^2 + (-0,0395R + 0,7152)S + 3,564R + 93,40$
$C^{25}/_{30}$	$(0,0001R + 0,0134)S^2 + (-0,0316R - 0,2526)S + 3,750R + 109,0$
$C^{28}/_{35}$	$(0,0002R + 0,0070)S^2 + (-0,0310R^3 - 0,8323)S + 4,750R + 104,2$
$C^{30}/_{37}$	$(0,0003R + 0,0063)S^2 + (-0,0339R - 0,7830)S + 5,074R + 105,1$
$C^{32}/_{40}$	$(0,0003R + 0,0072)S^2 + (-0,0367R - 0,8578)S + 5,560R + 108,2$
$C^{35}/_{45}$	$(0,0003R + 0,0049)S^2 + (-0,0425R - 0,8141)S + 6,367R + 111,1$
$C^{40}/_{50}$	$(0,0004R + 0,0058)S^2 + (-0,0480R - 0,8310)S + 7,178R + 112,5$
$C^{45}/_{55}$	$(0,0004R + 0,0069)S^2 + (-0,0526R - 0,8732)S + 7,972R + 113,5$
$C^{50}/_{60}$	$(0,0005R + 0,0058)S^2 + (-0,0582R - 0,8436)S + 8,763R + 114,1$

С учетом того, что для подвижных смесей марки по удобоукладываемости П1 применяются составы, в основном с ОК = 4 см, в таблице 3 приведены укрупненные зависимости $\sigma_{p, П1} = f(R)$.

Таблица 3 – Зависимости $\sigma_{p, П1} = f(R)$ для бетонов различных классов по прочности на сжатие (подвижность смеси П1) и отпускной прочности 70–100 %

Класс бетона по прочности на сжатие	Зависимость $\sigma_{p, П1} = f(R)$
$C^{12}/_{15}$	$1,742R + 90,56$
$C^{16}/_{20}$	$2,295R + 114,1$
$C^{18}/_{22,5}$	$2,735R + 112,4$
$C^{20}/_{25}$	$3,249R + 105,7$
$C^{22}/_{27,5}$	$3,759R + 100,8$
$C^{25}/_{30}$	$3,915R + 120,7$
$C^{28}/_{35}$	$5,029R + 111,0$
$C^{30}/_{37}$	$5,362R + 112,7$
$C^{32}/_{40}$	$5,868R + 116,5$
$C^{35}/_{45}$	$6,727R + 119,4$
$C^{40}/_{50}$	$7,593R + 120,4$
$C^{45}/_{55}$	$8,421R + 121,9$
$C^{50}/_{60}$	$9,254R + 123,1$

Аналогично получены укрупненные зависимости $\sigma_{p, Ж1} = f(R)$ и $\sigma_{p, Ж2} = f(R)$ для жестких смесей марок по удобоукладываемости Ж1 и Ж2 для средних значений вибрации – соответственно 8 и 15 с (таблица 4).

Таблица 4 – Зависимости $\sigma_{p, Ж1(Ж2)} = f(R)$ для бетонов различных классов по прочности на сжатие (подвижность смеси Ж1 и Ж2) и отпускной прочности 70–100 %

Класс бетона по прочности на сжатие	Зависимость $\sigma_p = f(R)$ для марок смеси по удобоукладываемости	
	Ж1	Ж2
$C^{12}/_{15}$	$1,580R + 83,07$	$1,526R + 80,21$
$C^{16}/_{20}$	$2,045R + 107,5$	$1,970R + 104,1$
$C^{18}/_{22,5}$	$2,189R + 127,1$	$2,011R + 132,9$
$C^{20}/_{25}$	$2,729R + 111,7$	$2,533R + 115,4$
$C^{22}/_{27,5}$	$3,267R + 98,93$	$3,039R + 103,3$
$C^{25}/_{30}$	$3,504R + 107,8$	$3,300R + 108,2$
$C^{28}/_{35}$	$4,512R + 97,99$	$4,330R + 93,29$
$C^{30}/_{37}$	$4,822R + 99,24$	$4,633R + 94,77$
$C^{32}/_{40}$	$5,286R + 101,8$	$5,077R + 96,95$
$C^{35}/_{45}$	$6,046R + 104,9$	$5,797R + 99,99$
$C^{40}/_{50}$	$6,820R + 106,2$	$6,548R + 101,3$
$C^{45}/_{55}$	$7,577R + 107,0$	$7,273R + 102,0$
$C^{50}/_{60}$	$8,329R + 107,7$	$8,003R + 102,8$

С учетом того, что подавляющее большинство ЖБЭ изготавливают (по экономическим соображениям) с отпускной прочностью 70 % при проектировании ЖБЭ (ЖБК), можно использовать значения σ_p (таблица 5).

Таблица 5 – Расчетное содержание цемента C_p для бетонов различных классов по прочности на сжатие

Класс бетона по прочности на сжатие	Расчетное содержание цемента C_p , кг/м ³ для марки бетонной смеси по удобоукладываемости		
	П1	Ж1	Ж2
$C^{12}_{/15}$	212,5	193,7	187,0
$C^{16}_{/20}$	274,8	250,7	242,0
$C^{18}_{/22,5}$	303,9	280,3	273,7
$C^{20}_{/25}$	333,1	302,7	292,7
$C^{22}_{/27,5}$	363,9	327,6	316,0
$C^{25}_{/30}$	394,8	353,1	339,2
$C^{28}_{/35}$	463,0	413,8	396,4
$C^{30}_{/37}$	481,0	436,8	419,1
$C^{32}_{/40}$	527,3	471,8	452,3
$C^{35}_{/45}$	590,3	528,1	505,8
$C^{40}_{/50}$	651,9	583,6	559,7
$C^{45}_{/55}$	711,4	637,4	611,1
$C^{50}_{/60}$	770,9	690,7	663,0

Заключение. Результаты исследований показывают, что использование параметра «расчетное содержание цемента» и зависимостей, представленных в таблицах 1–4 значительно упрощает (без потери точности и объективности) расчет и прогнозирование предельной величины карбонизации бетона для бетонных смесей марок по удобоукладываемости П1–П5, Ж1–Ж4 для бетонов классов по прочности на сжатие $C^{12}_{/15}$ – $C^{50}_{/60}$.

Для упрощенного прогнозирования значений ПВК бетонов реально эксплуатируемых ЖБЭ (ЖБК) возможно и достаточно использование граничных значений C_p (см. таблицу 5).

Список литературы

- 1 Васильев, А. А. Карбонизация и оценка поврежденности железобетонных конструкций : [монография] / А. А. Васильев. – Гомель : БелГУТ, 2012. – 263 с.
- 2 Васильев, А. А. Карбонизация бетона (оценка и прогнозирование) : [монография] / А. А. Васильев. – Гомель : БелГУТ, 2013. – 303 с.
- 3 Васильев, А. А. Оценка и прогнозирование технического состояния железобетонных конструкций с учетом карбонизации бетона : [монография] / А. А. Васильев. – Гомель : БелГУТ, 2019. – 215 с.
- 4 Васильев, А. А. Оценка существующей модели карбонизации бетона / А. А. Васильев // Строительная наука и техника. – 2009. – № 1 (22). – С. 54–58.

