



ВЕСТНИК

Белорусского
Государственного
Университета
Транспорта

**НАУКА
и ТРАНСПОРТ**

2/2020

**ВЕСТНИК
Белорусского
Государственного
Университета
Транспорта**

Научно-практический журнал

**НАУКА
и ТРАНСПОРТ**

№ 2(41)/2020

«ВЕСТНИК БелГУТа: НАУКА И ТРАНСПОРТ»

Научно-практический журнал № 2 (41) 2020 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. И. КУЛАЖЕНКО*

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

Редакционная коллегия:

*А. А. СИВАК, В. М. МОРОЗОВ, В. Н. ШУБАДЕРОВ,
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., Комнатный Д. В. Обеспечение функциональной и информационной безопасности микроэлектронных систем управления движением поездов с учетом новых видов угроз.....	4
Шаманов В. И. Анализ и прогнозирование электромагнитной обстановки для аппаратуры автоматики при электротяге.....	9
Харлап С. Н. Применение диверситета для повышения безопасности микроэлектронных систем.....	12
Харлап С. Н., Катков В. Л. Автоматизация проведения анализа ФМЕСА микроэлектронных систем железнодорожной автоматики.....	17
Буй П. М. Оценка рисков кибербезопасности инфокоммуникационных систем железнодорожного транспорта.....	20
Комнатный Д. В. Вероятностно-логический анализ помехоустойчивости систем обеспечения безопасности движения поездов.....	24
Кустов В. Ф. Разработка требований функциональной безопасности для устройств железнодорожной автоматики.....	28

АВТОМОБИЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ

Аземша С. А., Саламонова В. Е., Шуст О. Н. Совершенствование схемы организации дорожного движения на площади Ленина в г. Гомеле.....	31
Аземша С. А., Капитанов П. И., Евланов В. И. Повышение эффективности дорожного движения на перекрестках внедрением адаптивного регулирования.....	37

ПОДВИЖНОЙ СОСТАВ

Путьго А. В., Коновалов Е. Н., Пастухов М. И., Афанаськов П. М., Бугаева Е. В., Белогуб Н. В. Оценка остаточного ресурса несущей конструкции вагона пассажирского после длительной эксплуатации.....	42
Бурченков В. В., Асадчий И. В. Анализ методов контроля технического состояния подвижного состава в процессе движения.....	46
Галай Э. Э. Анализ метода оценки обеспеченности грузового поезда тормозами на западноевропейских железных дорогах.....	49
Холодильов О. В., Кузнецова М. Г., Маркавцов А. А. Использование конечно-элементного анализа при разработке методики безразборной АЭ-диагностики состояния буксовых подшипников.....	52
Галай Э. И., Юлдашов А. А., Инагамов С. Г. Аналитическое исследование процессов изменения давления в тормозной камере воздухораспределителя грузового вагона.....	56

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА

Ерофеев А. А., Бородин А. Ф. Модели описания процессов поиска управляющих решений в ИСУПП.....	59
Гордиенко А. А., Джалилов Х. Х., Джаббаров Ш. Б., Инагамов С. Г. Особенности движения вагона по спускной части сортировочной горки при попутном ветре.....	64
Ковтун П. В., Кравченя И. Н., Дубровская Т. А., Кытин А. В. Основные решения проектирования развязки городского кольца со станционными путями ст. Минск-Пассажирский.....	68
Власюк Т. А. Формирование области аттрактора как зоны относительно устойчивого состояния пассажиропотока на железнодорожном транспорте.....	73
Козлов В. Г. Моделирование пропуска и расчет параметров корреспонденций вагонопотоков на объектах инфраструктуры транспортной железнодорожной сети.....	76
Потылкин Е. Н. Потребная вместимость железнодорожных путей для временного размещения вагонов.....	80
Терещенко О. А., Фёдоров Е. А., Страдомская А. А. Развитие аналитического инструментария оценки технологии местной работы.....	86
Ерофеев А. А., Ван Юйбянь. Варианты размещения ВСМ-станций в городских агломерациях.....	90
Кекиш Н. А., Гончар М. А. Совершенствование информационного обеспечения планирования перевозок для реализации интегрированной системы организации порожних вагонопотоков с учетом принадлежности подвижного состава.....	94
Власюк Т. А., Белоус А. Н., Кулаженко А. Ю. Интеграция железнодорожных вокзалов с различными видами транспорта и городской средой через мобильные приложения.....	99

НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ

Поддубный А. А., Ермолович О. А., Ефимчик К. В. Проблема повторного использования вторичных материальных ресурсов и предварительные испытания разработанных композиционных материалов на их основе.....	102
Чугупова А. С., Васильев А. А. Исследование изменения карбонизации по сечению бетона с учетом влияния морозной деструкции.....	105
Попов В. Б. Результаты исследования возможности агрегатирования косилки-плющилки навесной КРН-6-Ф с тракторами общего назначения «БЕЛАРУС».....	108

ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

Михальченко А. А. Исследование влияния уровня качества пассажирских перевозок на инвестиционную политику железной дороги.....	112
---	-----

ПОДГОТОВКА КАДРОВ

Гришанкова Н. А. Развитие навыков устной речи на иностранном языке в аспекте обеспечения безопасности пассажирских перевозок.....	118
---	-----

АВТОМАТИКА, ТЕЛЕМЕХАНИКА И СВЯЗЬ

УДК 621.38

К. А. БОЧКОВ, доктор технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель, Д. В. КОМНАТНЫЙ, кандидат технических наук, Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ И ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ
МИКРОЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ПОЕЗДОВ
С УЧЕТОМ НОВЫХ ВИДОВ УГРОЗ**

Рассматриваются вопросы соотношения информационной и функциональной безопасности и их влияние на обеспечение безопасности движения поездов микроэлектронных систем железнодорожной автоматики и телемеханики. Приведены нормативные документы, отражающие требования по обеспечению информационной и функциональной безопасности аппаратно-программных комплексов систем железнодорожной автоматики и телемеханики. Показано влияние новых видов угроз кибератак и электромагнитных атак на безопасность движения поездов. Полученные научные результаты позволяют проводить оценку соответствия требованиям к функциональной, информационной и киберзащищенности, а также прогнозировать поведение микроэлектронных СЖАТ при электромагнитных атаках.

На железнодорожном транспорте системы железнодорожной автоматики и телемеханики (СЖАТ) призваны в первую очередь обеспечить безопасность движения поездов. Повышенные требования по обеспечению безопасности движения поездов налагали и особые методы построения СЖАТ. Ранее СЖАТ строились на основе аппаратной реализации с использованием специальных реле первого класса надежности с несимметричными отказами. При этом не существовало проблем обеспечения информационной безопасности и доказательств функциональной безопасности и угроз преднамеренного электромагнитного воздействия на СЖАТ.

Современные СЖАТ строятся на основе аппаратно-программных комплексов (АПК) с использованием микроэлектронной элементной базы с симметричными отказами. Для АПК СЖАТ принято различать согласно ГОСТ Р 53431–2009 два вида неработоспособного состояния: защитное и опасное. При этом в защитном состоянии все функции по обеспечению безопасности движения поездов соответствуют требованиям нормативно-технической документации (НТД). В опасном состоянии значение хотя бы одного параметра по обеспечению функций безопасности движения поездов не соответствуют требованиям НТД. В опасное состояние система переходит при наличии опасного отказа. Для возможности оценки наличия опасных отказов для каждой из АПК СЖАТ или её компонентов формулируются критерии опасных отказов в соответствующих НТД.

Согласно нормативным документам Федеральная служба по техническому и экспортному контролю России (ФСТЭК) микроэлектронные и микропроцессорные АПК СЖАТ относятся к критическим системам информационной инфраструктуры (КСИИ), в Беларуси – к критически важным объектам информатизации (КВОИ), так же как и практически во всех западных странах. К сожалению, в Республике Беларусь не все СЖАТ отнесены к КВОИ.

Вопросы информационной безопасности таких систем регламентируются различными техническими нормативно-правовыми актами (ТНПА). К основным нормативным документам для анализа защищенности информационных технологий (ИТ) относятся стандар-

ты ГОСТ Р ИСО-МЭК 15408 (3 части) и ГОСТ Р ИСО-МЭК 18045 2012 и 2013 годов (в Республике Беларусь это стандарты СТБ с номерами 1, 2 и 3 серии 34.101 2014 года).

Отдельные аспекты особенностей КСИИ (КВОИ) учтены в стандарте США NIST 800-82 (2011) и стандарте ЕЕС 62279 (2012) *Railway applications. Communications, signaling and processing systems. Software for railway control and protection systems* (Железные дороги. Системы связи, сигнализации и обработки данных. Программное обеспечение систем управления и защиты на железных дорогах). Эти стандарты ограничены рамками программно-технического уровня информационной безопасности, что вполне достаточно для оценки продуктов информационных технологий. Однако их не достаточно для микропроцессорных СЖАТ.

Следует отметить, что объектом защиты с позиции информационной безопасности является информация. Основными требованиями по защите информации, циркулирующей в АПК СЖАТ, является обеспечение ее конфиденциальности, целостности и доступности. При этом обеспечение конфиденциальности приобретает второстепенное значение, поскольку циркулирующая в АПК СЖАТ технологическая информация не представляет интереса с позиции ее хищения и дальнейшего использования в корыстных или злонамеренных действиях. Более важными являются требования по целостности и доступности информации.

Целостность предполагает надежное и безопасное управление за счет сохранения контроля над структурой управляющих воздействий, а доступность – над их авторизацией и временем появления.

АПК СЖАТ построены таким образом, что лицо, принимающее решения (ЛПР) (дежурный по станции, диспетчер, машинист и др.) использует эту информацию только по прямому назначению организации движения поездов на станциях и участках железной дороги. И даже если по ошибке или злему умыслу ЛПР попытается создать своими действиями на автоматизированном рабочем месте (АРМ) условия, ведущие к нарушению безопасности движению поездов, то АПК СЖАТ при их

исправном состоянии не допустят этого исходя из заложенных в них принципах недопущения опасного отказа.

Вопросы же нарушения целостности информации должны решаться известными методами кодирования, кватирования, криптографии и другими и является основным предметом обеспечения информационной безопасности АПК СЖАТ в соответствии с требованиями НТД.

Микропроцессорные АПК СЖАТ относятся к нижнему уровню информационной инфраструктуры управления железнодорожным транспортом. К таким системам, в первую очередь, предъявляются повышенные требования к обеспечению безопасности движения поездов, то есть определяющие их функциональную безопасность, при отказах, ошибках ПО и внешних воздействиях, в том числе и кибератаках.

Для АПК СЖАТ более важным является обеспечение их функциональной безопасности. При этом объектом защиты предмета функциональной безопасности является недопущение опасного отказа. Для этого для различных элементов, устройств систем ЖАТ и программного обеспечения АПК СЖАТ во взаимосвязанных с ТР ТС 003/2011 стандартов формулируются четкие однозначные критерии опасного отказа.

Основные принципы обеспечения безопасного функционирования систем управления определяются концепцией, принятой разработчиком. Наибольшее распространение получила следующая концепция обеспечения безопасности: «Одиночные отказы аппаратных и программных средств не должны приводить к опасным отказам и должны обнаруживаться при рабочих и тестовых воздействиях до того, как в системе произойдет второй отказ».

Основным способом реализации данной концепции является параллельное выполнение ответственных функций в нескольких вычислительных каналах (многоканальная обработка) с последующим сравнением результатов. Если результаты вычислений в различных каналах совпадают, то считается, что система исправна и правильно выполняет свои функции. Если наблюдается расхождение, то принимается решение о наличии отказа в системе и выполняется ее отключение (переход в защитное состояние). При таком подходе любые одиночные отказы не могут привести к опасному отказу, т. к. выработка опасного управляющего воздействия блокируется вторым исправным каналом. Переход в защитное состояние при обнаружении отказа гарантирует, что к опасным последствиям не приведут последующие отказы.

Основополагающим «вертикальным» стандартом верхнего уровня «Umbrellastandard» для функциональной безопасности является МЭК 61508 «Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью» (IEC 61508 Functional safety of electrical/ electronic/programmable electronic safety-related systems), включающий семь частей.

Стандарт дает общее понятие о функциональной безопасности, включает в себя общие требования к организации жизненного цикла систем, связанных с безопасностью, и методы, которые могут использоваться для достижения заданного уровня полноты безопасности.

Общие положения МЭК 61508 детализированы для потенциально опасных областей. Существует ряд стандартов в области функциональной безопасности для различных отраслей, например:

– IEC 62425, «Railway applications – Communication, signalling and processing systems – Safety related electronic systems for signalling» (системы железнодорожной автоматизации и телемеханики);

– IEC 61511, «Functional safety – Safety instrumented systems for the process industry sector» (системы управления опасными производствами);

– IEC 61513, «Nuclear power plants – Instrumentation and control for systems important to safety» (системы контроля и управления атомных станций).

В аэрокосмической отрасли МЭК 61508 не используют, но используют такой же подход. Для авионики разработан стандарт RTCA DO-178C «Software Considerations in Airborne Systems and Equipment Certification», в космической отрасли стандарты разрабатываются космическими агентствами, например, NASA использует стандарт STD 8719.13 «Software Safety Standard».

На территории Евразийского экономического союза основным документом, определяющим требования в области функциональной безопасности, является технический регламент Таможенного союза ТР ТС 003/2011 «О безопасности инфраструктуры железнодорожного транспорта». Регламент устанавливает требования к инфраструктуре железнодорожного транспорта, включая системы железнодорожной автоматизации. В свою очередь детализация требований осуществляется с помощью ряда поддерживающих стандартов (ГОСТ).

К таким стандартам в области функциональной безопасности систем железнодорожной автоматизации можно отнести:

– ГОСТ 33432–2015 «Безопасность функциональная. Политика, программа обеспечения безопасности. Доказательство безопасности объектов железнодорожного транспорта»;

– ГОСТ 33433–2015 «Безопасность функциональная. Управление рисками на железнодорожном транспорте»;

– ГОСТ 34012–2016 «Аппаратура железнодорожной автоматизации и телемеханики. Общие технические требования».

Кроме того, имеется ряд национальных стандартов стран Евразийского экономического союза, гармонизированных со стандартами IEC или EN, например:

– СТБ IEC 61508–2014 «Функциональная безопасность электрических, электронных, программируемых электронных систем, относящихся к безопасности»;

– СТБ IEC 62425–2011 «Железные дороги. Системы связи, сигнализации и обработки данных. Электронные системы сигнализации, связанные с безопасностью»;

– СТБ EN 50126–1–2011 «Железные дороги. Требования и подтверждение надежности, пригодности к эксплуатации, ремонтнопригодности и безопасности. Часть 1. Основные требования и общий процесс»;

– ГОСТ Р МЭК 61508–2012 «Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью»;

– ГОСТ Р МЭК 62279–2016 «Железные дороги. Системы связи, сигнализации и обработки данных. Программное обеспечение систем управления и защиты на железных дорогах»;

– ГОСТ Р МЭК 62280–2017 «Железные дороги. Системы связи, сигнализации и обработки данных. Требования к обеспечению безопасной передачи информации»;

– СТ РК EN 50128–2012 «Железные дороги. Системы телекоммуникационные, сигнализационные и системы для обработки данных, применяемые на железных дорогах. Программное обеспечение для систем управления и защиты на железных дорогах».

Общая тенденция последних лет показывает сближение нормативной базы Европейского союза и Евразийского экономического союза за счет применения единых стандартов МЭК, хотя данный процесс еще не завершен.

Комплексный подход к оценке соответствия программного обеспечения (ПО) АПК СЖАТ, учитывающий требования к функциональной и информационной безопасности, отражен в СТО РЖД 02.049–2014. (Автоматизированные системы управления технологическими процессами и техническими средствами железнодорожного транспорта. Требования к функциональной и информационной безопасности программного обеспечения. Порядок оценки соответствия), в котором введено понятие киберзащищенности. Это совокупность политик и действий, которые должны быть приняты для защиты критически важных объектов от деструктивных информационных воздействий (несанкционированный доступ, компьютерная атака, программно-аппаратные закладки, недеklarированные возможности, искажение, уничтожение информации), направленные на нарушение штатного функционирования микропроцессорных АПК СЖАТ (рисунок 1).



Рисунок 1 – Структура киберзащищенности

Микропроцессорные АПК СЖАТ, имеют следующие дополнительные особенности с позиций обеспечения киберзащищенности по сравнению с массовым «промышленным» АСУ ТП:

– главной целью кибератаки на микропроцессорные АПК СЖАТ является не информация сама по себе, а возможность воздействия на исполнительные объекты;

– возможная атака будет направлена на вывод из строя микропроцессорной АПК СЖАТ (в том числе и методами электромагнитного терроризма) или нарушения функциональной безопасности, а следовательно, и нарушения безопасности движения поездов;

– атака может быть направлена на конкретные (наиболее опасные по последствиям) объекты АПК СЖАТ (контроллеры управления исполнительными

объектами) с помощью специально разработанных средств, поэтому традиционные (шаблонные) средства защиты могут быть неэффективными.