Получено 28.08.2024

A. Vasilyev, M. I. Tkacheva, K. E. Ageeva. Estimated cement content of concretes of compressive strength classes $C^{12}_{/15}$ – $C^{50}_{/60}$.

The necessity of estimation and forecasting of concrete carbonization by new methods is shown. Relationships of determination limit value of concrete carbonization for different grades of concrete mixture by workability of $C^{12}_{/15}$ – $C^{50}_{/60}$ compression strength classes are proposed. The logics of using the estimated cement content to determine the limit value of concrete carbonization is presented. Calculations have been performed and relationships between calculated cement content and cone settlement value for movable mixtures and vibration time value for rigid mixtures for concrete release strength of 70–100 % of concretes of $C^{12}_{/15}$ – $C^{50}_{/60}$ compression strength classes are presented. The calculated values of cement content for concretes of compression strength classes $C^{12}_{/15}$ – $C^{50}_{/60}$ grades of concrete mixtures by workability of П1, Ж1 and Ж2 are given.

5 Васильев, А. А. К вопросу необходимости учета карбонизации бетона в нормативных документах Республики Беларусь по оценке технического состояния железобетонных элементов и конструкций / А. А. Васильев // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2017. – № 1 (34). – С. 87–88.

6 Васильев, А. А. К вопросу объективности современной оценки и прогнозирования карбонизации бетона на основе индикаторного метода / А. А. Васильев // Вестник Брестского государственного технического университета. Строительство и архитектура. – 2020. – № 1. – С. 77–80.

7 Васильев, А. А. Совершенствование методов оценки технического состояния железобетонных элементов, эксплуатирующихся в условиях атмосферной агрессии / А. А. Васильев // Строительная наука и техника. – 2012. – № 2 (41). – С. 21–28.

8 Васильев, А. А. Совершенствование оценки и прогнозирования технического состояния железобетонных элементов и конструкций, эксплуатирующихся в различных атмосферных условиях / А. А. Васильев // Проблемы современного бетона и железобетона : сб. науч. тр. – Минск, 2017. – Вып. 9. – С. 148–167.

9 Васильев, А. А. Оценка предельной величины карбонизации бетона / А. А. Васильев, Ю. К. Кабышева, Н. А. Леонов // World science and education: problems and innovations : материалы VIII Междунар. науч.-практ. конф. – Пенза : Наука и Просвещение, 2021. – С. 22–25.

10 Васильев, А. А. Анализ предельной величины карбонизации бетона для различных классов бетона по прочности на сжатие / А. А. Васильев // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2022. – № 1 (42). – С. 88–90.

11 Васильев, А. А. Оценка и прогнозирование максимальной величины карбонизации бетона / А. А. Васильев // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Прикладные науки. Строительство и архитектура. – 2022. – № 8 (31). – С. 46–53.

12 Кабышева, Ю. К. Анализ предельной величины карбонизации бетона / Ю. К. Кабышева, А. А. Васильев // Лучшая студенческая статья 2022 : сб. ст. XLVII науч.-исслед. конкурса ; под общ. ред. Гуляева Г. Ю. – Пенза : Наука и Просвещение, 2022. – С. 70–77.

13 Анализ предельной величины карбонизации для жестких смесей бетонов классов по прочности на сжатие $C^{12}_{/15}$ – $C^{50}_{/60}$ / Ю. К. Кабышева [и др.] // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2024. – № 1 (48). – С. 88–90.

14 Анализ предельной величины карбонизации для подвижных смесей бетонов классов по прочности на сжатие $C^{12}_{/15}$ – $C^{50}_{/60}$ / Ю. К. Кабышева [и др.] // Научное обозрение: актуальные вопросы теории и практики : сб. ст. X Междунар. науч.-практ. конф. – Пенза : Наука и Просвещение, 2024. – С. 20–25.

УДК 629.463.3:519.1

С. А. ПЕТРАЧКОВ, аспирант, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

ПОДХОДЫ К МАТЕМАТИЧЕСКОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ ДИНАМИКИ ГРУЗОВ, ПЕРЕВОЗИМЫХ НА ОТКРЫТОМ ПОДВИЖНОМ СОСТАВЕ

Приведены результаты анализа подходов к математическому моделированию динамики транспортируемых на открытом железнодорожном составе грузов, применяемых в исследованиях авторов из стран СНГ и дальнего зарубежья.

Введение. В настоящее время значительное число грузов, предъявляемых к перевозке железнодорожным транспортом, перевозится на открытом подвижном составе (далее – ОПС), в частности, на железнодорожных платформах и транспортерах (рисунок 1).

Анализ выполнения графика движения поездов за 2022 год показывает, что на грузовое хозяйство отнесены задержки по 14 поездам (2 поезда по влиянию). Задержки поездов допущены по причине нарушения сохранности грузов при их транспортировке.

Крепление и размещение грузов в полувагонах и на платформах регламентируется Правилами [1]. Если какие-либо грузы не предусмотрены Правилами [1], их размещение и крепление следует выполнять в соответствии с действующими на железной дороге отправления Местными техническими условиями (далее МТУ) или схемами размещения и крепления грузов (далее – НТУ), разработанными в соответствии с требованиями, указанными в [1]. На зарубежных железных дорогах используются аналогичными нормативными документами или отдельно рассчитанными схемами крепления грузов.

В последнее время существенно увеличилась масса и длина составов поездов и их скорость движения, что может привести к необеспечению безопасной их эксплуатации и несохранности перевозок грузов, в том числе за счет продольно-динамических сил в межва-

гонных соединениях, которые оказывают влияние на плавность хода подвижного состава и относительные смещения транспортируемых грузов в кривых участках, переломах профиля пути и на затяжных спусках.

Поэтому модернизация подходов к математическому моделированию транспортировки грузов на открытом подвижном составе является актуальной задачей.

В соответствии с [1] при математическом моделировании транспортировки грузов необходимо учитывать следующие ограничения:

- масса груза и средств крепления меньше либо равна трафаретной грузоподъемности вагона;
- при погрузке груза на сцеп из двух вагонов с опиранием на каждый из них доля общего загруженного веса не должна превышать грузоподъемность каждого вагона в сцепе;
- нагрузка на оси вагона от общей массы груза и средств крепления меньше либо равна допустимой нагрузке на рельсы железных дорог всех задействованных государств;
- в продольном направлении выход нелинейного груза за пределы концевых балок меньше либо равен 400 мм;
- смещение общего центра тяжести груза в продольном и поперечном направлениях относительно центра тяжести вагона не превышает принятых в [1] значений.