Наиболее реальной и опасной по последствиям является возможная DDOS кибератака (отказ в обслуживании) путем перехвата злоумышленником управления и задание секущего маршрута в горловине станции, являющегося враждебным всем маршрутам приема и отправки, тем самым блокирующим движение поездов (без нарушения условий безопасности движения) и приносящим большой материальный ущерб. Но такая атака может быть парирована специальными техническими и организационными мероприятиями, один из возможных вариантов которых разработан с БелГУТе.

Одним из новых видов угроз микропроцессорным АПК СЖАТ является «электромагнитный терроризм», суть которого заключается в преднамеренном воздействии сверхширокополосным импульсом высокой энергии.

Европейским союзом в рамках «Seventh Framework Programme» в проекте SECRET security of Railways against Electromagnetical Attacks (Защита железнодорожных систем от воздействия электромагнитных атак), основной целью которого является оценка рисков и последствий электромагнитных (ЭМ) атак на системы железнодорожной автоматики и телемеханики, было выделено три основных вида ЭМ атак:

1) ЭМ атаки, целью которых является разрушение электронного оборудования;

2) ЭМ атаки, целью которых является изменение передаваемой информации для отправки ложной информации компонентам железнодорожных систем;

3) ЭМ атаки, которые нацелены на блокировку передаваемой информации между компонентами железнодорожной системы, чтобы нарушить работу системы и повлиять на ее возможности.

Воздействие широкополосных импульсных помех на микроэлектронные АПК СЖАТ может вызвать:

– сбой в работе объектных контроллеров как наиболее ответственных узлов, влияющих на возможное нарушение условий безопасности движения поездов;

– отказ объектных контроллеров, вызванный физическим повреждением и разрушением микроэлектронной элементной базы;

– сбой и отказы в работе приемопередающих устройств каналов связи, что приведет к нарушению передачи информации в системе ЖАТ;

– сбой и отказы в работе узлов самопроверки и аппаратуры защиты информации микропроцессорных многоканальных АПК СЖАТ;

– повреждение и разрушение устройств хранения долговременной информации в центральных компьютерах и АРМ АПК СЖАТ.

Отсюда следует, что воздействие СШИП может привести к нарушению как информационной, так и функциональной безопасности одновременно. Это обстоятельство делает указанное воздействие более опасным, чем кибератака или искажение алгоритмов работы АПК СЖАТ.

Следует также учитывать, что АПК СЖАТ являются распределенными системами. Их аппаратура территориально разнесена на большие расстояния: посты ЭЦ, ДЦ, путевые парки железнодорожных станций, переезды,

перегоны и др. Поэтому защита таких систем путем оперативно-охраняемых мероприятий по периметру территории объекта затруднительна.

Сверхширокополосные импульсы, в отличие от традиционных источников помех, обладают распределением спектральной плотности в диапазоне от сотен МГц до единиц ГГц, что позволяет им легко проникать в АПК микронизированных устройств через паразитные емкостные каналы. Отличительной особенностью СШИП является также соизмеримость длительности воздействия импульсов с длительностью рабочих и тактовых импульсов АПК СЖАТ, что делает их значительно опаснее, чем уже изученное воздействие электромагнитного импульса высотного ядерного взрыва микросекундной длительности с шириной спектра от единиц кГц до сотен МГц.

При проведении испытаний на устойчивость к воздействию СШИП обычно используют специальные генераторы с излучателями на основе антенной решетки из ТЕМ-рупоров или излучателей на основе параболических рефлекторов. Исходя из этого можно предположить использование таких же методов и при преднамеренном воздействии «электромагнитном терроризме» на микронизированные СЖАТ. Рупорные излучатели образуют сферические, сравнительно слабонаправленные волны, а параболические рефлекторы формируют плоскую остронаправленную волну с шириной диаграммы в несколько градусов.

В условиях прямой видимости объекта поражения допустимо использовать выражения для поля указанных типов волн во временной области:

– плоская волна

$$E(R, t) = \frac{1}{2} E_m f \left(t - \frac{R}{c} \right) e^{-\frac{\gamma}{2} R}; \quad (1)$$

– сферическая волна

$$E(R, t) = \frac{1}{2} E_m f \left(t - \frac{R}{c} \right) e^{-\gamma R}, \quad (2)$$

где $E(R, t)$ – мгновенное значение напряженности электрического поля, В/м; E_m – амплитуда напряженности, созданная генератором СШИП, В/м; R – расстояние, м; t – время, с; c – скорость света, м/с; γ – коэффициент затухания, м⁻¹.

Из приведенных выражений следует, что плоская волна затухает за счет рассеяния в среде, которое в воздушном пространстве достаточно слабо. Сферическая волна затухает с расстоянием и за счет рассеяния в среде. Поэтому плоские волны являются наиболее опасными с точки зрения функционирования аппаратуры СЖАТ.

Из приведенного соотношения для плоской волны следует, что волна в точке наблюдения имеет ту же форму что и волна, излученная антенной. Амплитуда волны в точке наблюдения мало изменяется по сравнению с излучаемой антенной генератора. Отверстие в корпусе-экране аппаратуры АПК СЖАТ вырезает из фронта волны импульс напряженности поля $E(t)$, форма которого совпадает с формой импульса излученной волны. Этот импульс переизлучается неоднородностью корпуса, которая в этом случае играет роль паразитной приемопередающей антенны, внутрь корпуса. Амплитуды принимаемого и излучаемого импульса связаны коэффициентом использования.

$$E_{m, изл} = \sqrt{K_{и}} E_{m, прин}, \quad (3)$$

где $E_{m, изл}$ – амплитуда излучаемого импульса, В; $K_{и}$ – коэффициент использования; $E_{m, прин}$ – амплитуда принимаемого импульса, В.

Форма и временные параметры обоих импульсов совпадают [1].

Если перейти к спектральной форме описания излучаемого импульса, то по известным аналитическим выражениям [2] могут быть вычислены характеристики помехового электромагнитного поля в местах расположения узлов аппаратуры АПК: составляющие вектора напряженности электрической составляющей поля и энергия помех. Причем уровень энергии помех определяет последствия электромагнитной атаки на АПК СЖАТ [3]. Полученная таким способом оценка аналитическим методом является пессимистической, так как перекрывает все возможные резонансы в электродинамической системе ТС ЖАТ [4].

При воздействии на то же отверстие генератором-имитатором сверхширокополосных импульсных помех, напряжение генератора также создает импульс напряженности поля в отверстии. Частотный спектр этого импульса определяется частотным спектром импульса напряжения генератора и геометрическими размерами отверстия [2]. Тогда по известному спектру напряженности электрической составляющей излучаемого СШИП можно найти спектр напряжения в раскрыве отверстия, а затем с помощью обратного преобразования Фурье – импульс напряжения. Подобрать генератор соответствующих импульсов или воздействуя на отверстие импульсом, эквивалентным импульсу напряжения от СШИП, можно создать в корпусе аппаратуры АПК СЖАТ одинаковое помеховое поле и таким способом косвенно оценить последствия проникновения в АПК СЖАТ электромагнитного импульса преднамеренного воздействия. Наиболее близким к СШИП по форме импульса и ширине спектра является импульс стандартного генератора электростатических разрядов, например, в соответствии с ГОСТ 30804.4.2. Прогнозирование работы АПК СЖАТ при преднамеренном воздействии осуществляется при известном расстоянии прямой видимости и предполагаемых характеристиках используемого генератора СШИП в (1).

С другой стороны, возможно рассчитать спектр напряженности поля, созданного в раскрыве отверстия импульсом генератора, и рассчитать пессимистическую оценку параметров помехового поля внутри корпуса аппаратуры АПК СЖАТ по аналитическим выражениям из [2]. Затем рассчитать амплитуду напряженности импульса, принимаемого СШИП по (2), причем излучаемый импульс и импульс генератора либо совпадают либо связаны условием эквивалентности. В завершение определить параметры генератора СШИП на расстоянии прямой видимости по (1) и получить комплексную оценку помехоустойчивости для СШИП и импульса генератора.

При использовании такого подхода не требуется проводить испытания в безэховых камерах или на открытых площадках с использованием дорогостоящих генераторов и излучателей СШИП с напряженностями электрического поля от единиц до сотен кВ/м. Кроме того, процедура испытаний уже не является чисто эмпирической, а основывается на результатах аналитического моделирования помех в аппаратуре АПК СЖАТ.

Для практической реализации описанной методики, ускорения расчетов в научно-исследовательской лаборатории (НИЛ) «Безопасность и электромагнитная совместимость технических средств» (БЭМС ТС) НИИЖТа при БелГУТе разработана программа [3], которая осуществляет расчет параметров помех внутри корпуса-экрана с неоднородностями. Предусмотрена возможность расчета параметров помехового излучения от круглого и прямоугольного отверстий, тонкой щели, болтового соединения, при воздействии на апертуру биекспоненциального и гауссового импульсов напряжения. При этом в окне программы выбираются вид импульса, форма неоднородности экрана, задаются параметры импульса, неоднородности, координаты точки наблюдения внутри корпуса. Затем в результате работы программы пользователь получает значения составляющих вектора потока энергии в заданной им точке наблюдения.

Получено 09.10.2020

K. A. Bochkov, D. V. Komnatny. Ensuring functional and information safety of microelectronic traffic control systems, taking into account new types of threats.

The issues of correlation of information and functional security and their influence on ensuring the safety of train traffic of microelectronic systems of railway automation and telemechanics are considered. The normative documents reflecting the requirements for ensuring information and functional security of hardware and software complexes of railway automation and telemechanics systems are given. The influence of new types of threats of cyber attacks and electromagnetic attacks on the safety of train traffic is shown. The obtained scientific results make it possible to assess compliance with the requirements for functional, information and cyber security, as well as to predict the behavior of microelectronic SCATs during electromagnetic attacks.

Таким образом, полученные в НИЛ «БЭМС ТС» БелГУТа научные результаты позволяют проводить оценку соответствия по требованиям к функциональной, информационной и кибербезопасности, а также прогнозировать поведение АПК СЖАТ при преднамеренном воздействии СШИП.

Список литературы

- 1 Никольский, В. В. Теория электромагнитного поля / В. В. Никольский. – М. : Высш. шк., 1964. – 584 с.
- 2 Шимони, К. Теоретическая электротехника / К. Шимони. – М. : Мир, 1964. – 713 с.
- 3 Бочков, К. А. Системный подход к прогнозированию воздействия сверхширокополосных импульсов помех на ключевые системы информационной структуры / К. А. Бочков, Д. В. Комнатный // Технологии ЭМС. – 2017. – № 4. – С. 3–10.
- 4 Модель дифракции высокочастотной электромагнитной волны на апертуре в проводящем экране / Д. А. Цоиненко [и др.] // Доклады БГУИР. – 2015. – № 5. – С. 5–11.

УДК 656.25

В. И. ШАМАНОВ, доктор технических наук, Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва

АНАЛИЗ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ОБСТАНОВКИ ДЛЯ АППАРАТУРЫ АВТОМАТИКИ ПРИ ЭЛЕКТРОТЯГЕ

Приведены некоторые результаты исследований анализа состояния электромагнитной обстановки для рельсовых цепей и автоматической локомотивной сигнализации на участках железных дорог с электротягой переменного тока, а также возможностей прогнозирования того, как изменится эта обстановка при ухудшении или изменении условий эксплуатации тяговой рельсовой сети на участке пути. Такое прогнозирование осложняется тем, что основной источник помех на работу рассматриваемой аппаратуры – величина разности переменных тяговых токов в рельсовых нитях рельсовой линии – является функцией нескольких параметров: температуры рельсов, длины и времени эксплуатации рельсовой цепи, величины и гармонического состава тягового тока, взаимной индуктивности рельсовых нитей с другими токоведущими линиями.

На магистральных железных дорогах России, стран постсоветского пространства и развитых стран мира широко используются рельсовые цепи (РЦ) для контроля свободности от подвижного состава участков пути, излома рельсов и передачи контрольной информации по рельсовым линиям на соседние сигнальные точки и локомотивы с использованием систем автоматической локомотивной сигнализации (АЛС). Например, на железных дорогах Германии РЦ используются примерно в половине действующих систем железнодорожной автоматики и телемеханики [1]. Применяются они широко на железных дорогах США, Франции, Японии и в других странах.

Процесс возникновения электромагнитных помех на аппаратуру этих систем от тяговых токов многофакторный и может изменяться очень быстро. Причины появления высокого уровня помех многочисленны и часто взаимосвязаны.

Возникающие от действия помех кратковременные самовосстанавливающиеся отказы (сбои) в работе РЦ и аппаратуры АЛС приводят к переключениям огней светофоров на ложные показания, требующие снижения скорости движения поезда. Ложные перекрытия разрешающего показания светофора на красный огонь непосредственно перед движущимся поездом вызывают необходимость применения экстренного торможения.

Большой объем работ по обеспечению устойчивой работы РЦ и АЛС на участках железных дорог с разными видами тяги, в том числе в метрополитене, проводится в МИИТе [2, 3]. Уменьшение интенсивности сбоев этих устройств обеспечили результаты исследований, проведенных в ЛИИЖТе [4]. Обследование электромагнитной обстановки (ЭМО) и разработка мер по повышению надёжности рассматриваемых устройств на участках с электротягой постоянного тока выполнены в ОмГУПСе [5] и СамГУПСе [6]. Исследования по этой проблеме проведены в ИрГУПСе на равнинных и горных участках с электротягой переменного тока [7].

Уровень и частотный спектр помех на электрифицированных участках зависят от способов регулирования скорости вращения тяговых двигателей и от способов электрического торможения поездов. На уровень помех влияет плотность поездопотока, скорость движения поездов и их масса. Поэтому процесс выявления причин неустойчивой работы этих систем достаточно сложен и трудно формализуем, вследствие чего в вопросах исследования ЭМО и способов её прогнозирования остаётся много нерешённых вопросов.

Действие взаимной индуктивности между рельсовыми нитями рельсовой линии вызывает увеличение асимметрии тягового тока (разности тяговых токов) в рельсовых нитях под приёмными локомотивными катушками АЛС и в местах подключения к рельсам аппаратуры РЦ [7].

На рисунке 1 показан фрагмент осциллограммы, записанный на приёмных локомотивных катушках АЛС на одном из перегонов с кодовой автоблокировкой частотой 25 Гц Восточно-Сибирской железной дороги.

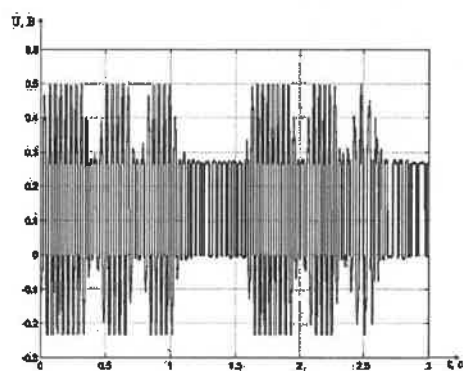


Рисунок 1 – Фрагмент записи сигнала на выходе локомотивного фильтра АЛС

Основной причиной появления помех от тягового тока в рельсовых линиях является возникновение асимметрии (разности) сопротивлений их рельсовых нитей из-за неодинакового и несимметричного выхода из поля допуска под действием деградиационных процессов величин электрических сопротивлений токопроводящих и/или изолирующих элементов в этих нитях.

Исследования показали, что сбои в работе локомотивной аппаратуры АЛС происходят чаще всего при достижении соотношения «сигнал – помеха» предела 1,3–1,4 на выходе локомотивного фильтра типа ФЛ-25/75М. Уровень помехи зависит не только от уровня и частотного спектра помех в рельсовой линии под приёмными локомотивными катушками, но и от серии электровоза. Следовательно, сами электровозы являются источником существенных помех на аппаратуру АЛС [7].

Типовые рельсовые медные приварные соединители типа РЭСФ-01/50 очень недолговечны из-за действия электрохимической коррозии, что вызывает необходимость их массовой замены. Требуемая долговечность рельсовых стыковых приварных соединителей при

электротяге переменного тока обеспечивается заменой в них медного гибкого провода стальными гибкими тросами с несколько увеличенным сечением. Эксплуатация таких стальных соединителей на ряде участков Восточно-Сибирской дороги показала, что они работают практически безотказно до следующего капитального ремонта пути [7].

На участках с электротягой переменного тока, оборудованных РЦ с частотой сигнального тока 25 Гц, в течение двух-трёх месяцев после капитального ремонта пути АЛС практически не работает из-за неравномерной намагниченности новых рельсов по их длине.

На рисунке 2 приведён частотный спектр напряжения на выходе приёмной локомотивной катушки АЛС на таком участке. Спектр частот помех, создаваемых неравномерной намагниченностью рельсов, находится в полосе пропускания локомотивных фильтров типа ФЛ-25/75М и не превышает 40 Гц при реальных скоростях движения поездов в России.