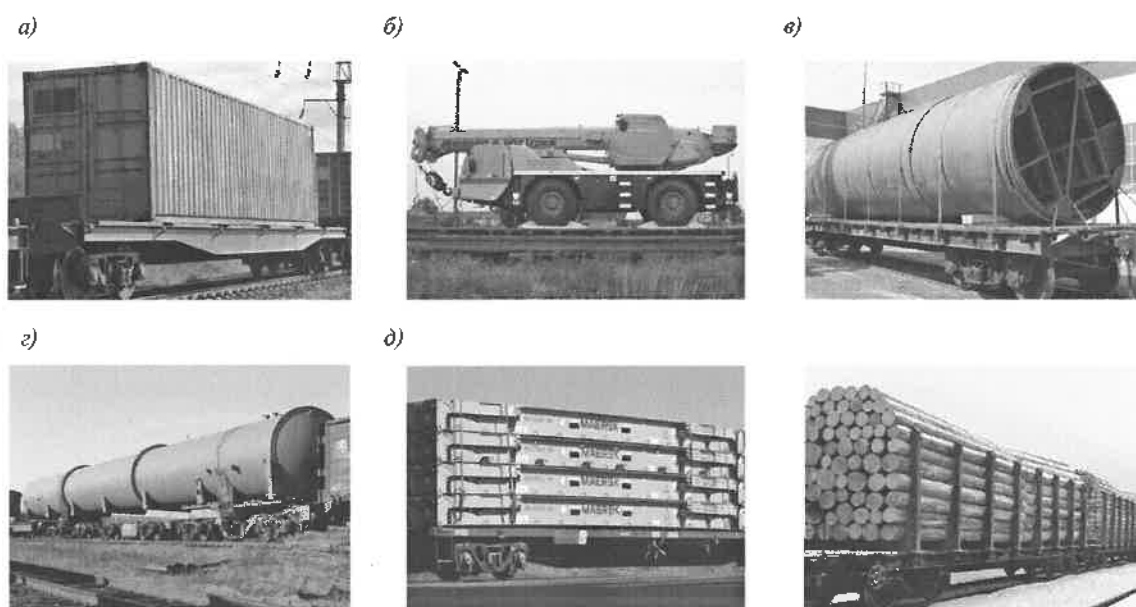


Рисунок 1 – Основные виды грузов, перевозимых на железнодорожных платформах и транспортерах: а – с плоскими опорами; б – на колесном ходу; в – цилиндрической формы; г – длиномерные грузы; д – грузы, размещенные штабелями

В последние десятилетия значительное число работ, связанных с математическим моделированием динамики грузов, предъявляемых к перевозке железнодорожным ОПС, выполнены Турановым Х. Т. и его коллегами.

Так, в статье [2] приведена математическая модель динамики груза, размещенного на платформе, при движении по прямому участку пути (рисунок 2). При этом показано, что усилия, воспринимаемые элементами крепления, не одинаковы, как принимается в соответствии с [1]. Это приводит к ситуации, когда прочность отдельных элементов креплений не обеспечена.

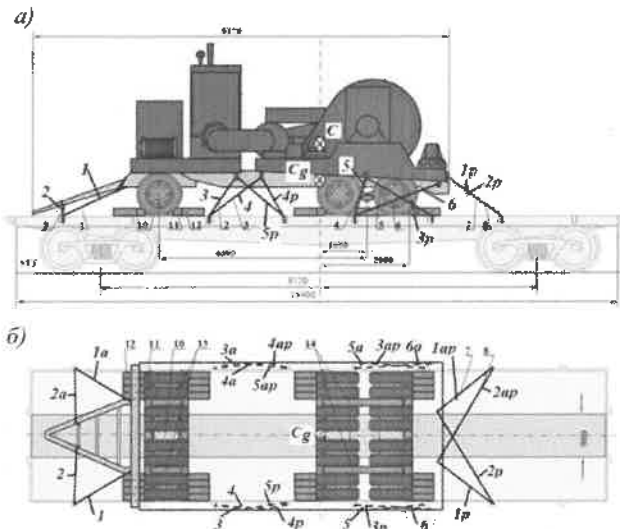


Рисунок 2 – Схема размещения и крепления груза на вагоне: а – главный вид; б – вид сверху

В работе [3] проводились исследования динамического поведения системы «груз – крепления» при движении подвижного состава в кривой. Авторами представлены разработанные с применением принципа Даламбера математические модели вагона с одним штучным грузом, имеющим плоскую опору, с учетом смещения центра тяжести груза в поперечной плоскости и наклона рамы вагона в кривых (рисунок 3). На основе разработанной математической модели автором проанализировано влияние смещения центра тяжести груза на значения давления колес на рельсовые нити при определенной скорости движения и на коэффициенты устойчивости вагона. При этом учитывалось, что груз крепится гибкими элементами.

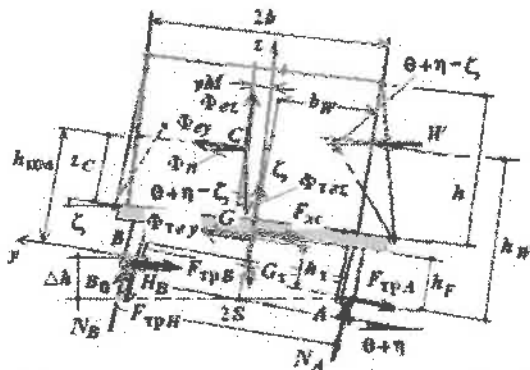


Рисунок 3 – Математическая модель вагона со штучным грузом с плоской опорой на кривом участке пути [3]

Физико-геометрические характеристики элементов крепления, а также значения внешних сил, воспринимаемых креплением и грузом, учтены автором при создании математической модели, приведенной в [4]. Разработанная модель транспортировки груза на ОПС с учетом сдвига груза основана на учете воздействия пространственной системы сил, которое воспринимают вагон, упругие и упорные деревянные средства креплений (рисунок 4) и позволяет рассчитать необходимое число растяжек при усложнении условий перевозки груза.

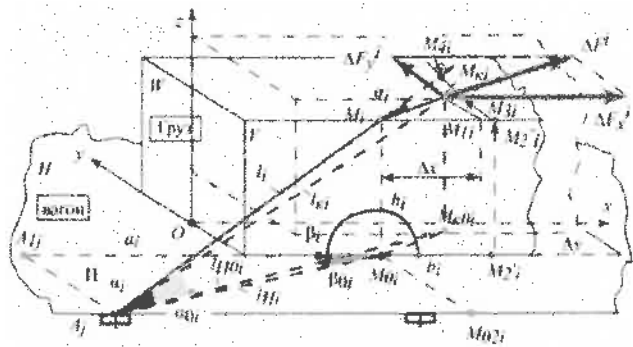


Рисунок 4 – Пространственная модель распределения нагрузки при состоявшемся сдвиге при наличии боковой возмущающей нагрузки [4]

Математические модели динамики закрепленных на платформе двух контейнеров-цистерн груза приведены, например, в [5]. Здесь рассматривается случай столкновения платформы с контейнерами-цистернами с группой неподвижно стоящих вагонов.