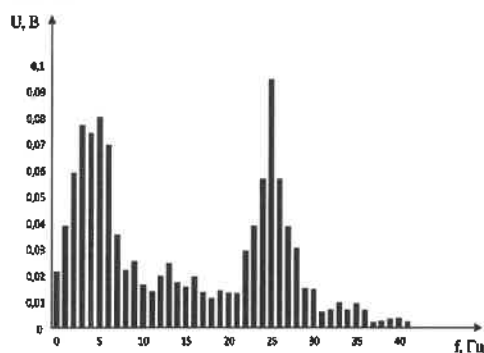


Рисунок 2 – Спектр напряжения на выходе приёмной локомотивной катушки АЛС

Было предложено переходить на несущую частоту сигнального тока 75 Гц, которая и использовалась сначала при внедрении электротяги переменного тока. Такой переход практически полностью исключил эти помехи [7].

Формулу для вычисления относительного значения асимметрии тягового тока в рельсовых нитях рельсовой линии, его коэффициента асимметрии, для наиболее простого варианта однопутного перегона при промёрзшем или сухом грунте можно представить в следующем виде

$$k_{AI} = \frac{|r_{n1} - r_{n2}|}{(r_{n1} + r_{n2}) + 2r_p + j\omega \left(2L_p + \frac{L_{дт}}{l} \right) - 2z_m},$$

где $r_{n1}; r_{n2}$ – сумма сопротивлений переходов между рельсами и накладками, а также между токопроводящими элементами в рельсовых стыковых соединителях и дроссельных переключках в разных рельсовых нитях; L_p – удельная индуктивность сплошных рельсов в рельсовой нити для соответствующей гармонике тягового тока и r_p – удельное их активное сопротивление; $L_{дт}$ – индуктивность основной обмотки дроссель-трансформатора; n – количество учитываемых дроссель-трансформаторов; z_m – удельное сопротивление взаимной индуктивности рельсовых нитей; l – длина РЦ или расстояние от первой колесной пары головного электровоза поезда до источника кодовых сигналов АЛС.

Удельное сопротивление взаимной индуктивности рельсовых нитей z_m является функцией асимметрии тя-

гового тока в рельсовой линии. Учет того, что рельсовая линия – это двухпроводная электрическая линия, а рельсовые нити – это однопроводные электрические линии с распределёнными параметрами, существенно усложняет данную формулу.

Уровень помех зависит от температуры рельсов и растёт с увеличением тягового тока. На рисунке 3 показаны графики зависимостей от величины тягового тока коэффициентов асимметрии тягового тока и значений тока асимметрии в рассматриваемой рельсовой линии с рельсами типа 365 при неизменной температуре рельсов +20 °С.

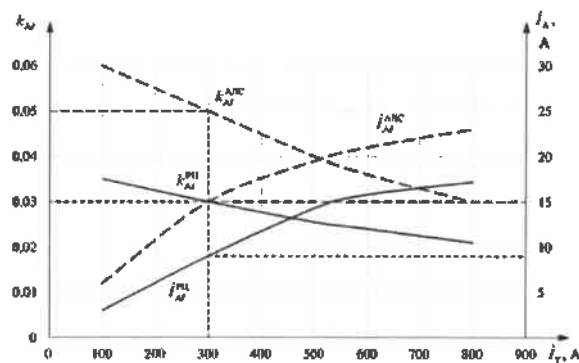


Рисунок 3 – Влияние величины тягового тока в рельсовой линии на значения коэффициентов и величин асимметрии тягового тока для РЦ и АЛС

Зависимости численных значений токов асимметрии под катушками АЛС или в местах подключения к рельсам аппаратуры РЦ от величины тягового тока в рельсовой линии нелинейны. Увеличение тягового тока в рельсовой линии, например, в 8 раз, со 100 до 800 А, приводит к увеличению асимметрии тягового тока для АЛС только в 4 раза, а для РЦ – в 5 раз. Уменьшение температуры рельсов не вызывает существенных изменений в этих соотношениях.

Разработанная с учетом этого методика расчетов [8] позволяет находить численные значения асимметрии тягового тока в требуемых точках рельсовой линии в зависимости от её длины, температуры рельсов, величины и частоты тягового тока в них, от степени деградации её токопроводящих и изолирующих элементов.

Проведённые исследования позволяют достоверно определять причины неустойчивой работы аппаратуры рельсовых цепей и автоматической локомотивной сигнализации на конкретных участках железной дороги. Они обеспечивают также возможность прогнозировать изменения электромагнитной обстановки при планировании перехода на тяжеловесное или высокоскоростное движение и разрабатывать действенные меры по подготовке тяговой сети и аппаратуры автоматики для работы в более сложных условиях эксплуатации.

Список литературы

- 1 Sauer, C. Gleisstromkreise – ein veraltetes oder aktuelles Mittel zur Gleisfreimeldung / C. Sauer // Eisenbahningenieur. – 2014. – В. 65. – No. 7. – S. 25–30.
- 2 Кравцов, Ю. А. Электромагнитная совместимость рельсовых цепей и электроподвижного состава с асинхронным тяговым приводом / Ю. А. Кравцов // Автоматика на транспорте. – 2015. – № 3. – С. 7–27.
- 3 Bestemyanov, P. F. On statistical models of the amplitude and the duration of pulsed electromagnetic interference in automatic-control and telemechanics channels of subway lines /

P. F. Bestemyanov, I. G. Gorlin // *Russian Electrical Engineering*. – 2016. – Vol. 87. – No. 9. – P. 493–497.

4 Бочков, К. А. Исследование электромагнитной совместимости устройств железнодорожной автоматики и телемеханики : автореф. дис. ... канд. техн. наук / К. А. Бочков. – Л. : ЛПИЖТ, 1981. – 19 с.

5 Непрерывная оценка состояния обратной тяговой сети в условиях организации тяжеловесного движения / С. А. Лушев [и др.]. // *Известия ТрансСибя*. – 2017. – № 1. – С. 2–9.

6 Метод исследования параметров импульсных помех в каналах АЛСН / В. Б. Леушин [и др.] // *Исследование и разра-*

ботка ресурсосберегающих технологий на железнодорожном транспорте : межвуз. сб. науч. тр. – Вып. 21. – Самара : СамИИТ, 2001. – С. 139–141.

7 Shamanov, V. Formation of Interference from Power Circuits to Apparatus of Automation and Remote Control / V. Shamanov // *Proceedings of 16th IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2018)*, Kazan, Russia, September 14–17. – 2018. – P. 140–146. – Doi: 10.1109/EWDTS, 2018.

8 Шаманов, В. И. Расчеты помех от тягового тока в неоднородных рельсовых линиях / В. И. Шаманов // *Автоматика на транспорте*, 2020. – Т. 6. – № 3. – С. 241–267.

Получено 14.10.2020.

V. I. Shamanov. Analysis and forecasting of electromagnetic situation for automation equipment with electric power.

Some results of studies of the analysis of the state of the electromagnetic environment for track circuits and automatic locomotive signaling on railway sections with AC electric traction, as well as the possibilities of forecasting how this situation will change when the operating conditions of the traction rail network deteriorate or change on the track section are presented. This forecasting is complicated by the fact that the main source of interference on the operation of the equipment under consideration is the value of the difference between the alternating traction currents in the rail threads of the rail line is a function of several parameters: the temperature of the rails, the length of the rail circuit, the size and harmonic composition of the traction current, the mutual inductance of the rail threads with other current carrying lines.

УДК 656.26

С. Н. ХАРЛАП, кандидат технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

ПРИМЕНЕНИЕ ДИВЕРСИТЕТА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ МИКРОЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ

Рассмотрены подходы к применению диверситета в микроэлектронных системах железнодорожной автоматики и телемеханики. Приведены примеры функционального диверситета и диверситета технологий для обеспечения независимости отказов и повышения устойчивости к систематическим отказам. Сформулированы основные проблемы применения диверситета для повышения безопасности движения поездов.

Настоящее время микроэлектронные системы нашли широкое применение в различных системах управления и контроля на транспорте, в том числе в системах, связанных с обеспечением безопасности движения поездов. Примером таких систем могут служить современные системы железнодорожной автоматики и телемеханики. Одной из важнейших задач, решаемых этими системами, является обеспечение безопасности движения поездов. В отличие от релейных систем, безопасность которых базируется на свойствах специального реле I класса надежности, в микроэлектронных системах используются разнообразные методы обеспечения безопасности, которые рекомендованы международными стандартами [1–2]. Это связано с высокой сложностью микроэлектронных систем, разнообразием применяемых аппаратных средств и широким использованием программных средств для реализации безопасных функций.

Концепция обеспечения безопасности. Основные принципы обеспечения безопасного функционирования систем управления определяются концепцией, принятой разработчиком. Наибольшее распространение получила следующая концепция обеспечения безопасности [3]: «Одиночные отказы аппаратных и программных средств не должны приводить к опасным отказам и должны обнаруживаться при рабочих и тестовых воздействиях до того, как в системе произойдет второй отказ».

Основным способом реализации данной концепции является параллельное выполнение ответственных функций в нескольких вычислительных каналах (многоканальная обработка) с последующим сравнением результатов. Если результаты вычислений в различных каналах совпадают, то считается, что система исправна и правильно выполняет свои функции. Если наблюдается расхождение, то принимается решение о наличии отказа в системе и выполняется ее отключение (переход в защитное состояние). При таком подходе любые одиночные отказы не могут привести к опасному отказу, т. е. выработка опасного управляющего воздействия блокируется вторым исправным каналом. Переход в защитное состояние при обнаружении отказа гарантирует, что к опасным последствиям не приведут последующие отказы. Многоканальная обработка нашла широкое применение в различных системах железнодорожной автоматики, например, системах микропроцессорной централизации EbiLock 950, ESA 44-BC, «I-путь», «Днепр» и др.

Ограничения многоканальной обработки. Безопасность многоканальных систем базируется на следующих предположениях.

1 Независимость случайных отказов в однотипных элементах функционально избыточных структур. Предполагается, что любой одиночный отказ аппаратных средств вызывает некорректную работу некоторых функциональных модулей только одного из каналов. Аналогичные функциональные модули второго канала должны оставаться исправными. Одновременный отказ в обоих каналах модулей, выполняющих одинаковые функции, считается опасным отказом, если оба модуля формируют одинаковые неправильные управляющие воздействия. Одной из причин такого поведения при отказе могут быть отказы по общей причине (*common cause failure*) [4].

2 Исключение возможности накопления отказов. Предполагается, что все одиночные отказы обнаруживаются контрольными средствами, которые обеспечивают переход системы в защитное состояние. Появление сложных микроэлектронных и микропроцессорных элементов привело к выделению нового класса отказов – маскируемых. Отказы аппаратных средств, которые не приводят сразу к нарушению функционирования системы, называются *маскируемыми* и могут быть обнаруживаемыми и не обнаруживаемыми в зависимости от реализации средств диагностики. Не обнаруживаемые отказы могут приводить к накоплению отказов и, как следствие, к возможности появления опасных отказов.

3 Устойчивость к систематическим отказам. В соответствии с [4] выделяют случайные отказы аппаратных средств и систематические отказы. Причинами систематических отказов являются ошибки человека при проектировании, изготовлении (реализации) и эксплуатации аппаратных средств и программного обеспечения. Предполагается, что в безопасных многоканальных структурах отсутствуют систематические отказы. Однако на практике полностью исключить систематические отказы невозможно, и в этом случае любой систематический отказ может стать опасным.

Нарушение любого из этих предположений может привести к нарушению концепции обеспечения безопасности и, как следствие, к снижению уровня полноты безопасности системы в целом.

Методы обеспечения независимости случайных отказов. В соответствии с [1] к основным методам обеспечения независимости отказов относят:

- функциональное разнообразие (*diversity* – диверситет): использование различных подходов для достижения тех же результатов;
- разнообразие (диверситет) технологий: использование различных типов аппаратного обеспечения и программного обеспечения для достижения тех же результатов;

– отсутствие общих компонентов: обеспечение отсутствия общих компонентов или систем поддержки (например, электропитания), отказ которых может привести к опасному виду отказа всей системы;

– отсутствие общих процедур: обеспечение отсутствия общих процедур при эксплуатации, техническом обслуживании или тестировании.

Таким образом можно выделить два основных направления обеспечения независимости отказов вычислительных каналов в многоканальных системах: использование различных видов диверситета и обеспечение отсутствия общих элементов и процедур.

Как уже было сказано выше, опасным является одновременный отказ в обоих каналах модулей, выполняющих одинаковые функции, если оба модуля формируют одинаковые неправильные управляющие воздействия. В случае, если аппаратное и программное обеспечение обоих модулей идентично, то с большой вероятностью одно и то же внешнее воздействие вызовет одинаковые отказы в этих модулях. Поэтому все отказы по общей причине считаются опасными.

Подход, связанный с обеспечением отсутствия общих элементов и процедур базируется на физическом разделении каналов между собой. При этом снижается вероятность отказов по общей причине, а интенсивность одновременного отказа двух независимых модулей будет равна произведению интенсивностей отказов этих модулей. При средних значениях интенсивности отказов одного модуля 10^{-7} – 10^{-6} 1/ч, интенсивность опасного отказа будет меньше 10^{-12} 1/ч, что соответствует требованиям нормативных документов.

Следует отметить, что не всегда возможно полностью исключить общие элементы и процедуры в каналах многоканальной структуры. Такие функции, как синхронизация работы каналов, сравнение результатов работы каналов, обмен данными между каналами, подразумевает наличие общих элементов: каналов передачи данных, устройств синхронизации, компараторов и др. Это накладывает определенные ограничения на использование данной группы методов обеспечения независимости отказов.

Более универсальным методом является использование диверситета, который может быть использован практически во всех ситуациях. Этот подход базируется на том, что модули разных каналов, выполняющие одинаковые функции, реализуются разными способами. В этом случае внешние воздействия, вызвавшие отказ одного из модулей, либо не повлияют на работу второго модуля, либо приведут к тому, что последствия отказов в разных модулях будут различны. При достаточном уровне диверситета даже при одновременных отказах этих модулей, вызванных общими причинами, модули сформируют различные управляющие воздействия, что будет обнаружено внешней схемой сравнения и вызовет переход в защитное состояние. Таким образом, отказы по общей причине переводятся из категорий опасных в защитные.

Однако использование диверситета предполагает значительное увеличение затрат на разработку и техническое обслуживание системы, что является основным сдерживающим фактором его широкого использования.

Функциональный диверситет. Как было сказано выше, виды диверситета можно условно разделить на две категории: функциональный диверситет и диверситет технологий.

Функциональный диверситет предполагает использование различных подходов для достижения одних и тех же результатов. При этом каждая функция выполняется несколько раз различными способами. Например, если нам требуется опросить три дискретных датчика A , B и C и включить исполнительный объект Y в случае, когда датчики A или C включены, а датчик B – выключен, то эту функцию можно описать следующим образом:

$$Y = (A \vee C)\bar{B}. \quad (1)$$

Реализовать эту функцию можно несколькими способами, которые представлены на рисунке 1. Вторая реализация функции Y (см. рисунок 1, б) выполнена преобразованием исходной функции с использованием теорем Де-Моргана для сложения и умножения [5].

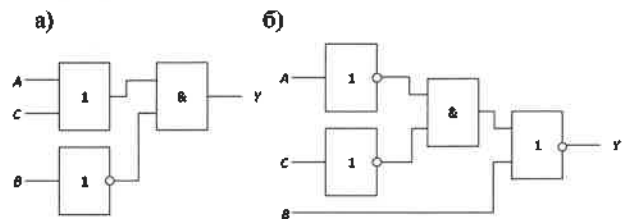


Рисунок 1 – Разные способы реализации функции Y

В качестве примера влияния отказов по общей причине на работу полученных диверситетных модулей рассмотрим последствия одновременных отказов в обоих модулях элементов «И», при которых на выходах элементов формируется значение логической единицы независимо от значений входных логических переменных (отказ вида «константная 1»). Как видно из рисунка 1, первая схема сформирует на выходе значение «1», а вторая – значение «0».

Программная реализация этой функции также может быть диверситетной. На рисунке 2 представлены алгоритмы реализации этой функции разными способами. Первый вариант реализации (см. рисунок 2, а) предполагает непосредственное вычисление функции Y с помощью логических операторов. Второй способ, получивший название «метод бинарных программ» [6] (см. рисунок 2, б), основан на проверке ряда условий и получения результата логической функции без ее вычисления. Так, для нашего примера, при значении B , равном единице, значение функции Y равно нулю при любых значениях оставшихся переменных A и C .

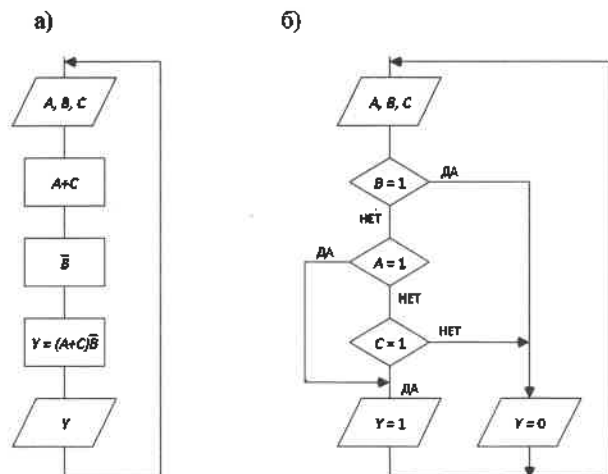


Рисунок 2 – Программная реализация функции Y

Такой метод часто используется при разработке программного обеспечения безопасных систем и получил названия «многовариантное программирование», «*N*-версионное программирование», «диверситетное программирование».

Целью данного метода является обнаружение и маскирование ошибок программных средств для предотвращения критичных для безопасности отказов системы и продолжения ее правильной работы. При многовариантном программировании заданная программная спецификация проектируется и реализуется различными способами *N* раз. Одни и те же входные значения поступают в *N* версий с последующим сравнением результатов. Если результат определяется как правильный, он поступает на выходы системы управления.

Важным требованием является то, что в некотором смысле *N* версий должны быть независимы друг от друга, поэтому они не все одновременно должны перестать правильно работать по общей причине. *N* версий могут выполняться параллельно на различных компьютерах, либо все версии могут выполняться последовательно на одном компьютере с последующим сравнением полученных результатов на том же компьютере.

Как видно из рисунка 2, для защиты от отказов по общей причине диверситет программных реализаций достигается не только разными алгоритмами, но и различными ресурсами, необходимыми для выполнения этих алгоритмов. Поэтому отказы по общей причине, приводящие к невозможности использования определенных ресурсов, повлияют только на одну из реализаций. Например, неправильное вычисление логической операции «ИЛИ» может исказить результат выполнения первой программы, но никак не повлияет на вторую, а отказ флага сравнения, по которому осуществляется условный переход, исказит работу второго алгоритма, но не повлияет на первый. Таким образом обеспечивается независимость отказов в разных каналах.

Диверситет технологий. Диверситет технологий предполагает использование различных типов аппаратного обеспечения и программного обеспечения для достижения тех же результатов. Аппаратный диверситет может быть реализован применением в различных каналах компонентов с различными частотами и типами отказов. Примерами аппаратного диверситета могут служить построение различных каналов на базе:

- электронных и релейных компонентов;
- цифровых и аналоговых элементов;
- жесткой и программируемой логике;
- микроконтроллеров и программируемых логических интегральных схем (ПЛИС);
- микроконтроллеров, использующих различные (CISC, RISC или MISC) архитектуры и т. п.

Приведенные примеры аппаратного диверситета упорядочены по убыванию степени различия технологий. Наиболее сильным аппаратным диверситетом является реализация одного канала на базе электронных компонентов, а второго – с помощью релейной логики. Примеры таких реализаций функции (1) приведены на рисунках 1 и 3.

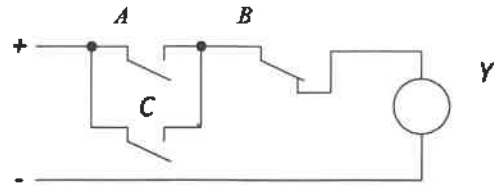


Рисунок 3 – Релейная реализация функции Y

В качестве примера диверситета на базе аналоговых и цифровых элементов можно привести пример различных реализаций инвертора (рисунок 4).

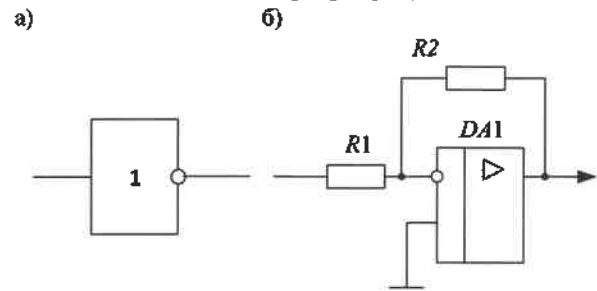


Рисунок 4 – Реализация цифрового (а) и аналогового (б) инверторов

В качестве примера реализации функции (1) на жесткой логике можно рассмотреть схему на рисунке 1, а в качестве программируемой логики можно взять любой микроконтроллер и реализовать на нем программу по любому алгоритму из рисунка 2.

При аппаратном диверситете защита от отказов по общей причине обеспечивается в первую очередь тем, что используемые диверситетные компоненты обладают различной чувствительностью к внешним воздействиям и реакцией на эти воздействия. Поэтому отказ по общей причине диверситетных модулей приведет к различиям в поведении этих модулей, что будет обнаружено при сравнении результатов их работы. Таким образом, отказ по общей причине не приводит к опасным последствиям и может быть классифицирован как защитный.

Программный диверситет технологий может быть достигнут использованием:

- различных языков программирования;
- различных сред разработки;
- различных операционных систем.

Использование этих методов позволяет частично защититься от отказов по общей причине за счет использования различных ресурсов вычислительных каналов, хотя их эффективность не так очевидна, как при использовании аппаратного диверситета.

Методы обеспечения устойчивости к систематическим отказам. Перечислить каждую причину систематических отказов, источники которых возникают на протяжении всех стадий жизненного цикла, и каждое средство защиты не представляется возможным по следующим причинам [1]: влияние систематических ошибок зависит от стадии жизненного цикла, на которой они вносятся, и эффективность любой конкретной меры

или средства по предотвращению отказов зависит от их применения.

В то же время в соответствии с [1] при проектировании безопасной системы управления должна быть обеспечена устойчивость:

- к любым остаточным ошибкам проектирования аппаратных средств, если вероятность ошибок проектирования аппаратных средств не может быть исключена;
- внешним влияниям, включая электромагнитные воздействия;
- ошибкам человека-оператора при эксплуатации системы;
- любым остаточным ошибкам в программном обеспечении;
- любым ошибкам, возникающим в результате выполнения любого процесса передачи данных.

В связи с этим основными источниками систематических отказов принято считать:

- отказы, вызванные ошибками человека, возникающими на этапах разработки и изготовления системы (например, ошибки спецификации, ошибки программного обеспечения; ошибки при проектировании и изготовлении аппаратных средств);
- отказы, вызванные ошибками, возникающими во время эксплуатации системы (например, отказы, вызванные неправильным использованием оборудования).

Для предотвращения таких отказов или уменьшения их влияния на безопасность (если они происходят) обычно требуется применение большого числа различных средств. Далее мы рассмотрим только влияние диверситетных методов на устойчивость к систематическим отказам.

Влияние различных видов диверситета на устойчивость к систематическим отказам. Опасным отказом в многоканальных системах считается отказ, при котором несколько каналов одновременно сформируют одинаково неверные управляющие воздействия. Это может быть вызвано как отказами по общей причине, которые мы рассматривали выше, так и систематическими отказами. Например, если в вычислительных каналах используется одинаковое программное обеспечение, то любая ошибка будет проявляться одинаково и не будет обнаружена схемами сравнения. Таким образом, ошибка человека на стадиях разработки и изготовления системы становится опасной, если она проявится в нескольких каналах одинаковым образом.

Для исключения таких последствий существует два основных подхода:

- многоступенчатый контроль всех стадий разработки аппаратных и программных средств;
- обеспечение достаточной независимости разработки аппаратных и программных средств для различных каналов многоканальной системы. В этом случае предполагается, что допущенные при разработке ошибки человека проявят себя в разных каналах по-разному, что позволит при сравнении результатов работы каналов их обнаружить и обеспечить переход в защитное состояние.

Для достижения достаточной независимости разработки аппаратных и программных средств для различных каналов многоканальной системы в целом используют те же подходы, что и для обеспечения независимости случайных отказов аппаратных средств:

- функциональный диверситет;
- диверситет технологий;

– отсутствие общих процедур проектирования, разработки и изготовления каналов.

Рассмотрим эти методы с точки зрения влияния на устойчивость к систематическим отказам.

Применение функционального диверситета приводит к разработке различных спецификаций для каждого канала, отличающихся набором функций, алгоритмами, схемными решениями. Любая ошибка, возникшая при разработке спецификации, коснется только одного вычислительного канала и не будет перенесена во второй канал. То же самое произойдет и при проектировании, программировании и изготовлении каналов, т. к. каждый канал будет разрабатываться по отдельным спецификациям.

Данный метод не устраняет ошибок, не выявленных при проектировании, а также ошибок в интерпретации спецификации, однако он является средством для обнаружения и маскирования ошибок, прежде чем они смогут повлиять на безопасность.

Недостатком такого подхода является как минимум удвоение затрат на разработку.

Диверситет технологий кроме применения методов, рассмотренных выше, практически всегда дополняется правилом, что аппаратные и программные средства различных каналов должны разрабатывать различные группы разработчиков. В этом случае предполагается, что даже отталкиваясь от одной и той же спецификации требований, если разные разработчики и допустят ошибки, то эти ошибки проявятся по-разному и будут обнаружены при сравнении работы каналов. Использование различных языков и сред программирования только усиливает этот эффект. Как и в случае с функциональным диверситетом, этот метод очень затратен, т. к. подразумевает финансирование еще одной параллельной разработки.

На практике часто объединяют эти подходы, когда каналы проектируют различные группы разработчиков по отличающимся спецификациям (функциональный диверситет) с применением различных операционных систем, языков и сред программирования (диверситет технологий).

Проблемы применения диверситета. Следует учитывать, что в стандартах предлагаются только общие подходы к достижению диверситета, рассмотренные в этой статье. К сожалению, эксперименты и аналитические исследования показывают, что применение диверситета не всегда столь эффективно, как хотелось бы. Независимость версий, являющуюся основой для диверситета, на практике довольно трудно достичь и продемонстрировать. Даже если используются различные функциональные элементы и алгоритмы, привлекаются различные коллективы разработчиков, разные версии аппаратного и программного обеспечения слишком часто имеют одинаковые реакции при проявлении внутренних ошибок или искажении внешних данных.

В последнее время получил распространение комплексный подход, при котором одновременно используются как аппаратный, так и программный диверситеты. В этом случае в разных каналах обработки информации используются различные аппаратные средства, с загруженными в них диверситетными программами. Такой подход позволяет объединить достоинства обоих методов и защититься как от отказов по общей причине аппаратных средств, так и от ошибок программного обеспечения.

До настоящего времени не существует эффективно-го метода, количественно оценивающего уровень разнообразия (диверситета) различных версий, и, как следствие, методов оценки достаточности полученного диверситета для заданного уровня полноты безопасности.

Выводы. Основными преимуществами использования диверситета являются:

- повышение стойкости к систематическим отказам в процессе проектирования, реализации, эксплуатации и технического обслуживания аппаратных и программных средств;

- снижение риска возникновения отказов по общей причине.

К недостаткам использования диверситета можно отнести:

- значительное увеличение стоимости разработки системы;

- сложность подтверждения различного поведения диверситетных каналов при возникновении случайных отказов аппаратных средств, систематических отказов (ошибок) проектирования, реализации аппаратных средств и ошибок в программном обеспечении;

- независимо от подхода в настоящее время нет эффективного метода, оценивающего уровень разнообразия (диверситета).

Однако следует отметить, что альтернативные методы решения задачи повышения стойкости к систематическим отказам и снижения риска возникновения отказов по общей причине не менее затратны и сложны. При этом каждый из альтернативных методов в отличие

от диверситета решает только часть описанных выше проблем. Поэтому, несмотря на эти недостатки, применение диверситета в безопасных микроэлектронных системах является полностью оправданным.

Список литературы

1 СТБ ИЕС 61508-2-2014. Функциональная безопасность электрических, электронных, программируемых электронных систем, относящихся к безопасности. Часть 2. Требования к электрическим, электронным, программируемым электронным системам, относящимся к безопасности. – Введ. 2015-06-01.

2 СТБ ИЕС 62425-2011. Железные дороги. Системы связи, сигнализации и обработки данных. Электронные системы сигнализации, связанные с безопасностью. – Введ. 2011-08-01.

3 РТМ 32 ЦШ 1115842.01-94. Руководящий технический материал. Безопасность железнодорожной автоматики и телемеханики. Методы и принципы обеспечения безопасности микроэлектронных СЖАТ. – СПб., 1994. – 120 с.

4 СТБ ИЕС 61508-4-2014. Функциональная безопасность электрических, электронных, программируемых электронных систем, относящихся к безопасности. Часть 4. Термины и определения и сокращения. – Введ. 2015-06-01.

5 Теория дискретных устройств железнодорожной автоматики, телемеханики и связи : учеб. / В. В. Сапожников [и др.] ; под ред. Вл. В. Сапожникова. – М. : ФГБОУ «УМЦ ЖДТ», 2016. – 339 с.

6 Методы построения безопасных микроэлектронных систем железнодорожной автоматики / В. В. Сапожников [и др.] ; под ред. Вл. В. Сапожникова. – М. : Транспорт, 1995. – 272 с.

7 СТБ ИЕС 61508-3-2014. Функциональная безопасность электрических, электронных, программируемых электронных систем, относящихся к безопасности. Часть 3. Требования к программному обеспечению. – Введ. 2015-06-01.

Получено 30.08.2020

S. N. Kharlap. Applying diversity to increase safety microelectronic systems.

Approaches to the use of diversification in microelectronic systems of railway automation and telemechanics are considered. Examples of functional diversification and diversification of technologies for ensuring the independence of failures and increasing resistance to systematic failures are given. The main problems of using diversification to improve the safety of train traffic are formulated.

УДК 656.26

С. Н. ХАРЛАП, кандидат технических наук, В. Л. КАТКОВ, магистр технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОВЕДЕНИЯ АНАЛИЗА ФМЕСА МИКРОЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ

Рассмотрены особенности использования метода ФМЕСА для доказательства безопасности микроэлектронных систем железнодорожной автоматики и телемеханики. Рассмотрены способы имитации отказов при анализе ФМЕСА и представлено программное обеспечение для автоматизированного проведения анализа.

В настоящее время активно разрабатываются новые микроэлектронные системы и устройства железнодорожной автоматики, связанные с обеспечением безопасности движения поездов. В соответствии с действующими стандартами к таким системам предъявляют наиболее жесткие требования по функциональной безопасности и относят к четвертому (высшему) уровню полноты безопасности УПБ 4 [1, 2]. Действия разработчика по подтверждению достигнутого уровня функциональной безопасности строго регламентированы соответствующими нормативными документами.

Нормативные документы, определяющие требования функциональной безопасности. Функциональная безопасность – это достаточно формализованное свойство, поскольку системы, важные для безопасности, являются предметом государственного лицензирования во всех странах. Поэтому все виды деятельности в области разработки безопасных систем достаточно жестко регламентированы различными стандартами.

Основополагающим «вертикальным» стандартом верхнего уровня «*Umbrella standard*» для функциональной безопасности является МЭК 61508 «Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью» (*IEC 61508 Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems*). Стандарт дает общее понятие о функциональной безопасности, включает в себя общие требования к организации жизненного цикла электрических, электронных, программируемых электронных (Э/Э/ПЭ) систем, связанных с безопасностью, и методы, которые могут использоваться для достижения заданного уровня полноты безопасности.

На территории Евразийского экономического союза основным документом, определяющим требования в области функциональной безопасности, является технический регламент Таможенного союза ТР ТС 003/2011 «О безопасности инфраструктуры железнодорожного транспорта». Регламент устанавливает требования к инфраструктуре железнодорожного транспорта, включая системы железнодорожной автоматики, в целях защиты жизни и здоровья человека, окружающей среды, сохранности имущества, а также предупреждения действий, вводящих в заблуждение потребителей относительно его назначения и безопасности. В свою очередь детализация требований осуществляется с помощью ряда поддерживающих стандартов (ГОСТ) [3–5].

Метод ФМЕСА. В соответствии с требованиями технического регламента Таможенного союза ТР ТС 003/2011 разработчик обязан выполнить ряд мероприятий по подтверждению функциональной безопасности и оформить результаты этих мероприятий в виде документа «Доказательство безопасности».

Доказательство безопасности предполагает подтверждение выполнения следующей концепции обеспечения безопасности, принятой для микроэлектронных систем [6]: «Одиночные отказы аппаратных средств и ошибки в программном обеспечении не должны приводить к опасным отказам и должны обнаруживаться до того, как в системе возникнет второй отказ». Основным методом доказательства выполнения этой концепции служит анализ видов, последствий и критичности отказов (*Failure Mode, Effects and Criticality Analysis – FMECA*) [7].

Основными этапами проведения анализа являются:

- 1) изучение документации на систему;
- 2) определение видов отказов;
- 3) последовательная имитация отказов;
- 4) определение последствий и критичности отказов;
- 5) анализ возможности накопления отказов, влияние отказов по общей причине.

На первом этапе выполняется анализ технической документации на систему или устройство (технических требований, архитектуры, принципиальных схем, функционального описания). Особое внимание уделяется четкой формулировке критериев опасных и защитных отказов, методам и критериям обнаружения отказов, а также возможности парирования последствий отказов. Эта информация необходима для принятия решения о критичности отказов на последующих этапах анализа. На этом же этапе выполняется предварительный анализ последствий отказов функциональных блоков, позволяющий выделить компоненты системы, отказы которых не влияют на функциональную безопасность, что позволяет исключить эти компоненты из дальнейшего анализа.