Особенности динамического поведения цилиндрических грузов на основе математического моделирования приведены, например, в работах [6–8]. В частности, в статье [6] приведена динамическая модель транспортировки труб большого диаметра на платформе (рисунок 5), при использовании которой можно учесть ослабление креплений с какой-либо из сторон, а также ударное взаимодействие при контакте с неподвижно стоящими вагонами. В описанной модели все тела все тела считаются абсолютно твердыми, а канаты продольного крепления труб и поперечной обвязки – упругими свойствами с линейными характеристиками.

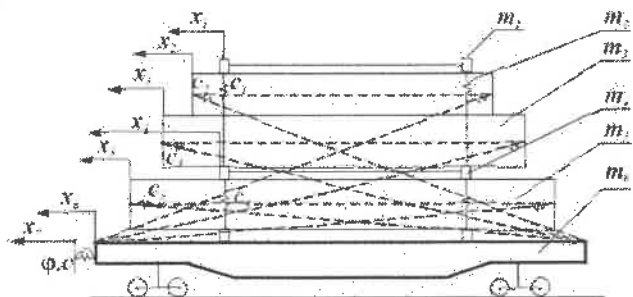


Рисунок 5 – Расчетная схема воздействия платформы и труб при соударении вагонов [6]

В статье [9] приведена расчетная математическая модель системы «вагон – груз» с подвижными турникетно-крепежными устройствами для случаев соударе-

ния сцепа из двух вагонов с грузом с неподвижной стенкой, состоящей из трех вагонов, на основе применения принципа Даламбера. В работе [10] подобная задача решена с использованием теории колебаний механических систем с конечным числом степеней свободы.

Отдельными исследователями рассматривались особенности нагружения колесных пар при несимметрично расположенном грузе, а также колебания системы «вагон – груз» [11].

В статье [11] представлена расчетная схема грузового вагона, разработанная для исследования колебаний подпрыгивания, галоупирования и боковой качки вагона с грузом (рисунок 6). В качестве обобщенных координат при расчетах выбраны вертикальные и угловые (соответствующие галоупированию и качке) перемещения.

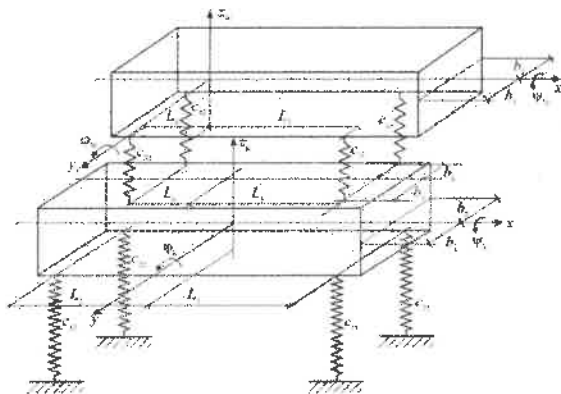


Рисунок 6 – Модель системы «вагон – груз» [11]

Таким образом установлено, что в настоящее время методика расчета средств крепления грузов на железнодорожном подвижном составе использует положения, характерные для механики только твердых тел. При этом в системах «груз – средства крепления – подвижной состав» либо «груз – упаковка – средства крепления – подвижной состав» присутствуют и деформируемые элементы, к которым могут относиться как сами грузы или их компоненты, так и средства крепления.

Для учета основных свойств перечисленных категорий грузов и средств их крепления и упаковки необходимо применять знания механики твердого и деформируемого тела, сплошной среды, жидкостей и газов, а также положения теории упругости, теории организации перевозочного и маневрового процессов, работы путей общего и необщего пользования, что предполагает решение сложных междисциплинарных задач, аналитическое решение которых представляет собой весьма трудоемкий процесс, обусловленный требова-

ниями достоверности и адекватности составления математических моделей.

Список литературы

- 1 Соглашение о международном железнодорожном грузовом сообщении (СМГС): действует с 1 ноября 1951 г., с изм. и доп. на 1 июля 2015 г. – Минск : Амалфея, 2015. – 216 с.
- 2 Туранов, Х. Т. К расчёту крепления твердотельного груза при воздействии продольных сил / Х. Т. Туранов, Я. О. Рузметов, Ж. А. Шихназаров // Современные проблемы транспортного комплекса России. – 2020. – Т. 10, № 1. – С. 32–42.
- 3 Ситников, С. А. Оценка устойчивости вагона с грузом со смещенным центром тяжести : автореф. дис. ... канд. техн. наук 05.22.08 / С. А. Ситников; Ур. гос. ун-т путей сообщ. – Екатеринбург, 2007. – 24 с.
- 4 Оленцевич, В. А. Математическая формализация величины сдвига груза при воздействии внешних сил для обеспечения надежной и безопасной эксплуатации вагонного парка / В. А. Оленцевич // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2012. – № 1 (33). – С. 87–90.
- 5 The dynamic loading analysis of containers placed on a flat wagon during shunting collisions / F. Oleksij [et al.] // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2019. – Vol. 14, no. 21. – P. 3747–3752.
- 6 Заворотный, А. В. Влияние ослабления крепления на величину продольного смещения труб / А. В. Заворотный, И. А. Ворожун // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2008. – № 1. – С. 81–84.
- 7 Ворожун, И. А. Анализ корректности математических моделей соударения вагонов-платформ при упругом способе крепления на них ярусов труб / И. А. Ворожун // Механика. Исследования и инновации. – 2020. – Вып. 13. – С. 40–46.
- 8 Рыкова, Л. А. Повышение безопасности перевозок на открытом подвижном составе на основе совершенствования методики расчета креплений грузов цилиндрической формы : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.08 / Л. А. Рыкова; Ур. гос. ун-т путей сообщ. – Екатеринбург, 2008. – 23 с.
- 9 Васильев, С. М. Математическое моделирование динамических воздействий на длинномерные грузы и опорные вагоны / С. М. Васильев // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2006. – № 1–2 (12–13). – С. 30–36.
- 10 Васильев, С. М. Моделирование соударений вагонов при сухом трении в опорах груза / С. М. Васильев, А. Д. Железняков, Л. П. Целковинова // Наука и прогресс транспорта. Вестник Днепрпетровского национального университета железнодорожного транспорта. – 2016. – № 4 (64). – С. 116–124.
- 11 Каргапольцев, С. К. Математическое моделирование колебаний вагона с несимметричными параметрами / С. К. Каргапольцев, А. А. Ахмадеева, В. Е. Гозбенко // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2014. – № 4 (44). – С. 91–94.

Получено 14.03.2024

S. A. Petrachkou. Approaches to mathematical modeling of dynamics of cargo transported on the open rolling stock.

In the paper there are shown the results of the analysis of approaches to mathematical modeling of the dynamics of cargoes transported on the open rolling stock, used in the investigations of authors from the CIS countries and abroad.

УДК 656.001.2

М. А. КИЛОЧИЦКАЯ, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ПЛАНИРОВАНИЯ КОМПЛЕКСНОГО ТРАНСПОРТНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ПАССАЖИРОВ

Рассматривается разработка системы планирования комплексного транспортного обслуживания пассажиров, включающая железнодорожный и автомобильный виды транспорта. В рамках данной системы разрабатываются методы сбора данных о пассажиропотоках, эффективности работы общественного транспорта, загруженности транспортных средств и других параметрах, влияющих на транспортное обслуживание. Собранные данные агрегируются и анализируются для выявления ключевых факторов, влияющих на качество и доступность транспортных услуг. Предложена методика определения параметров транспортного обслуживания населения по каждому рейсу и технико-экономической оценке маршрутов в рамках комплексного транспортного обслуживания населения железнодорожным и иными видами транспорта. На основе анализа данных применяются оптимизационные решения, направленные на улучшение транспортного обслуживания. Важным аспектом системы планирования является использование современных технологий, таких как системы мониторинга и управления транспортом, информационные и аналитические системы. Эти технологии позволяют оперативно собирать и анализировать данные, а также принимать обоснованные решения на основе актуальной информации.

Система планирования комплексного транспортного обслуживания пассажиров железнодорожным и иными видами транспорта основывается на разработке методики и технологии сбора исходных данных, дальнейшего их агрегирования для принятия последующих оптимизационных решений, принимаемых на основании имеющихся параметров транспортного обслуживания населения.

К параметрам транспортного обслуживания населения в части региональных (пригородных) и городских перевозок пассажиров относятся:

- объем перевезенных пассажиров на маршруте;
- объем транспортной работы, выраженный в натуральных единицах, на маршруте;
- расходы на организацию перевозок на маршруте;
- коэффициент использования вместимости транспортных средств;
- доходы от перевозки пассажиров на маршруте;
- доходы от перевозки пассажиров за рейс;
- прибыль (убытки) от перевозки пассажиров на маршруте;
- прибыль (убытки) от перевозки пассажиров за рейс;
- относительная прибыль (убыток), приходящая(ий)ся на одного пассажира;
- относительная прибыль (убыток), приходящая(ий)ся на один рейс.

В качестве исходной базы для определения параметров транспортного обслуживания населения ис-

пользуются объем и структура перевезенных пассажиров по видам транспорта и видам сообщений между населенными пунктами региона за год, предшествующий планированию, тарифы на перевозку, количество отправленных пассажиров со станций и остановочных пунктов по маршрутам курсирования транспортного средства (поезд, автомобильное транспортное средство) за аналогичные периоды. Указанные данные предоставляет перевозчик, осуществляющий деятельность на маршруте, либо операторы железнодорожного и иных видов пассажирского транспорта.

Технология сбора исходных данных для планирования комплексного транспортного обслуживания пассажиров включает проведение мониторинга посадки и высадки пассажиров на участках полигона транспортного обслуживания. По данным мониторинга (таблица 1) необходимо сформировать таблицы численности перевезенных пассажиров отдельно по маршрутам курсирования поездов и иных транспортных средств в региональном и городском сообщениях по дням недели, также рассчитав средние доходы от проезда одного пассажира, коэффициенты использования вместимости подвижного состава и иных транспортных средств, расходы на организацию перевозки и убытки (таблица 2), значения которых необходимы в дальнейшем для заполнения сводной рейтинговой таблицы маршрутов региона.

Таблица 1 – Форма исходных данных мониторинга посадки / высадки пассажиров на / в поезда и иные транспортные средства

Наименование станции, остановочного пункта	ТС № 1			ТС № 2			...			ТС № m		
	посадка	высадка	всего	посадка	высадка	всего	посадка	высадка	всего	посадка	высадка	всего
Наименование 1	$A_{\text{пос}}^{11}$	–	$A_{\text{ТС}}^{11}$	$A_{\text{пос}}^{12}$	–	$A_{\text{ТС}}^{12}$	...	...	...	$A_{\text{пос}}^{1m}$	–	$A_{\text{ТС}}^{1m}$
Наименование 2	$A_{\text{пос}}^{21}$	$A_{\text{выс}}^{21}$	$A_{\text{ТС}}^{21}$	$A_{\text{пос}}^{22}$	$A_{\text{выс}}^{22}$	$A_{\text{ТС}}^{22}$	...	...	...	$A_{\text{пос}}^{2m}$	$A_{\text{выс}}^{2m}$	$A_{\text{ТС}}^{2m}$
...
Наименование n	–	$A_{\text{выс}}^{n1}$	0	–	$A_{\text{выс}}^{n2}$	0	...	...	...	–	$A_{\text{выс}}^{nm}$	0

Таблица 2 – Форма таблицы численности перевезенных пассажиров по маршрутам курсирования поездов и иных транспортных средств по дням недели

Наименование станции, остановочного пункта	Расстояние между станциями, остановочными пунктами, км	Маршрут, дата получения данных									Всего по маршруту
		ТС № 1			...			ТС № m			
		посадка	высадка	всего	посадка	высадка	всего	посадка	высадка	всего	
Наименование 1	l^{12}	$A_{\text{пос}}^{11}$	–	$A_{\text{ТС}}^{11}$	...	...	...	$A_{\text{пос}}^{1m}$	–	$A_{\text{ТС}}^{1m}$	$A_{\text{ТС}}^1$
...
Наименование n	–	–	$A_{\text{выс}}^{n1}$	0	...	...	...	–	$A_{\text{выс}}^{nm}$	0	$A_{\text{ТС}}^n$
Перевезено в поезде			$A_{\text{ТС}}^1$		...				$A_{\text{ТС}}^m$		$A_{\text{ТС}}$
Вместимость, пас.			$Q_{\text{ТС}}^1$		...				$Q_{\text{ТС}}^m$		–
Кoeffициент использования вместимости			$\gamma_{\text{исп}}^1$		...				$\gamma_{\text{исп}}^m$		$\gamma_{\text{исп}}$
Доходы от проезда пассажиров, руб.			$D_{\text{ТС}}^1$		...				$D_{\text{ТС}}^m$		$D_{\text{ТС}}$
Расходы, руб.			$E_{\text{ТС}}^1$		...				$E_{\text{ТС}}^m$		$E_{\text{ТС}}$
Экономический результат работы (прибыль/убытки)			$\Pi(Y)_{\text{ТС}}^1$		...				$\Pi(Y)_{\text{ТС}}^m$		$\Pi(Y)_{\text{ТС}}$

Расходы на организацию перевозки определяются перевозчиком по конкретным маршрутам, а в случае детализации по рейсам на основании действующей системы удельных расходов или расходных ставок на перевозку, в качестве таких расходов используются затраты на организацию курсирования одного транспортного средства с учетом расстояния маршрута по территории региона [1]:

– расходы на организацию перевозки на маршруте

$$E_m = \sum_{j=1}^j n_{\text{ТС-км}}^j e_{\text{ТС-км}}^j; \quad (1)$$

– расходы на организацию рейса для перевозки пассажиров

$$E_{\text{ТС}} = n_{\text{ТС-км}}^f e_{\text{ТС-км}}^f; \quad (2)$$

где $n_{\text{ТС-км}}^f$ – объем транспортной работы, выраженный в натуральном измерении, ваг·км, место·км и др.; $e_{\text{ТС-км}}$ – расходная ставка или удельные расходы на организацию курсирования транспортного средства (например, для железнодорожного транспорта может использоваться расходная ставка «вагоно-километры в соответствующем сообщении»), руб.