После изучения архитектуры и принципиальных схем определяются виды отказов. Для элементов систем железнодорожной автоматики определен перечень видов отказов компонентов аппаратных средств [2, приложение С]. Например, для резистора определены такие отказы, как обрыв, короткое замыкание, увеличение или уменьшение сопротивления, короткое замыкание на корпус. Существует возможность исключения некоторых видов отказов из анализа в зависимости от физических свойств компонента или технологии его изготовления. Например, короткое замыкание резистора можно исключить из анализа, если на него нанесено лакокрасочное покрытие. Результатом этого этапа является перечень видов отказов, которые должны учитываться при выполнении анализа ФМЕСА.

На следующих этапах для каждого компонента последовательно выполняется имитация всех отказов из перечня видов отказов и определяются последствия и критичность каждого одиночного отказа, а также возможность накопления отказов и влияние отказов по общей причине. Данная процедура может быть выполнена следующими способами:

– экспертной оценкой последствий отказов без выполнения имитации;

– выполнение физического макетирования отказа с помощью специальных коммутирующих устройств, позволяющих имитировать обрывы компонентов замыканием соответствующих цепей, а короткие замыкания компонентов – замыканием определенных узлов на плате;

– внесение отказов в компьютерную имитационную модель устройства.

Способы имитации отказов при анализе FMECA. Каждый из рассмотренных выше способов имеет свои ограничения. Для проведения экспертной оценки последствий отказов без выполнения имитации необходимо привлечение высококвалифицированных экспертов. В этом случае устройство должно быть достаточно простым, чтобы эксперт мог с высокой достоверностью спрогнозировать поведение схемы при отказе. При увеличении сложности схемы достоверность результатов снижается, что требует применения других методов анализа.

Следует отметить еще одно ограничение данного метода – влияние «человеческого фактора» на достоверность результатов анализа. Количество возможных отказов, последствия которых надо анализировать, даже для относительно несложных схем измеряется сотнями и тысячами различных вариантов. Работа принимает ярко выраженный рутинный характер, что повышает вероятность человеческих ошибок при принятии решения. Учитывая высокие требования по функциональной безопасности, которые надо подтвердить анализом FMECA, для исключения влияния «человеческого фактора» необходимо привлечение как минимум двух независимых экспертов, которые либо выполнят эту работу параллельно, либо один эксперт выполняет анализ, а второй его проверяет.

Выполнение физического макетирования отказа с помощью специальных коммутирующих устройств обладает высокой достоверностью полученных результатов. Однако такой способ также имеет свои ограничения. Во-первых, это высокие затраты на имитацию отказов, т. к. требуется изготовление специального макета. Во-вторых, большое количество отказов невозможно имитировать с помощью коммутирующих устройств. Например, если обрыв резистора можно имитировать разрывом соответствующей цепи, то изменение напряжения открытия диода таким способом имитировать невозможно. Кроме того, в ряде отказов происходит разрушающее влияние на другие элементы схемы, и их имитация приведет к выходу из строя всего устройства, что потребует затрат на его восстановление. Поэтому обычно данный способ применяют в том случае, когда другими методами не удастся обеспечить высокую достоверность анализа последствий отказов.

Наиболее эффективным является внесение отказов в компьютерную имитационную модель устройства. Современные пакеты схемотехнического моделирования обладают достаточно высокой достоверностью результатов и возможностью внесения различных отказов. Однако большинство программных средств имеют свои ограничения, например, *PSPICE* не имеет возможности моделировать программируемые элементы, *Proteus Design Suite* имеет закрытый формат библиотек элементов, что не позволяет имитировать некоторые отказы.

Все рассмотренные способы предполагают имитацию отказов в ручном режиме, это приводит к тому, что анализ занимает длительное время. Кроме того, при использовании имитационных моделей остается не решенной проблема влияния «человеческого фактора» на достоверность результатов анализа.

Таким образом, можно выделить следующие основные проблемы, с которыми сталкиваются эксперты при выполнении анализа FMECA: высокую сложность систем, длительный и рутинный характер выполнения анализа, обуславливающий высокую вероятность ошибок человека. Частично решить эти проблемы можно автоматизацией проведения анализа FMECA на базе имитационной модели устройства.

Программное обеспечение для выполнения анализа FMECA. В научно-исследовательской лаборатории «Безопасность и ЭМС технических средств» разработано программное обеспечение, которое позволяет в автоматизированном режиме получить результаты моделирования электронной схемы при отказе различных элементов.

За основу для моделирования электронных схем была взята программа-симулятор электронных схем *ngSpice* – симулятор электронных схем общего назначения, обеспечивающий моделирование в режиме смешанных сигналов и на смешанном уровне.

Первым из достоинств данного симулятора является то, что он базируется на системе схемотехнического моделирования *SPICE*, а значит, можно выделить следующие особенности:

– большое количество проверенных библиотек с моделями электронных компонентов;

– доступный формат хранения имитационных моделей, возможность редактирования и создания новых моделей;

– возможность анализа схемных решений в различных режимах (анализ переходных процессов, моделирование статического режима работы, частотный анализ, температурный анализ и т. д.).

Вторым преимуществом является то, что у данной программы открытый исходный код, и ее использование не требует покупки лицензии, также она развивается уже более 30 лет, в ней выявлены и устранены многие ошибки.

Третье преимущество – наличие подробной документации.

Четвертым достоинством является кроссплатформенность программы.

И последним, но немаловажным преимуществом является то, что помимо версии с графической оболочкой также есть версия в виде *dll* библиотеки, которую проще использовать при разработке собственного программного обеспечения.

В отличие от программ-лабораторий (*Multisim*, *Proteus*, *OrCAD* и др.) *ngSpice* представляет собой симулятор, который не имеет своего собственного графического интерфейса, а лишь выполняет имитационное моделирование электронной схемы. Это значит, что в нем невозможно начертить схему, которую необходимо моделировать. Существует два способа создания файла-схемы, который будет загружаться в *ngSpice*:

– составление схемы по синтаксическим правилам языка *SPICE* в текстовом редакторе;

– извлечение/конвертирование графического представления схемы из редактора электрических схем.

Из-за того, что первый способ не является предпочтительным при составлении сложных схем (велика вероятность совершения ошибки при соединении элементов между собой), предлагается использовать второй способ. В результате обзора различных программных решений был сделан выбор в пользу программы

LTspice. Особо стоит отметить, что данный программный продукт является бесплатным в использовании.

Программа написана на языках *C#* и *Python*. Структура разработанного ПО приведена на рисунке 1.

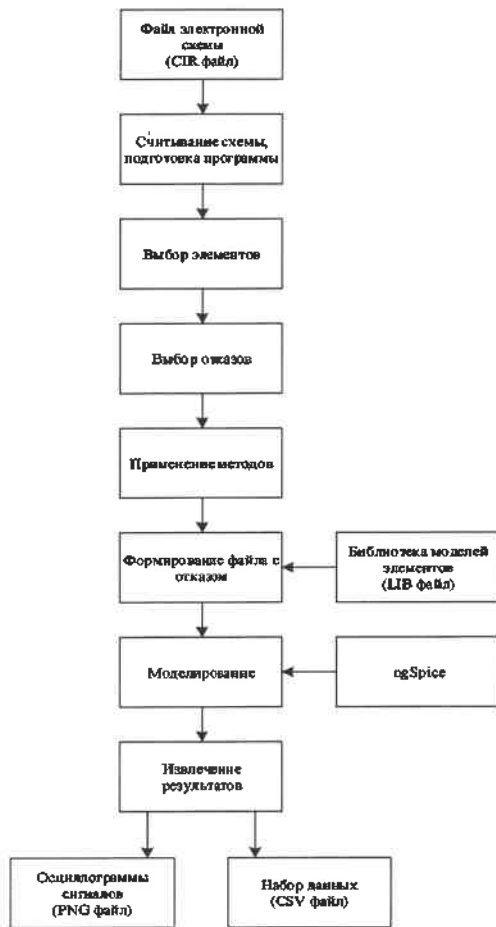


Рисунок 1 – Структура ПО

Программа имеет интуитивно понятный интерфейс (рисунок 2), с помощью которого пользователь может загрузить электронную схему и указать, какие виды отказов элементов необходимо моделировать. После запуска процесса моделирования внесение отказов и протоколирование полученных результатов происходит в автоматическом режиме.

К достоинствам разработанной программы следует отнести следующие:

- программное обеспечение базируется на программе *ngSpice* [8], которая использует для моделирования ядро *SPICE* – общепризнанный эталон в области моделирования электронных схем;
- используется открытое, свободно распространяемое программное обеспечение;
- в разработанном программном продукте есть два способа протоколирования полученных результатов: графический (осциллограммы) и текстовый (уровни напряжений во времени). Такой подход позволяет использовать как ручные методы анализа, так и средства автоматизации обработки результатов моделирования.

Получено 15.10.2020

S. N. Kharlap, V. L. Katkov. Automation of analysis of FMECA microelectronic systems of railway Signalling and Interlocking.

The features of using the FMECA method to safety case of microelectronic systems of railway Signalling and Interlocking are considered. Methods for simulating failures in FMECA analysis are considered and software for automated analysis is presented.

В научно-исследовательской лаборатории «Безопасность и ЭМС технических средств» выполнена апробация программного обеспечения при выполнении научно-исследовательских работ. Результаты автоматизированного моделирования отказов элементов в схеме совпадают с результатами, полученными при ручном внесении отказов в программе *LTspice*.

Применение разработанного программного продукта при проведении экспертизы на функциональную безопасность современных устройств ЖАТ позволит автоматизировать анализ влияния отказов каждого из элементов исследуемой схемы, повысит качество анализа электронных схем, сократит сроки выполнения работ и снизит количество ошибок, связанных с человеческим фактором.



Рисунок 2 – Главное окно программы с подготовленным заданием

Список литературы

- 1 СТБ EN 50126-1-2011. Железные дороги. Требования и подтверждение надежности, пригодности к эксплуатации, ремонтпригодности и безопасности. Часть 1. Основные требования и общий процесс. – Введ. 2011-08-01.
- 2 СТБ ИЕС 62425-2011. Железные дороги. Системы связи, сигнализации и обработки данных. Электронные системы сигнализации, связанные с безопасностью. – Введ. 2011-08-01.
- 3 ГОСТ 33432-2015. Безопасность функциональная. Политика, программа обеспечения безопасности. Доказательство безопасности объектов железнодорожного транспорта. – Введ. 2016-09-01.
- 4 ГОСТ 33433-2015. Безопасность функциональная. Управление рисками на железнодорожном транспорте. – Введ. 2016-09-01.
- 5 ГОСТ 34012-2016. Аппаратура железнодорожной автоматики и телемеханики. Общие технические требования. – Введ. 2017-10-01.
- 6 Бочков, К. А. Микропроцессорные системы автоматики на железнодорожном транспорте : учеб. пособие / К. А. Бочков, А. Н. Коврига, С. Н. Харлап. – Гомель : БелГУТ, 2013. – 254 с.
- 7 ГОСТ Р 51901.12-2007. (МЭК 60812:2006). Менеджмент риска. Метод анализа видов и последствий отказов. – Введ. 2008-09-01.
- 8 The open source Spice circuit simulator [Электронный ресурс] : сайт. – Режим доступа : <http://ngspice.sourceforge.net/>. – Дата доступа : 25.09.2020.

УДК 656.2.08

П. М. БУЙ, кандидат технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель.

ОЦЕНКА РИСКОВ КИБЕРБЕЗОПАСНОСТИ ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Приведены особенности обеспечения кибербезопасности инфокоммуникационных систем железнодорожного транспорта. Обоснована необходимость обеспечения как информационной, так и функциональной безопасности инфокоммуникационных систем. Даны понятия угрозы кибербезопасности, уязвимости инфокоммуникационной системы, кибератаки, риска и киберзащитности. Предложен метод оценки рисков кибербезопасности инфокоммуникационных систем железнодорожного транспорта. Приведены необходимые критерии и рекомендации по баллам, выставляемым экспертами. Представлена методика оценки киберзащитности инфокоммуникационных систем железнодорожного транспорта.

Белорусская железная дорога призвана обеспечивать потребности государства, юридических и физических лиц в железнодорожных перевозках, а также работах и услугах, оказываемых железнодорожным транспортом. В связи с этим железнодорожный комплекс Республики Беларусь имеет особое стратегическое значение, являясь связующим звеном единой экономической системы и обеспечивая стабильную деятельность промышленных предприятий. Кроме того, это еще и самый доступный вид транспорта для граждан Республики Беларусь.

В последнее время в рамках стремительной информатизации и компьютеризации на Белорусской железной дороге вводятся в эксплуатацию современные инфокоммуникационные системы. Инфокоммуникационная система – это совокупность технических средств, обеспечивающих сбор, хранение, обработку, распределение, передачу и прием информации. В сфере железнодорожного транспорта довольно часто инфокоммуникационные системы используются не только для передачи и обработки информации, но и для организации автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП).

Концепция информационной безопасности Республики Беларусь указывает на то, что повсеместное функционирование объектов транспорта с автоматизированными системами управления ставит в прямую зависимость от их надежности и защищенности жизнь и здоровье населения, экологическую и социальную безопасность [1].

Вместе с тем процессы информатизации и компьютеризации, а также использование современных сетевых технологий при организации управления на Белорусской железной дороге таят в себе множество потенциальных опасностей, область реализации которых касается исключительно сферы высоких технологий. При отсутствии адекватной системы защиты опасности такого рода могут привести к нарушению штатной работы систем управления и, как следствие, ухудшению уровня безопасности движения поездов.

В таких условиях обязательным является проведение анализа этих опасностей, характерных как для самих инфокоммуникационных систем, так и для среды их функционирования.

Безопасность инфокоммуникационных систем железнодорожного транспорта – это их защищенность от случайного или преднамеренного вмешательства в штатный процесс их функционирования. В общем случае речь идет о функциональной безопасности инфокоммуника-

ционной системы, когда важным является выполнение системой поставленных перед ней задач. Если же в инфокоммуникационной системе содержится информация, предоставление и (или) распространение которой ограничено, то в таком случае речь идет также и об информационной безопасности.

В соответствии с [1] кибербезопасность – это состояние защищенности инфокоммуникационной системы и содержащейся в ней информации от внешних и внутренних угроз.

Понятие кибербезопасности включает в себя защищенность информации, которая обрабатывается инфокоммуникационной системой (информационная безопасность), так и защищенность процесса функционирования самой инфокоммуникационной системы (функциональная безопасность). Причем для железнодорожного транспорта вторая составляющая кибербезопасности является более актуальной. Это связано с тем, что часть АСУ ТП железнодорожного транспорта вообще может не использовать информацию, предоставление и (или) распространение которой ограничено, и при этом выполнять задачи, связанные с безопасностью движения поездов. Для таких систем мероприятия по обеспечению информационной безопасности фактически сводятся к функциям разграничения доступа и аудита выполняемых пользователем АСУ ТП операций.

В реальной среде функционирования любой инфокоммуникационной системы независимо от нее существует множество угроз ее кибербезопасности. Угроза кибербезопасности – возможное воздействие на инфокоммуникационную систему, которое прямо или косвенно может нанести ущерб ее кибербезопасности.

Совокупность всех угроз $T = \{T_1, T_2, \dots, T_m\}$ (от англ. *threat*), которые в той или иной степени могут нанести ущерб безопасности инфокоммуникационной системе, формируют реальную среду ее функционирования. Именно на такое функционирование следует рассчитывать при эксплуатации инфокоммуникационной системы. Любая угроза не может существовать сама по себе – у нее должен быть источник.

Источники угрозы – это потенциальные антропогенные, техногенные или стихийные носители угрозы кибербезопасности. Таким образом, источником угрозы могут являться [2]:

- субъекты, потенциальные неумышленные или преднамеренные действия которых могут нанести ущерб кибербезопасности инфокоммуникационной системы;
- технические средства – аппаратные, программные или аппаратно-программные средства и комплексы, от-

казы которых или наличие в их реализации логических ошибок может привести к нарушению кибербезопасности инфокоммуникационной системы;

– стихийные явления – стихийные бедствия, частично или полностью препятствующие функционированию инфокоммуникационной системы.

Сами по себе угрозы не опасны для инфокоммуникационной системы. Сосуществуя совместно с ней, угрозы могут вовсе не причинять ущерба ее кибербезопасности. Опасность для инфокоммуникационной системы представляют только те угрозы, для которых инфокоммуникационная система является уязвимой, или, иными словами, обладает определенными уязвимостями, через которые источники угроз могут реализовать свои угрозы в обход системы защиты информации и нанести ущерб владельцу инфокоммуникационной системы.

Уязвимость инфокоммуникационной системы – это присущая ей причина, приводящая к нарушению ее кибербезопасности.