Кoeffициент использования вместимости подвижного состава (транспортного средства)

$$\gamma_{\text{исп}} = \frac{\sum AL}{\sum al}; \quad (3)$$

где $\sum AL$ – пассажиро-километры, выполненные транспортным средством; $\sum al$ – предложенные место-километры.

Доходы, полученные от перевозки пассажиров на маршруте $D_m = \sum A_{ij} c_{ij}$ предоставляет перевозчик на основании действующих форм отчетностей либо по форме, приведенной в таблице 3.

Таблица 3 – Форма по доходам от проезда пассажиров на маршрутах перевозки

Номер поезда (маршрут, рейс ТС)	Доходы от проезда пассажиров, руб.
1	$D_{\text{ТС}}^1$
2	$D_{\text{ТС}}^2$
...	...
n	$D_{\text{ТС}}^n$

При невозможности получения агрегированных значений доходов из аналитических систем работы пассажирского транспорта на основании предоставленных операторами и перевозчиками железнодорожного и иных видов пассажирского транспорта данных о стоимости проезда по участкам полигона транспортного обслуживания (таблица 4) и постанционном (поостановочном) отправлении пассажиров поездами и иными транспортными средствами (таблица 5) необходимо рассчитать доходы от проезда пассажиров на маршрутах перевозки. Исходя из полученных суммарных доходов от перевозки пассажиров всеми поездами и иными транспортными средствами на маршруте следует рассчитать средние доходы от перевозки одного пассажира на исследуемом маршруте в будние и выходные дни отдельно в прямом и обратном направлениях по видам транспорта.

Таблица 4 – Форма по стоимости проезда пассажира по участкам полигона

Стоимость проезда пассажира, руб.				
до станции, остановочного пункта	от станции, остановочного пункта			
	1	2	...	n
1	0	$c_{\text{ТС}}^{12}$	...	$c_{\text{ТС}}^{1n}$
2	$c_{\text{ТС}}^{21}$	0	...	$c_{\text{ТС}}^{2n}$
...
n	$c_{\text{ТС}}^{n1}$	$c_{\text{ТС}}^{n2}$	...	0

Таблица 5 – Форма исходных данных постанционного (поостановочного) отправления пассажиров

Станция, остановочный пункт назначения пассажира	Станция, остановочный пункт отправления пассажира			
	1	2	...	n
1	0	$A_{\text{ТС}}^{12}$	...	$A_{\text{ТС}}^{1n}$
2	$A_{\text{ТС}}^{21}$	0	...	$A_{\text{ТС}}^{2n}$
...
n	$A_{\text{ТС}}^{n1}$	$A_{\text{ТС}}^{n2}$	...	0

Доходы от перевозки пассажиров одним рейсом на маршруте

$$D_{\text{ТС}} = A_{\text{ТС}} \overline{c_{\text{пер}}^m}; \quad (4)$$

где A_{TC} – количество пассажиров, перевезенных в транспортном средстве (общий размер посадки пассажиров в транспортное средство), пас.; $\overline{c_{пер}^M}$ – средний доход от перевозки одного пассажира на маршруте, руб.

Средний доход от перевозки одного пассажира на маршруте

$$\overline{c_{пер}^M} = \frac{\sum A_{ij} c_{ij}}{\sum A_{ij}}, \quad (5)$$

где $\sum A_{ij} c_{ij}$ – суммарные доходы от перевозки пассажиров всеми транспортными средствами на маршруте, руб.; $\sum A_{ij}$ – суммарное количество перевезенных пассажиров всеми транспортными средствами на маршруте, пас.; c_{ij} – тариф на перевозку в соответствии с дальностью поездки пассажира, руб.

Прибыль (убытки) от перевозки пассажиров на маршруте

$$П(У)_M = D_M - E_M. \quad (6)$$

Таблица 6 – Параметры транспортного обслуживания населения по маршрутам

Параметр	Обозначение параметра	Номер рейса (1)	...	Номер рейса (j)	В целом по маршруту
Перевезено пассажиров	A_{TC}				$\sum A_j$
Коэффициент использования вместимости	$\gamma_{исп}$				$\gamma_{min} \gamma_{max}$
Расходы на организацию перевозок	E_{TC}				E_M
Доходы от перевозок пассажиров	D_{TC}				D_M
Экономический результат работы	$П(У)_{TC}$				$П(У)_M$
Относительная прибыль (убыток), приходящая(ий)ся на одного пассажира	$P_{пас}$				$P_{пас}$
Относительная прибыль (убыток), приходящая(ий)ся на один рейс	P_{TC}				P_{TC}

Для выполнения технико-экономической оценки маршрутов показатели, отражающие количество перевезенных пассажиров за установленный период, доходы от перевозки пассажиров, расходы на организацию перевозок, экономический результат работы на маршруте (прибыль либо убытки), относительная прибыль (убыток) на одного пассажира, относительная прибыль (убыток) на один рейс сводятся в рейтинговые табли-

Таблица 7 – Форма сводной рейтинговой таблицы маршрутов в прямом и обратном направлениях железнодорожного и иных видов транспорта полигона транспортного обслуживания

Вид транспорта	Маршрут	Количество ОП	Количество рейсов за установленный период	$L, Q, A, \gamma_{исп}, D, E, П(У)_{TC}$	Относительный убыток на 1 пас.	Относительный убыток на 1 рейс	Рейтинг			
							по суммарным убыткам	по относительным убыткам на 1 пас.	по относительным убыткам на 1 рейс	суммарный

На первом этапе принимаются решения по оптимизации маршрутной сети на основании рейтинга, по которому устанавливаются первые 20 % маршрутов от общего количества, входящих в первые строки рейтинга по указанному показателю.