Совокупность уязвимостей инфокоммуникационной системы $V = \{V_1, V_2, \dots, V_k\}$ (от англ. *vulnerability*) ограничивает сферу ее эксплуатации и режимы функционирования. Максимально полное представление об уязвимостях инфокоммуникационной системы позволяет применить адекватные меры по их минимизации и тем самым устранить возможные последствия от воздействия угроз.

При наличии множества уязвимостей инфокоммуникационной системы и множества угроз ее кибербезопасности в реальных условиях функционирования велика вероятность реализации одной из таких угроз через какую-либо уязвимость.

В соответствии с [1] кибератака – это целенаправленное воздействие программных и (или) программно-аппаратных средств на инфокоммуникационную систему в целях нарушения и (или) прекращения ее функционирования и (или) создания угрозы безопасности обрабатываемой такой системой информации. Для того, чтобы произошла кибератака, необходимо, чтобы реализовалась конкретная угроза при взаимодействии источника данной угрозы с конкретной уязвимостью инфокоммуникационной системы в обход системы защиты информации (рисунок 1). Для каждой из угроз кибербезопасности инфокоммуникационной системы можно определить подмножество уязвимостей $VT \subseteq V$, через которые данная угроза может реализоваться.

Риск – это мера, определяющая возможность нанесения ущерба владельцу инфокоммуникационной системы посредством реализации угроз кибербезопасности через установленные уязвимости инфокоммуникационной системы [3].

Для количественной оценки риска используется следующая формула:

$$R = P_A U, \quad (1)$$

где R – риск от реализации угрозы; P_A – вероятность реализации угрозы; U – величина ущерба.

Вероятность реализации угрозы состоит из вероятности появления источника угрозы и его готовности атаковать, а также включает вероятности наличия у инфокоммуникационной системы подходящей уязвимости и ее доступность для угрозы:

$$P_A = P_{ут} P_{уяз} \quad (2)$$

где $P_{ут}$ – вероятность появления источника угрозы и его готовности атаковать; $P_{уяз}$ – вероятность наличия у инфокоммуникационной системы подходящей уязвимости и ее доступность для угрозы.

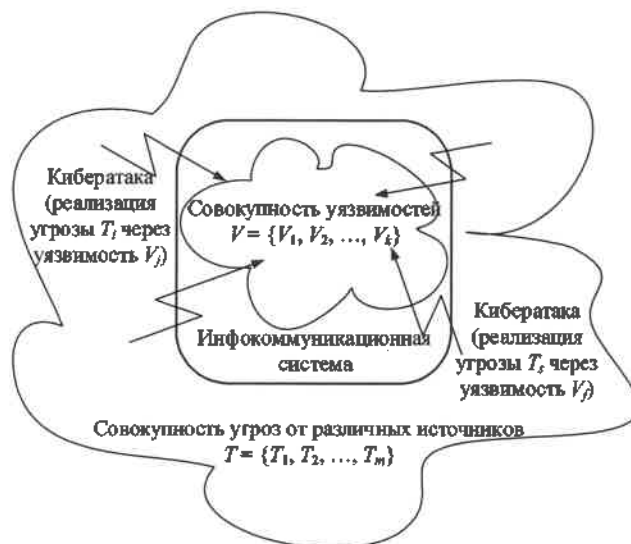


Рисунок 1 – Совокупности угроз и уязвимостей кибербезопасности инфокоммуникационной системы

Уровень киберзащищенности инфокоммуникационной системы – это мера, которая определяет возможность предотвращения ущерба, наносимого владельцу инфокоммуникационной системы, вследствие использования конкретного комплекса средств защиты информации при реализации угроз кибербезопасности через установленные уязвимости инфокоммуникационной системы.

Уровень киберзащищенности определяется по следующей формуле:

$$Z = \frac{1}{P_A U P_{псз}}, \quad (3)$$

где Z – киберзащищенность инфокоммуникационной системы от воздействия конкретной угрозы; $P_{псз}$ – вероятность преодоления средства защиты информации инфокоммуникационной системы в процессе реализации угрозы.

При анализе киберзащищенности инфокоммуникационной системы от нескольких угроз оценка уровня киберзащищенности будет рассчитываться по следующей формуле:

$$Z = \frac{N}{\sum_{i=1}^N (P_{Ai} U_i P_{псзi})}, \quad (4)$$

где N – количество угроз.

Существует четыре метода оценки эффективности кибербезопасности, основанных на анализе рисков [3]:

– базовый метод основан на использовании стандартов информационной безопасности;

– метод детального анализа рисков предполагает систематический анализ исходных данных для конкретной инфокоммуникационной системы с целью оценки рисков нарушения ее кибербезопасности и выбора средств защиты, соответствующих заданным требованиям;

– экспертный метод основан на проведении неформального анализа рисков, результат которого основан на знаниях и опыте экспертов;

– *комбинированный метод* предполагает использование в различных сочетаниях трех предыдущих методов.

Первые три метода имеют свои преимущества и недостатки. Первый метод прост и надежен, однако опирается на базовый набор требований, предполагает использование штатных методов защиты информации и, в основном, рассматривает угрозы информационной безопасности. Второй метод достаточно сложен в реализации, требует максимальных затрат времени и усилий. Третий метод достаточно субъективен и не систематичен.

В связи с этим для инфокоммуникационных систем железнодорожного транспорта будет оптимальным использовать комбинированный метод оценки эффективности кибербезопасности. При этом, опираясь на действующие стандарты информационной безопасности (базовый метод), детально прорабатываются риски кибербезопасности инфокоммуникационной системы с учетом множества угроз ее кибербезопасности (метод детального анализа рисков), а для оценки вероятностей реализации угроз через конкретные уязвимости в обход системы защиты, а также величины возможного ущерба, который будет при этом нанесен, используется экспертная оценка (экспертный метод).

Оценку рисков кибербезопасности инфокоммуникационной системы железнодорожного транспорта следует начать с определения множества угроз кибербезопасности. Для каждой из угроз экспертам предлагается дать оценку по двум критериям:

– критерий C_1 (от англ. *Criterion*) – возможность возникновения источника угрозы в достаточном окружении от инфокоммуникационной системы для реализации угрозы (если возможность возникновения источника угрозы высока, то эксперт ставит высокую оценку, если мала – низкую);

– критерий C_2 – степень готовности источника угрозы реализовать угрозу.

Критерии оцениваются экспертами по десятибалльной шкале (дискретно от 1 до 10).

Следующим шагом является определение множества уязвимостей инфокоммуникационной системы. Для каждой уязвимости экспертам предлагается дать оценку также по двум критериям:

– критерий C_3 – распространенность уязвимости по инфокоммуникационной системе или частота ее появления;

– критерий C_4 – доступность уязвимости для реализации через нее угроз.

Затем для каждой из угроз определяется подмножество уязвимостей, через которые угроза может быть реализована (таблица 1). Угрозы, для которых подмножество уязвимостей является пустым, удаляются из списка угроз. Для каждой уязвимости из подмножества экспертами определяется критерий C_5 – фатальность от реализации угрозы источником угрозы через уязвимость инфокоммуникационной системы.

Таблица 1 – Выбор подмножеств уязвимостей инфокоммуникационной системы для конкретных угроз

Угрозы кибербезопасности	Уязвимость инфокоммуникационной системы					
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	и т. д.
№ 1	×	×	×			
№ 2		×		×	×	
№ 3						
№ 4	×		×			
и т. д.						

Оценка риска от реализации каждой из угроз при использовании оценок экспертов производится по следующей формуле:

$$R_i = \frac{\sum_{j=1}^M C_{1j} \sum_{j=1}^M C_{2j} \sum_{j=1}^M C_{3j} \sum_{j=1}^M C_{4j} \sum_{j=1}^M C_{5j}}{M^5}, \quad (5)$$

где M – количество экспертов; C_{ij} – значение i -го критерия, выставленного j -м экспертом.

В формуле (5) в отличие от формул (1) и (2) применяются не значения вероятностей и величины ущерба, а оценки экспертов, что не позволит получить уровень ущерба в единицах, в которых измеряется ущерб. Однако это позволит сопоставлять уровень нанесенного ущерба владельцу инфокоммуникационной системы посредством реализации разного набора угроз кибербезопасности. В формуле (5) критерии C_1 и C_2 соответствуют P_{yr} из формулы (2), C_3 и C_4 – P_{yaz} из этой же формулы, а C_5 – U из формулы (1).

При наличии M экспертов для упрощения формулы (5) критерии C_1 и C_2 удобно представить параметром C_{yr} :

$$C_{yr} = \sum_{j=1}^M C_{1j} \cdot \sum_{j=1}^M C_{2j}. \quad (6)$$

Критерии C_3 , C_4 и C_5 выбираются только для одной из уязвимостей подмножества. Эта уязвимость имеет максимальное значение произведения данных критериев, выставленных всеми экспертами и для удобства представляется параметром C_{yaz} :

$$C_{yaz} = \sum_{j=1}^M C_{3j} \cdot \sum_{j=1}^M C_{4j} \cdot \sum_{j=1}^M C_{5j} \rightarrow \max. \quad (7)$$

При таком расчете максимальное значение риска реализации угрозы при выставлении экспертами только максимальных баллов по всем критериям будет равно 10^5 . Минимальное значение риска (все эксперты выставили только минимальные баллы) – 1.

При оценке фатальности (критерий C_5) от реализации угрозы для инфокоммуникационных систем железнодорожного транспорта, специфика которых была указана выше, важно не только принимать во внимание нарушение информационной безопасности, но также учитывать и функциональную безопасность. В таблице 2 представлены рекомендации для экспертов при выставлении баллов по данному критерию исходя из соображений первоочередности важности обеспечения функциональной безопасности для объектов железнодорожного транспорта.

Таблица 2 – Значения баллов критерия фатальности от реализации угрозы

Балл	Уровень нарушения кибербезопасности инфокоммуникационной системы					
	нарушение конфиденциальности информации	нарушение доступности информации	нарушение сохранности информации	нарушение целостности и подлинности информации	частичное нарушение функциональной безопасности	выход из строя инфокоммуникационной системы
1	+					
2		+				
3			+			
				+		

Балл	Уровень нарушения кибербезопасности инфокоммуникационной системы					
	нарушение конфиденциальности информации	нарушение доступности информации	нарушение сохранности информации	нарушение целостности и подлинности информации	частичное нарушение функциональной безопасности	выход из строя инфокоммуникационной системы
4	+			+		
		+		+		
			+	+		
	+	+		+		
		+	+	+		
5	+	+	+	+		
6			+		+	
		+			+	
	+				+	
7	+	+			+	
		+	+		+	
	+		+		+	
8	+			+	+	
		+		+	+	
			+	+	+	
	+	+		+	+	
		+	+	+	+	
9	+	+	+	+	+	
10						+

Для оценки уровня киберзащищенности инфокоммуникационной системы необходимо ввести дополнительный критерий C_6 – степень преодоления средства защиты информации в процессе реализации угрозы. Для оценки эффективности киберзащищенности можно выбирать отдельные средства защиты информации или их комбинации. Для каждого средства защиты информации эксперты также по десятибалльной шкале (дискретно от 1 до 10) определяют критерий C_6 . При комбинировании средств защиты информации используется только одно максимальное значение данного критерия из его значе-

Получено 30.09.2020

P. M. Bui. Assessment of the cybersecurity risks infocommunication's systems of railway transport.

The features of ensuring the cybersecurity of infocommunication systems of railway transport are given. The necessity of ensuring both information and functional security of infocommunication systems has been substantiated. The concepts of cybersecurity threat, vulnerability of infocommunication system, cyberattack, risk and cyber security are given. A method for assessing the risks of cybersecurity infocommunication's systems of railway transport is proposed. The necessary criteria and recommendations for the points given by the experts are presented. Presents a methodic for assessing the cyber security of infocommunication systems of railway transport.

ний для каждого из средств защиты информации по отдельности. При наличии M экспертов для упрощения данный критерий удобно представить параметром $C_{сзи}$:

$$C_{сзи} = \sum_{j=1}^M C_{сзj} \tag{8}$$

Используя формулы (3) и (5)–(8), значение уровня киберзащищенности инфокоммуникационной системы от одной из угроз определим по формуле

$$Z = \frac{M^6}{C_{уг} C_{уяз} C_{сзи}} \tag{9}$$

Тогда при анализе киберзащищенности инфокоммуникационной системы от нескольких угроз оценка уровня киберзащищенности будет рассчитываться по следующей формуле:

$$Z = \frac{NM^6}{\sum_{i=1}^N (C_{угi} C_{уязi} C_{сзиi})} \tag{10}$$

Такой подход позволяет количественно сравнить уровень киберзащищенности инфокоммуникационных систем железнодорожного транспорта при использовании различных систем защиты информации и их комбинаций. При оценке уровня киберзащищенности инфокоммуникационной системы без использования средств защиты информации параметр $C_{сзи}$ в формуле (9) и $C_{сзиi}$ в формуле (10) следует принять равными 10.

Список литературы

- 1 О Концепции информационной безопасности Республики Беларусь : постановление Совета безопасности Республики Беларусь, 18 марта 2019 г. № 1 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь [Электронный ресурс] / Нац. центр правовой информации Респ. Беларусь. – Минск, 2019.
- 2 Буй, П. М. Методика перекрестной оценки угроз и уязвимостей безопасности объектов информатизации железнодорожного транспорта / П. М. Буй, С. Г. Кульгавик // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2017. – № 2 (35). – С. 40–43.
- 3 Анищенко, В. В. Методы оценки эффективности защиты активов в объектах информационных технологий / В. В. Анищенко, А. М. Криштофик // Информатика. – 2004. – № 3. – С. 95–105.

УДК 656.25

Д. В. КОМНАТНЫЙ, кандидат технических наук, Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого

ВЕРОЯТНОСТНО-ЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ

Предложена методика вероятностно-логического анализа помехоустойчивости микросистем и микропроцессорных систем обеспечения безопасности движения поездов в данной электромагнитной обстановке. Указанная методика является необходимой составляющей системного подхода к исследованию систем обеспечения безопасности. Рассмотрен способ оценки риска эксплуатации указанных систем, позволяющий качественно классифицировать значения риска на научной основе. Обсуждаются способы расчета показателей помехоустойчивости и риска по характеристикам электромагнитной обстановки и параметрам аппаратуры систем железнодорожной автоматики.

На современном этапе развития систем железнодорожной автоматики и телемеханики (СЖАТ) происходит не просто широкое внедрение микропроцессорных и микросистемных систем, но переход к новым концепциям разработки и эксплуатации систем управления движением поездов – цифровизации и интеллектуализации. Это объясняется необходимостью на новом уровне решить две основные задачи функционирования железнодорожного транспорта: обеспечение требуемой провозной способности и высокого уровня безопасности движения поездов. Наиболее эффективным путем решения этих задач является создание комплексной системы управления и обеспечения безопасности движения поездов. В современных условиях повышение безопасности движения требует не только развития традиционных систем ЖАТ, но и привлечения дополнительных ресурсов на основе информационных технологий и цифровых систем. Таким образом, на базе систем СЦБ организуется система обеспечения безопасности движения, а на базе АСУ – система управления процессами перевозок. Взаимодействуя между собой, эти системы образуют комплексную систему управления; кроме того независимо они выходят на региональный уровень управления. Следовательно, система управления процессами перевозок в настоящее время является единым комплексом, основанным на единой вычислительной среде и единой цифровой сети. В ней образуются три контура безопасности. Первый – централизованный, он заключается в централизации управления маршрутами и координатного управления в диспетчерском центре управления. Второй – децентрализованный, его образуют системы СЦБ и технической диагностики. Третий – бортовой, в составе которого имеются системы АЛС и автоведения [1, 2]. Архитектура современной цифровой сети передачи данных отличается наличием большого числа электронной аппаратуры, а именно: главных станций, распределительных узлов (хаб), узлов доступа (нод), усилителей [3].

Вместе с тем микросистемная элементная база оказывается весьма чувствительна к электромагнитным помехам. Это связано с увеличением сложности схемотехнических решений, наряду с уменьшением габаритов, увеличением плотности монтажа, повышением быстродействия и расширением спектров сигналов,

уменьшением потребляемой мощности электронных элементов [3].

Таким образом, налицо ухудшение электромагнитной обстановки на объектах СЦБ и обострение проблемы электромагнитной совместимости. Последствия воздействия электромагнитных помех сравнимы с последствиями отказов аппаратуры и ошибками программного обеспечения и заключаются в том, что системы ЖАТ не могут обеспечивать требуемый уровень безопасности движения.

Указанные системы являются сложными человеко-машинными системами с высокой зависимостью от конфигурации и количества объектов управления. Поэтому для строгого решения проблемы электромагнитной совместимости необходимы адекватные методы и модели. Используемый для систем, построенных на реле I класса надежности, метод экспертных оценок для систем микросистемных и микропроцессорных оказывается недостаточным [4].

Для анализа и проектирования сложных радиотехнических систем и систем автоматического управления наиболее адекватным является системный подход. В нем предполагается, что предметом исследования является сложное взаимодействие многих подсистем между собой и с окружающей средой. При этом необходимо учитывать случайные изменения, отклонения параметров и характеристик этих подсистем, что невозможно без использования вероятностных методов. Такое заключение особенно справедливо для проблемы электромагнитной совместимости, так как ошибки, помехи, помехоустойчивость являются случайными величинами [5].