По данным маршрутам осуществляется принятие решений по отмене (сокращению размеров движения) или сохранению существующих размеров курсирования поездов, иных транспортных средств. Сокращение размеров движения осуществляется в случае, когда маршрут

Прибыль (убытки) от перевозки пассажиров одним транспортным средством

$$П(У)_{TC} = D_{TC} - E_{TC}. \quad (7)$$

Относительная прибыль (убыток), приходящая(ий)ся на одного пассажира,

$$P_{пас} = \frac{\sum_{j=1}^j П(У)_{TC}}{\sum A_j}. \quad (8)$$

Относительная прибыль (убыток), приходящая(ий)ся на один рейс,

$$P_{TC} = \frac{\sum_{j=1}^j П(У)_{TC}}{\sum n_{TC}}, \quad (9)$$

где $\sum n_{TC}$ – количество рейсов на маршруте за установленный период.

На основании полученных результатов формируются сводные параметры транспортного обслуживания населения по каждому маршруту (таблица 6).

цы по соответствующим регионам (полигонам транспортного обслуживания) [1].

Формирование рейтинга по маршрутной сети осуществляется по балльной системе, высший рейтинг выставляется маршрутам, имеющим наибольшее значение суммарных и относительных убытков – наименьший суммарный балл рейтинга, низший рейтинг (последние строчки рейтинга) – маршрутам, имеющим прибыль и наибольший суммарный балл рейтинга (таблица 7).

имеет убытки, но с обязательным контролем обеспечения потребного уровня социальных гарантий (расчетная вместимость оставшихся транспортных средств всех видов транспорта должна обеспечивать освоение расчетного пассажиропотока).

Для принятия обоснованных решений по маршрутам, входящим в первые 20 % рейтинга, и выбора способа транспортного обслуживания населения по ним осуществляется детализация параметров транспортного обслуживания населения по каждому рейсу и производится

моделирование комплексного транспортного обслуживания пассажиров железнодорожным и иными видами транспорта в соответствии с последовательностью этапов, описанных в [2].

Детализацию параметров транспортного обслуживания населения по каждому рейсу проводит оператор одним из доступных способов:

1) использование данных из отчетных документов перевозчика (при наличии у него технической возможности);

2) экспертная оценка распределения пассажиропотоков на маршруте, выполняемая на основании регулярных обследований оператором или иной организацией по договору с оператором;

3) иные методы установления статистических закономерностей для получения достоверных данных.

По результатам установленных детализированных данных принимаются варианты оптимизационных решений по рейсам на маршрутной сети и по способу транспортного обслуживания с детализацией по рейсам, описанные в [3].

По результатам оптимизационных решений устанавливаются целевые значения параметров транспортного обслуживания: объемов перевезенных пассажиров по маршрутам, объемов транспортной работы, выраженных в натуральных единицах, прибыли (убытков) от перевозки пассажиров на маршруте.

Целевые значения параметров транспортного обслуживания устанавливаются одним из следующих способов:

– на уровне, не ниже, чем за ряд последних лет, что позволяет поддерживать стабильность и непрерывность качества обслуживания, основываясь на ретроспективных данных;

– на уровне, определенном на основе анализа системы транспортного обслуживания в других регионах Республики Беларусь или заказчиком перевозок, что дает возможность выявить лучшую практическую реализацию и перенять успешную практику других регионов;

– на уровне, соответствующем оптимальной организации транспортного обслуживания (т. е. на наивысшем возможном уровне, достижимом технологически и с учетом ресурсных ограничений);

– на уровне, определенном по результатам анализа общественного мнения и мнения экспертов (транспортных организаций, участвующих в перевозочной деятельности), который позволяет учитывать существующие потребности населения, а также профессиональные рекомендации;

– на уровне, установленном социальными стандартами и иными нормативными правовыми актами, ре-

Получено 30.10.2024

M. A. Kilochitskaya. Development of a comprehensive passenger transport service planning system.

The development of a comprehensive passenger transportation planning system, including both railway and automotive transport, is being considered. Within this system, methods for collecting data on passenger flows, public transport efficiency, vehicle load, and other parameters affecting transportation services are being developed. The collected data is aggregated and analyzed to identify key factors influencing the quality and accessibility of transportation services. A methodology for determining the parameters of public transportation services for each route and a techno-economic assessment of routes within the framework of comprehensive public transportation services, including railway and other types of transport, is proposed. Based on data analysis, optimization solutions aimed at improving transportation services are applied. An important aspect of the planning system is the use of modern technologies, such as monitoring and transportation management systems, information and analytical systems. These technologies allow for the prompt collection and analysis of data, as well as making informed decisions based on current information.

главными требованиями к параметрам транспортного обслуживания, что обеспечит соблюдение законодательных требований и социальных обязательств [4].

Целевые значения параметров транспортного обслуживания населения региона представляются форме таблицы 8.

Таблица 8 – Целевые параметры транспортного обслуживания населения по маршрутам в регионе

Вид транспорта	Маршрут	Объем перевозок пассажиров, тыс. пас.	Объем транспортной работы, место-км, ваг-км	Прибыль (убытки) от перевозки пассажиров, руб.

На основе установленных целевых параметров планируется комплексное транспортное обслуживание пассажиров железнодорожным и иными видами транспорта и формируется целевая модель транспортного обслуживания населения.

Таким образом, внедрение системы планирования комплексного транспортного обслуживания пассажиров позволит создать эффективную и удобную транспортную систему, способную удовлетворить потребности населения и обеспечить высокий уровень качества транспортных услуг.

Список литературы

1 Техничко-экономические условия формирования государственного заказа на основе комплексного плана транспортного обслуживания населения в регионе / Е. А. Федоров [и др.] // Транспорт в интеграционных процессах мировой экономики : материалы V Междунар. науч.-практ. онлайн-конференции, Гомель, 26 апреля 2024 года. – Гомель : БелГУТ, 2024. – С. 59–61.

2 Ерофеев, А. А. Комплексное транспортное обслуживание пассажиров / А. А. Ерофеев, М. А. Ключицкая // Железнодорожный транспорт. – 2024. – № 10. – С. 16–20.

3 Апробация принципов комплексного планирования транспортного обслуживания населения регионов Республики Беларусь / Е. А. Федоров [и др.] // Инновационное развитие транспортного и строительного комплексов : материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 70-летию БелИИЖТа – БелГУТа, Гомель, 16–17 ноября 2023 года. В 2 ч. Ч. 2. – Гомель : БелГУТ, 2023. – С. 274–276.

4 Сакович, И. Л. Экономическое обоснование вариантов интеграции железнодорожных перевозок в транспортные системы городских агломераций : дис. ... канд. экон. наук : 08.00.05 / И. Л. Сакович. – СПб., 2018. – 174 с.

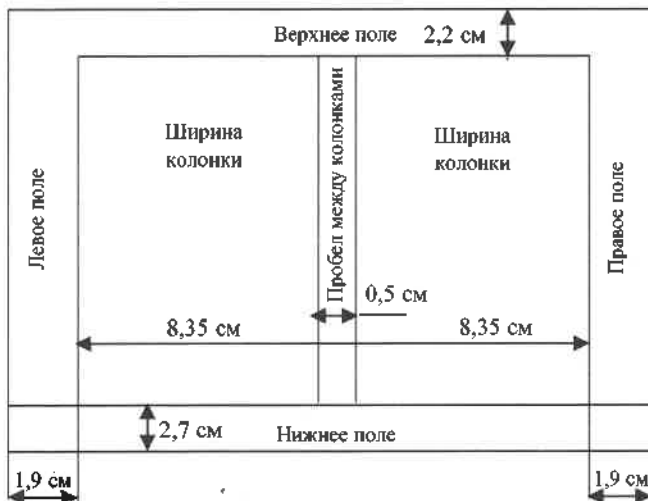
ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ

Статьи, направляемые в редакцию журнала «Вестник БелГУТа: Наука и транспорт», должны соответствовать следующим требованиям.

1 Материал статьи должен отражать профиль журнала и излагаться предельно ясно на белорусском или русском языке. На оборотной стороне последнего листа ставится подпись автора (авторов) и указывается название рубрики, к которой относится статья.

2 Статья должна быть представлена в одном экземпляре на бумажном носителе [для иногородних – по почте (адрес электронной почты: tatiana-101@list.ru)] и тщательно отредактирована. Одновременно текст статьи представляется в формате текстового редактора MS Word в виде обычного текстового файла – по фамилии автора (авторов), гарнитура шрифта – Times New Roman.

3 Текст статьи должен быть оформлен в соответствии с ГОСТ 7.5–98 «Журналы, сборники, информационные издания. Издательское оформление публикуемых материалов», ГОСТ 2.105–95 «Межгосударственный стандарт. Общие требования к текстовым документам» и напечатан на белой бумаге формата А4 на лазерном принтере. Объем статьи – 0,35 авторского листа (14000 печатных знаков, включая пробелы между словами; знаки препинания и др.), т. е. не более трех полных страниц текста формата А4, напечатанного в две колонки размером шрифта (кегель) 10 pt по следующему образцу:



4 Текст статьи должен содержать:

– в левом верхнем углу первой страницы – индекс УДК размер шрифта – 10 pt).

– через интервал на формат 17,2 см – инициалы и фамилия автора (авторов) прописным светлым курсивом, а учёная степень, наименование и местонахождение организаций, в которых работают авторы, – строчным светлым курсивом 10 pt;

– ниже, через интервал на формат 17,2 см – название статьи, напечатанное прописными буквами, жирным шрифтом, без переносов (высота букв – 11 pt), которое должно отражать основную идею выполненного исследования, быть по возможности кратким, содержать ключевые слова, позволяющие идентифицировать данную статью;

– через интервал на формат 17,2 см – аннотация, в которой дается краткая характеристика статьи (размер шрифта – 9 pt, объём – до 10 строк, или 100–150 слов);

– через интервал в две колонки форматом 8,35 см каждая, с интервалом между ними 0,5 см – текст статьи (размер шрифта – 10 pt), межстрочный интервал – одинарный, абзац – 5 мм, или 3 печатных знака;

– через интервал в две колонки форматом 8,35 см каждая – список литературы (размер шрифта – 9 pt);

– через интервал – дата поступления рукописи в редколлегия (размер шрифта – 8 pt); например: Получено 05.06.2009;

– через интервал на формат 17,2 см – фамилия, инициалы автора (авторов) – прямым жирным строчным шрифтом 10 pt, название статьи – светлым строчным прямым шрифтом 10 pt; аннотация статьи на английском языке шрифтом 9 pt.

5 Научная статья должна включать:

– введение, где должен быть дан краткий обзор литературы по данной проблеме. Указаны не решенные ранее вопросы, сформулирована и обоснована цель работы, т. е. поставлена задача;

– основную часть, содержащую описание методики, аппаратуры, объектов исследования и подробное освещение содержания исследований, которые могут быть иллюстрированы графиками или подтверждены расчетами в табличной форме. Полученные результаты должны быть проанализированы с точки зрения их научной новизны и сопоставлены с соответствующими известными данными. Основная часть также может делиться на подразделы (с разъяснительными заголовками). Иллюстрации, формулы, уравнения и сноски, встречающиеся в статье, должны быть пронумерованы в соответствии с последовательностью их размещения в тексте;

– заключение, в котором в сжатом виде формулируются основные полученные результаты с указанием их новизны, преимуществ и возможностей применения.

6 Графический материал в статье (рисунки, схемы, диаграммы) должен содержать не более пяти рисунков и быть оформлен в соответствии с требованиями Р 50-77-88 «Рекомендации ЕСКД. Правила выполнения диаграмм». Каждый рисунок должен иметь название (размер шрифта – 9 pt светлым строчной), которое размещается под ним (например: Рисунок 1 – Схема управления электродвигателя). Надписи на самих рисунках набирают шрифтом 9 pt. Размещают рисунок после ссылки на него в тексте. Сканированные рисунки редколлегией не принимаются.

7 Таблицы (не более трех) располагаются непосредственно после текста, где они впервые упоминаются. Каждая таблица должна иметь номер и название, которое размещается над ней (например: Таблица 1 – Результаты измерений). Размер шрифта названия и основного текста таблицы – 9 pt, головки (шапки) – 8 pt.

8 Размерности всех величин, используемых в тексте, должны соответствовать Международной системе единиц (СИ).

9 Формулы набирают тем же размером шрифта и той же гарнитурой, что и основной текст (буквы русского и греческого алфавитов, числа, знаки математических функций – прямым шрифтом, латинские буквы – курсивом).

10 К рукописи прилагаются:

– сведения об авторе [Ф. И. О. полностью, ученая степень и звание, место работы и должность, домашний адрес, контактный телефон (служебный, мобильный, e-mail)];

– рекомендация кафедры, научной лаборатории или учреждения, в котором выполнена работа, о целесообразности публикации статьи;

– экспертное заключение о возможности публикации статьи.

11 Рукописи, которые не соответствуют указанным требованиям, к рассмотрению не принимаются.

12 Редколлегия по предварительной научно-технической экспертизе может направлять статью на рецензию специалисту и с учетом этой рецензии даёт аргументированное заключение о возможности публикации статьи.

Редактор *А. А. Павлюченкова*
Технический редактор *В. Н. Кучерова*
Компьютерная верстка – *С. В. Ужанкова*

Подписано в печать 23.12.2024 г. Формат 60×84¹/₈. Бумага офсетная. Гарнитура Times New Roman.
Печать цифровая. Усл. печ. л. 7,91. Уч.-изд. л. 7,94. Тираж 100 экз. Изд. № 50. Зак. № 2441.

Учреждение образования «Белорусский государственный университет транспорта»
ЛП № 02330/238 от 14.04.2014 г.
Ул. Кирова, 34, 246653, г. Гомель