В литературе по анализу безопасности систем управления ответственными технологическими процессами (атомные электростанции, железнодорожные станции и узлы, космические комплексы) описана применяемая разными авторами независимо методика вероятностно-логического анализа безопасности [6–8]. Представляется, что эта методика достаточно апробирована практикой, таким образом, может использоваться и для решения проблемы электромагнитной совместимости систем обеспечения безопасности движения поездов (СОБД).

На основании указанных работ, а также [9] можно записать логическое условие успешного функционирования объекта железнодорожного транспорта, на котором осуществляется движение поездов (станции, перегона, блок-участка):

$$A = A_{\text{ПС}} \wedge A_{\text{ПП}} \wedge A_{\text{СЖАТ}} \wedge A_{\text{Ч}}, \quad (1)$$

где $A, A_{\text{ПС}}, A_{\text{ПП}}, A_{\text{СЖАТ}}, A_{\text{Ч}}$ – событие успешного функционирования соответственно подвижного состава, пути, систем ЖАТ, персонала.

В рамках данной статьи рассматривается только событие успешного функционирования СОБД. С учетом того, что современные системы обеспечения безопасности состоят из нескольких подсистем различной функциональности и являются распределенными, событие $A_{\text{СЖАТ}}$ можно представить в следующем виде [7]:

$$A_{\text{СЖАТ}} = B_1 \wedge B_2 \wedge B_3 \wedge \dots \wedge B_j, \quad j \in (1 \dots m), \quad (2)$$

где B_j – событие успешного функционирования подсистемы номер j в данной электромагнитной обстановке (ЭМО); m – число подсистем в данной СОБД.

Выражение (2) является первым приближением, допустимым, тем не менее для описания широкого набора систем ЖАТ. Более точные представления события $A_{\text{СЖАТ}}$ могут быть получены путем анализа структуры системы ЖАТ методами вероятностно-логического моделирования [6, 7].

При рассмотрении вопросов электромагнитной совместимости каждое событие B_j можно представить следующим образом:

$$B_j = G_{1j} \wedge G_{2j} \wedge G_{3j} \wedge \dots \wedge G_{lj}, \quad l \in (1 \dots k), \quad (3)$$

где G_{lj} – событие успешного выполнения подсистемой j ее функций под действием l -го типа помех; k – число помех, действующих на подсистему j .

Тогда вероятность успешного функционирования СОБД в данной электромагнитной обстановке для событий (2) и (3)

$$P(B) = 1 - \prod_{j=1}^m \left(\prod_{l=1}^k P(G_{lj}) \right), \quad (4)$$

где $P(G_{lj})$ – вероятность отказа подсистемы j под действием l -го типа помех.

Степень безопасности сложной технической системы оценивается вероятностью ее успешного функционирования

$$C = P(B). \quad (5)$$

Однако в теории систем ЖАТ принято оценивать помехоустойчивость СОБД вероятностью сбоя системы в данной ЭМО

$$P_{\text{сб}} = 1 - P(B) = Q(B). \quad (6)$$

Для систем управления ответственными технологическими процессами весьма популярна оценка технологического риска эксплуатации этих систем

$$R = 1 - C = Q(B), \quad (7)$$

и, как следует из (5), применительно к системам железнодорожной автоматики риск их эксплуатации в данной ЭМО оценивается следующим образом:

$$R = P_{\text{сб}}. \quad (8)$$

Для СОБД такая оценка является наиболее адекватной, поскольку:

– отказы или сбои в СОБД случаются с очень малой интенсивностью, но последствия каждого отказа могут нести значительную опасность;

– последствия отказа или сбоя столь велики, что необходимо минимизировать возможность отказа или сбоя;

– экономические последствия отказа или сбоя чрезвычайно велики;

– существует угроза здоровью и жизни большого числа людей (пассажиры и работники железной дороги).

Тем не менее рассмотренная оценка помехоустойчивости аппаратуры СЖАТ и риска эксплуатации СЖАТ в данной ЭМО не удобна для нормирования. По ней затруднительно установить границы допустимого риска, поэтому в различных странах количественная и качественная оценка приемлемого риска устанавливается не технически, а политически, на основе концепции, особенной в каждом отдельно взятом государстве [10]. Для исключения такого ненаучного вмешательства может применяться оценка риска по [11], где в качестве указанной оценки принято отношение вероятности сбоя к вероятности безотказной работы. Так как сумма этих вероятностей равна единице, то оценка риска определяется по формуле

$$R = \frac{1}{\frac{1}{P_{\text{сб}}} - 1}. \quad (9)$$

Для значений риска выделяются следующие условия эксплуатации:

– $0 < R < 1$ – ограниченная безопасность;

– $R = 1$ – критическое состояние, наличие отказов;

– $R > 1$ – опасное состояние, угроза аварии;

– $R \gg 1$ – запредельное состояние, угроза катастрофы.

Наличие в данной оценке риска качественной классификации условий эксплуатации упрощает нормирование риска эксплуатации СЖАТ и уровня помехоустойчивости СЖАТ в ЭМО на месте эксплуатации.

Вероятности $P(G_{lj})$ отказа (сбоя) аппаратуры микроэлектронных и микропроцессорных СЖАТ под действием электромагнитных помех могут быть вычислены методом «нагрузка – устойчивость» по методике, разработанной в [12]. В общем случае вероятность сбоя вычисляется по формуле

$$P_{\text{сб}} = \int_0^{\infty} p(y) P(x) dy, \quad (10)$$

где y – характеристика помех; x – характеристика помехоустойчивости; $p(y)$ – плотность вероятности распределения характеристики помех; $P(x)$ – функция распределения помехоустойчивости.

Для практических расчетов по методике «нагрузка – устойчивость» необходимы наиболее адекватные и удобные характеристики помех и помехоустойчивости. В качестве таких характеристик целесообразно выбрать энергию помех, рассеиваемую во входных цепях элементной базы узлов аппаратуры СЖАТ. Как известно, энергия помех определяется по формуле

$$W = \frac{1}{R_{\text{вх}}} \int_0^{\tau} u^2(t) dt, \quad (11)$$

где W – энергия помех, Дж; $R_{\text{вх}}$ – входное сопротивление, Ом; τ – длительность импульса помехи, с; $u(t)$ – выражение формы импульса; t – время, с.

Из формулы (11) видно, что такая характеристика электромагнитных помех зависит от формы, амплитуды и длительности импульса помех, а также от свойств электронной аппаратуры рецептора помех, которые обуславливают ее помехоустойчивость. Следовательно, оказываются принятыми во внимание все основные факторы, от которых зависит помехоустойчивость аппаратуры СЖАТ.

Кроме того, допустимо считать, что отказ или сбой электронных технических средств происходит с вероятностью, равной 1, если энергия помехи превосходит некоторый пороговый уровень. Это обстоятельство позволяет использовать функцию распределения помехоустойчивости простой математической формы

$$P(W) = \begin{cases} 0 & W < W_{\text{пор}} \\ 1 & W \geq W_{\text{пор}} \end{cases} = e(W - W_{\text{пор}}), \quad (12)$$

где $W_{\text{пор}}$ – пороговое значение энергии помех, Дж; e – единичная функция.

Выражение (12) в свою очередь позволяет упростить выражение (10) для $P_{\text{об}}$, используя свойство аддитивности несобственных интегралов,

$$P_{\text{об}} = \int_{W_{\text{пор}}}^{\infty} p(W) dW. \quad (13)$$

При выполнении расчетных оценок необходимо учитывать характеристики канала распространения помех, источника и рецептора помех, от которых зависят параметры импульса помехи на входе рецептора. В [13] отмечается, что эта задача может быть решена только приближенным методом разложения в ряд Эджворта по полиномам Эрмита. Причем расчет коэффициентов требует многократного вычисления несобственных интегралов. С другой стороны, в [3] указывается, что распределение поглощаемой при воздействии электростатического разряда на микроэлектронные узлы энергии подчиняется закону Гаусса. Поэтому для упрощения аппарата модели, не снижающего ее адекватности, допустимо применить метод линеаризации. В этом методе предполагается, что случайная величина, зависящая от множества других случайных величин, подчиняется нормальному закону распределения плотности вероятности. Параметры этого закона [14] применительно к поглощаемой в узлах рецептора энергии помех определяются по формуле

$$W_{\mu} = W(U_{\mu}, \tau_{\mu}, \alpha_{\mu}, R_{\text{вх}}) \quad (14)$$

и дисперсией

$$\sigma_W = \frac{\partial W}{\partial U} \sigma_U + \frac{\partial W}{\partial \tau} \sigma_{\tau} + \frac{\partial W}{\partial \alpha} \sigma_{\alpha} + \frac{\partial W}{\partial R} \sigma_R, \quad (15)$$

где W_{μ} – математическое ожидание энергии помехи, Дж; U_{μ} – математическое ожидание амплитуды помехи, В; τ_{μ} – математическое ожидание длительности помехи, с; α_{μ} – математическое ожидание временных параметров помехи, с⁻¹; $R_{\text{вх}}$ – математическое ожидание входного сопротивления рецептора, Ом; $\sigma_W, \sigma_U, \sigma_{\tau}, \sigma_{\alpha}, \sigma_R$ – дисперсии энергии, амплитуды, длительности, временных параметров помехи и входного сопротивления рецептора.

Тогда вероятность сбоя легко определить по известному из теории вероятности соотношению

$$P_{\text{об}} = \frac{1}{2} - \Phi\left(\frac{W_{\text{пор}} - W_{\mu}}{\sigma_W}\right). \quad (16)$$

Из (14) и (15) следует, что параметры закона распределения плотности вероятности энергии помех зависят от параметров распределения плотности вероятности большого числа случайных величин. Математические ожидания этих величин могут быть найдены расчетным путем по известным моделям каналов распространения помех [15]. Расчет дисперсий более сложен. Наиболее трудоемким является способ расчета гистограмм распределения параметров помех на входе рецептора и определения закона распределения и его параметров, который реализован в [16]. Зачастую значения дисперсий принимаются из опытных данных или определяются через стандартный коэффициент вариации [17]. Например, для амплитуды импульса дисперсия определяется следующей формулой:

$$\sigma_U = \delta_U U_{\mu}, \quad (17)$$

где δ_U – коэффициент вариации.

Также допустимо некоторые из величин считать детерминированными и значение их принять по принципу наилучших условий. К таким величинам относятся первичные электрические параметры каналов проникновения помех, входные сопротивления рецепторов и др. [18].

Изложенная методика вероятностного анализа помехоустойчивости СЖАТ позволяет учитывать структуру системы, свойства элементной базы, типы помех, воздействующих на систему, характеристики каждого типа помех. В ней отражена вероятностная природа, как параметров помех, так и параметров помехоустойчивости систем. Методика позволяет оценивать и помехоустойчивость СЖАТ, и последствия воздействия помех на эти системы путем расчета риска эксплуатации. Методика является составной частью системного подхода к анализу электромагнитной совместимости сложных технических систем. Полученные результаты могут найти применение при доказательстве безопасности СЖАТ и при принятии решений управления риском эксплуатации СЖАТ [10]. Поэтому данная методика может использоваться в практике работы конструкторских организаций и испытательных лабораторий железнодорожного транспорта.

Список литературы

- 1 Рогачева, И. Л. Эксплуатационная надежность систем электрической централизации нового поколения / И. Л. Рогачева. – М. : Маршрут, 2006. – 230 с.
- 2 Высокоскоростной железнодорожный транспорт. Общий курс. В 2 т. / И. П. Киселев [и др.]. – М. : ФБГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2014. – Т. 1. – 398 с.
- 3 Соколов, С. А. Воздействие внешних электромагнитных полей на оптические кабели связи и гибридные линии / С. А. Соколов. – М. : Горячая линия – Телеком, 2018. – 214 с.
- 4 Бочков, К. А. Микропроцессорные системы автоматики на железнодорожном транспорте / К. А. Бочков, А. Н. Коврига, С. Н. Харлап. – Гомель : БелГУТ, 2013. – 254 с.
- 5 Пестряков, Б. В. Радиотехнические системы / Б. В. Пестряков, В. Д. Кузнецов. – М. : Радио и связь, 1985. – 376 с.
- 6 Лисенков, В. М. Статистическая теория безопасности движения поездов / В. М. Лисенков. – М. : ВИНТИ РАН, 1999. – 332 с.

7 Острейковский, В. А. Безопасность атомных станций. Вероятностный анализ / В. А. Острейковский, Ю. В. Швыряев. – М. : Физматлит, 2008. – 252 с.

8 Шибанов, Г. П. Обитаемость космоса и безопасность пребывания в нем человека / Г. П. Шибанов. – М. : Машиностроение, 2007. – 544 с.

9 Комнатный, Д. В. Вероятностное моделирование электромагнитной совместимости систем обеспечения безопасности движения поездов / Д. В. Комнатный // Транспорт: Наука, техника, управление. – 2011. – № 9. – С. 25–27.

10 Малкин, В. С. Надежность технических систем и техногенный риск / В. С. Малкин. – Ростов н/Д : Феникс, 2010. – 432 с.

11 Сосновский, Л. А. Риск. Механотермодинамика необратимых повреждений / Л. А. Сосновский. – Гомель : БелГУТ, 2004. – 317 с.

12 Бочков, К. А. Элементы моделирования электромагнитной совместимости устройств железнодорожной автома-

тики и телемеханики / К. А. Бочков, Д. В. Комнатный. – Гомель : БелГУТ, 2013. – 185 с.

13 Левин, Б. Р. Теоретические основы статистической радиотехники / Б. Р. Левин. – М. : Радио и связь, 1989. – 636 с.

14 Вентцель, Е. С. Теория вероятностей / Е. С. Вентцель. – М. : Высш. шк., 2002. – 575 с.

15 Кравченко, В. И. Грозозащита радиоэлектронных средств / В. И. Кравченко. – М. : Радио и связь, 1990. – 261 с.

16 Арайс, Е. А. Моделирование неоднородных цепей и систем на ЭВМ / Е. А. Арайс, В. М. Дмитриев. – М. : Радио и связь, 1982. – 160 с.

17 Сеницын А. П. Расчет конструкций на основе теории риска / А. П. Сеницын. – М. : Стройиздат, 1985. – 304 с.

18 Лисенков, В. М. Методы анализа и синтеза рельсовых цепей (статистический подход) / В. М. Лисенков. – М. : ВИНТИ РАН, 2014. – 202 с.

Получено 07.10.2020

D. V. Komnatny. Probabilistic-logical analysis of train traffic safety support systems noise immunity.

The method of probabilistic-logical modeling for microelectronic and microprocessor train traffic safety support systems noise immunity in given electromagnetic environment is offered in the article. This method is a part of system approach for safety safety-support systems investigations. The method of shown systems operation risk estimation allowing classify qualitatively the risk values on scientific proof is considered. The methods of risk index calculation on electromagnetic environment and railway automatic systems noise immunity characteristics are discussed.

УДК 656.25

В. Ф. КУСТОВ, кандидат технических наук, Украинский государственный университет железнодорожного транспорта, г. Харьков

РАЗРАБОТКА ТРЕБОВАНИЙ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ДЛЯ УСТРОЙСТВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ

Рассматриваются вопросы разработки требований функциональной безопасности к решающим элементам каналов резервирования, кратным опасным отказам резервированных систем железнодорожной автоматики, а также определения допустимой наработки до опасного отказа каждого канала резервирования максимально допустимого времени устранения опасных отказов в каналах резервирования для достижения заданного уровня функциональной безопасности.

Введение. Обеспечение и доказательство функциональной безопасности систем железнодорожной автоматики является наиболее сложным и дорогостоящим этапом в процессе разработки и обоснованно считается одним из главных факторов возможности допуска их в эксплуатацию. Недостаточный учет отдельных факторов функциональной безопасности, как показывает практика, приводит к значительному ущербу. Так, только из-за просчетов в функциональной безопасности самолета Боинг-737 Max 8 и связанных с ними крупных крушений, унесших 346 жизней, и экономических последствий, ущерб, по оценкам специалистов, для всемирно известной фирмы «Boeing» составил более 20 млрд дол.

Для обеспечения безопасности систем железнодорожной автоматики (СЖА) разработаны нормативные показатели функциональной безопасности (ФБ) для систем в целом, например, [1, 2] и для отдельных их функций безопасности [3, 4]. Также разработаны требования по ФБ к допустимым периодам диагностирования для наиболее часто используемых способов резервирования в СЖА [5]. Учитывая, что во многих случаях ФБ зависит от правильности применения решающих элементов («И», «ИЛИ», «П» из «П»), используемых на выходах и входах каналов резервирования для подачи ответственных сигналов на объекты управления или от объектов контроля, необходимо определять допустимые вероятности или интенсивности опасных отказов этих важных устройств. К сожалению, в некоторых разработках СЖА, даже введенных в эксплуатацию, недопустимо используются варианты решающих элементов «ИЛИ» для подачи управляющих воздействий на стрелочные электродвигатели или лампы разрешающих сигналов светофоров, решающие элементы «И» для подачи сигналов на лампы запрещающих светофоров. В ряде случаев в двух комплектных структурах нагруженного резервирования для обеспечения безопасности используется в каждом комплекте правильный вариант «2» из «2» с решающим элементом «И», но на выходе для повышения готовности используется решающий элемент «ИЛИ», который в 2 раза снижает ФБ СЖА, т. к. позволяет реализовать опасный отказ любого из его комплектов. Это может быть допустимым только при соответствующем запасе по ФБ каждого из комплектов СЖА.

Для обеспечения ФБ важным является также учет кратных отказов, которые могут иметь недопустимую вероятность появления, например из-за одновременного электромагнитного воздействия на все каналы нагру-

женного резервирования (при неконтролируемых отказах помехозащитных средств) или теплового воздействия на них при отказах систем вентиляции или кондиционирования в шкафах управления, а также при эксплуатации электронных компонентов СЖА в напольных конструктивах (путевых ящиках, муфтах и т. п.), допускающих общий недопустимый перегрев в нескольких каналах резервирования одновременно.

Важным является и определение допустимых значений наработки до опасного отказа каждого канала резервирования и времени устранения опасных отказов в каналах резервирования для достижения заданных уровней ФБ.

Целью настоящей статьи является определение допустимых значений функциональной безопасности решающих элементов резервированных структур, кратных отказов каналов резервирования СЖА, допустимых значений наработки до опасного отказа каждого канала резервирования и времени устранения опасных отказов в каналах резервирования при экспоненциальном законе распределения опасных отказов.

1 Определение допустимых значений функциональной безопасности решающих элементов резервированных структур

Максимально допустимое значение периода диагностирования опасных отказов в каждом канале резервирования для наиболее широко применяемых структур систем ЖАТ с мажоритарным резервированием «2» из «3» и нагруженным дублированием «2» из «2» определяется с учетом ФБ решающих элементов и кратных опасных отказов в различных каналах резервирования СЖА согласно работе [5] по следующим выражениям:

$$T_{\lambda,2/3} = \frac{\lambda_{оп,доп} - 6\lambda_{оп,1}^2 T_y - \lambda_{кр,оп} - n_{рз}\lambda_{1,оп,рз} - n_{рз}\lambda_{кр,оп,рз}}{6\lambda_{оп,1}^2}; \quad (1)$$

$$T_{\lambda,2/2} = \frac{\lambda_{оп,доп} - 2\lambda_{оп,1}^2 T_y - \lambda_{кр,оп} - n_{рз}\lambda_{1,оп,рз} - n_{рз}\lambda_{кр,оп,рз}}{2\lambda_{оп,1}^2}, \quad (2)$$

где $\lambda_{оп,доп}$ – допустимая интенсивность опасных отказов устройств или системы в целом (не одной ответственной функции); $\lambda_{оп,1}$ – интенсивность опасных отказов одного канала резервирования; T_y – максимально допустимое гарантированное время устранения опасных отказов элементов в каналах резервирования СЖА или максимально допустимый период времени, за который будет гарантировано обеспечено полное исключение влияния выявленного опасного отказа в канале резервирования на безопасность ее функционирования в целом; $\lambda_{кр,оп}$ – интенсивность кратных опасных отказов каналов резер-

вирования; $n_{рз}$ – количество решающих элементов устройства или системы; $\lambda_{1оп.рз}$ – интенсивность однократных опасных отказов решающего элемента; $\lambda_{кр.оп.рз}$ – интенсивность кратных опасных отказов решающего элемента.

Из этих выражений, с учетом $\lambda_{оп.рз} = \lambda_{1оп.рз} + \lambda_{кр.оп.рз}$ можно определить требования к допустимой общей интенсивности опасных отказов решающих элементов для системы ЖАТ с мажоритарным резервированием «2» из «3» и двухканальной дублированной структуры «2» из «2» с решающим элементом «И» для 1-го класса объектов (у которых опасный отказ наступает при несанкционированном появлении сигнала) и «ИЛИ» для 2-го класса объектов (у которых опасный отказ наступает при несанкционированном пропадании сигнала) соответственно:

$$\lambda_{оп.рз2в3} = \frac{\lambda_{оп.доп} - 6\lambda_{оп.1}^2(T_{д.2в3} + T_y) - \lambda_{кр.оп}}{n_{рз}}; \quad (3)$$

$$\lambda_{оп.рз2в2} = \frac{\lambda_{оп.доп} - 2\lambda_{оп.1}^2(T_{д.2в2} + T_y) - \lambda_{кр.оп}}{n_{рз}}. \quad (4)$$

При различной ФБ каналов резервирования дублированной структуры с нагруженным резервированием общую интенсивность опасных отказов решающих элементов можно определить из формулы для определения минимально допустимого периода диагностирования каждого канала резервирования, приведенной в работе [5]:

$$T_{д.2в2} = \frac{\lambda_{оп.доп} - 2\lambda_{оп.1}\lambda_{оп.2}T_y - \lambda_{кр.оп} - n_{рз}\lambda_{1оп.рз} - n_{рз}\lambda_{кр.оп.рз}}{2\lambda_{оп.1}\lambda_{оп.2}}; \quad (5)$$

где $\lambda_{оп.1}$, $\lambda_{оп.2}$ – интенсивность опасных отказов первого и второго каналов резервирования соответственно.

С учетом $\lambda_{оп.рз} = \lambda_{1оп.рз} + \lambda_{кр.оп.рз}$ получим допустимую интенсивность опасного отказа для решающих элементов дублированной структуры с нагруженным резервированием:

$$\lambda_{оп.рз2в2} = \frac{\lambda_{оп.доп} - 2\lambda_{оп.1}\lambda_{оп.2}(T_{д.2в2} + T_y) - \lambda_{кр.оп}}{n_{рз}}. \quad (6)$$

Необходимо отметить, что в вышеуказанных выражениях коэффициенты 6 и 2 при интенсивностях опасных отказов каждого канала резервирования определяются не исходя из усредненного их значения за период контроля (соответственно коэффициенты 3 и 1), как предлагается во многих публикациях по расчету резервированных структур, а за весь период контроля исходя из наихудших условий, так как к концу периода контроля реальная интенсивность опасных отказов всей структуры будет в 2 раза больше, чем при усредненном значении общей интенсивности опасных отказов резервированной системы за период контроля, что дает недопустимую погрешность в расчетах безопасности.

2 Определение допустимых значений функциональной безопасности кратных отказов каналов резервирования СЖА.

Допустимые значения интенсивностей кратных опасных отказов каналов резервирования для СЖА с мажоритарным резервированием «2» из «3» и двухканальной дублированной структуры «2» из «2» также можно определить из выражений (3) и (4):

$$\lambda_{кр.оп2в3} = \lambda_{оп.доп} - 6\lambda_{оп.1}^2(T_{д.2в3} + T_y) - \lambda_{оп.рз2в3}; \quad (7)$$

$$\lambda_{кр.оп2в2} = \lambda_{оп.доп} - 2\lambda_{оп.1}^2(T_{д.2в2} + T_y) - \lambda_{оп.рз2в2}. \quad (8)$$

При наличии n – числа возможных кратных опасных отказов в резервированной СЖА – допустимые (максимальные) значения их интенсивностей опасных отказов будут рассчитаны следующим образом:

$$\lambda_{кр.оп2в3} = \frac{\lambda_{оп.доп} - 6\lambda_{оп.1}^2(T_{д.2в3} + T_y) - \lambda_{оп.рз2в3}}{n_{кр.оп}}; \quad (9)$$

$$\lambda_{кр.оп2в2} = \frac{\lambda_{оп.доп} - 2\lambda_{оп.1}^2(T_{д.2в2} + T_y) - \lambda_{оп.рз2в2}}{n_{кр.оп}}. \quad (10)$$

3 Определение допустимых значений функциональной безопасности отдельных каналов резервирования.

Минимально допустимые наработки до опасного отказа одного канала резервирования мажоритарной структуры «2» из «3» и двухканальной дублированной структуры «2» из «2» с безопасным решающим элементом «И» предлагается определять, с учетом работ [5–7] и формул (1), (2) по следующим выражениям:

$$T_{оп.1.2в3} = \sqrt{\frac{6(T_d + T_y)}{\lambda_{оп.доп} - \lambda_{кр.оп} - n\lambda_{1оп.рз} - n\lambda_{кр.оп.рз}}}; \quad (11)$$

$$T_{оп.1.2в2} = \sqrt{\frac{2(T_d + T_y)}{\lambda_{оп.доп} - \lambda_{кр.оп} - n\lambda_{1оп.рз} - n\lambda_{кр.оп.рз}}}. \quad (12)$$

При различной ФБ каналов резервирования дублированной структуры, с учетом максимально допустимых фиксированных значений T_d , T_y и $\lambda_{оп.1,max} = const$, $\lambda_{оп.2,max} = const$, минимально допустимая наработка до опасного отказа каждого из каналов резервирования системы определяется следующим образом:

$$T_{оп.1.min} = \frac{2\lambda_{оп.2}(T_d + T_y)}{\lambda_{оп.доп} - \lambda_{кр.оп} - n\lambda_{1оп.рз} - n\lambda_{кр.оп.рз}}; \quad (13)$$

$$T_{оп.2.min} = \frac{2\lambda_{оп.1}(T_d + T_y)}{\lambda_{оп.доп} - \lambda_{кр.оп} - n\lambda_{1оп.рз} - n\lambda_{кр.оп.рз}}. \quad (14)$$

При отсутствии кратных опасных отказов и опасных отказов решающих элементов минимально допустимые наработки до опасного отказа одного канала резервирования мажоритарной структуры «2» из «3» и двухканальной дублированной структуры «2» из «2» с безопасным решающим элементом «И» будут определяться с учетом работ [5–7] по следующим выражениям:

$$T_{оп.1.2в3} = \sqrt{\frac{6(T_d + T_y)}{\lambda_{оп.доп}}}; \quad (15)$$

$$T_{оп.1.2в2} = \sqrt{\frac{2(T_d + T_y)}{\lambda_{оп.доп}}}, \quad (16)$$

Расчет по формулам (15), (16) производится без необходимости определения интенсивности опасных отказов элементов, поэтому при отсутствии кратных опасных отказов и опасных отказов решающих элементов имеет максимальную достоверность.

В случае появления опасного отказа в канале резервирования ранее расчетного значения по формулам (13)–(16) принимается решение о просчетах ФБ на этапах допуска СЖА в эксплуатацию и принимаются экстренные меры по устранению таких просчетов.

Контроль по допустимой наработке до опасного отказа каждого канала резервирования имеет большое значение, так как на каждом этапе доказательства безопасности имеется относительно высокая вероятность получения неверных выводов о реальной ФБ в процессе будущей их эксплуатации, например, по следующим причинам [5]:

- исходные данные для расчета ФБ не всегда имеют требуемую точность;

- стендовые испытания не позволяют провести все необходимые процедуры доказательства безопасности с достаточной достоверностью. Так, например, для крупных станций воспроизвести все технические и программные средства МПЦ на стенде в полном объеме практически невозможно;

- имитационные испытания путем моделирования на компьютере позволяют произвести проверку работоспособности и безопасности как отдельных каналов резервирования, так и их сочетаний, вплоть до проверки системы в целом, но при этом они не позволяют учитывать аппаратные особенности многих устройств и влияние всех дестабилизирующих факторов, а также имеют недостатки, присущие многим имитационным моделям;

- испытания в условиях эксплуатации при малой выборке испытуемых объектов и недостаточного времени испытаний не позволяют получить приемлемые уровни доверительной вероятности по полученным статистическим данным о реальной безопасности систем;

- экспертные оценки даже при высокой квалификации экспертов не могут дать полной информации о достаточности ФБ систем из-за сложности ее доказательства, в том числе и по вышеуказанным причинам.

4 Определение допустимых значений максимального времени устранения опасных отказов в каждом канале резервирования

На базе выражений (1) и (2) можно также определить требования по максимальному времени устранения опасных отказов в каждом канале резервирования мажоритарной структуры «2» из «3» и двухканальной дублированной структуры «2» из «2» для обеспечения задан-

ных требований ФБ по допустимой интенсивности опасных отказов СЖА:

$$T_{2/2,3} = \frac{\lambda_{\text{оп.оп}} - 6\lambda_{\text{оп.1}}^2 T_{\text{д.2/3}} - \lambda_{\text{тр.оп}} - n_{\text{р}} \lambda_{1,\text{оп.р}} - n_{\text{р}} \lambda_{\text{тр.оп.р}}}{6\lambda_{\text{оп.1}}^2}, \quad (17)$$

$$T_{2/2,2} = \frac{\lambda_{\text{оп.оп}} - 3\lambda_{\text{оп.1}}^2 T_{\text{д.2/2}} - \lambda_{\text{тр.оп}} - n_{\text{р}} \lambda_{1,\text{оп.р}} - n_{\text{р}} \lambda_{\text{тр.оп.р}}}{6\lambda_{\text{оп.1}}^2}. \quad (18)$$

Заключение

Разработанные требования функциональной безопасности для устройств железнодорожной автоматики позволяют снизить риск появления опасных отказов и связанных с ними катастроф и аварий. Полученные результаты могут быть полезными не только для применения в сфере железнодорожного транспорта, но и для разработчиков в различных областях создания и эксплуатации систем, связанных с безопасностью (в авиации, космической технике, атомной и химической промышленности, медицине, системах военного назначения).

Список литературы

- 1 МГС ГОСТ 33894–2016. Системы железнодорожной автоматики и телемеханики на железнодорожных станциях. Требования безопасности и методы контроля – М. : Стандартинформ, 2019.
- 2 МГС ГОСТ 33895–2016. Системы железнодорожной автоматики и телемеханики на перегонах железнодорожных линий. Требования безопасности и методы контроля. – М. : Стандартинформ, 2019.
- 3 CENELEC – EN 50129. Railway applications – Communication, signalling and processing systems – Safety related electronic systems for signalling. – 2018. – 154 p.
- 4 ДСТУ 4178–2003. Комплексы технических средств систем управления и регулирования движения поездов. Функциональная безопасность и надежность. Требования и методы испытаний. – Киев : Держспоживстандарт Украины, 2003.
- 5 Кустов, В. Ф. Особенности обеспечения функциональной безопасности микропроцессорных систем управления и контроля на железнодорожном транспорте / В. Ф. Кустов // Железнодорожный транспорт Украины. – 2015. – № 1. – С. 2–30.
- 6 Кустов, В. Ф. Математические модели функциональной безопасности микропроцессорных систем железнодорожной автоматики // Сб. науч. трудов УкрГАЗТ / В. Ф. Кустов. – Вып. № 116. – Харьков : УкрГАЗТ, 2010. – С. 65–71.
- 7 Ensuring railroad's digital automation systems resistance to dangerous states / S. Panchenko [et al.] // ICTE in Transportation and Logistics. ICTE Tol 2019, LNITI, 2020. – P. 120–128.

Получено 15.09.2020

V. F. Kustov. Development of functional safety requirements for devices of railway automation.

The article discusses the development of functional safety requirements for the decisive elements of redundancy channels, multiple dangerous failures of redundant railway automation systems, as well as determining the permissible operating time before a dangerous failure of each redundancy channel, the maximum permissible time for eliminating dangerous failures in the redundancy channels to achieve a given level.

АВТОМОБИЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ

УДК 681.5

С. А. АЗЕМША, кандидат технических наук, В. Е. САЛАМОНОВА, студент, О. Н. ШУСТ, студент, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СХЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ НА ПЛОЩАДИ ЛЕНИНА В г. ГОМЕЛЕ

Площадь – открытое, архитектурно организованное, обрамлённое зданиями и зелёными насаждениями пространство, входящее в систему городских и сельских пространств, ровное место, городской или сельский объект инфраструктуры. В каждом городе большая часть светской жизни сосредоточена на городской площади. Это место для прогулок и отдыха, встречи с друзьями. На площадях проводятся общественные, торговые, спортивные и социальные мероприятия. Отдельной группой площадей являются так называемые транспортные. Они образуются в местах пересечения магистральных улиц и дорог. Крупные площади-развязки одновременно являются пересадочными узлами, и градостроители используют это обстоятельство, предлагая появившимся сюда людям возможность удовлетворения их культурно-бытовых потребностей.

Площадь Ленина г. Гомеля – центральная площадь, которая выполняет как транспортную, так культурно-бытовую и историческую функцию второго по величине города Беларуси. На территории пл. Ленина пересекаются транспортные и пешеходные потоки. Места пересечения нерегулируемы. В часы роста интенсивности транспортных и пешеходных потоков на этой площади наблюдаются заторовые состояния, рост загазованности и конфликтные ситуации.

В настоящей работе исследуется транспортно-пешеходная нагрузка площади Ленина г. Гомеля в разные дни и часы суток. Рассматриваются различные решения по повышению эффективности дорожного движения на этом объекте. При помощи имитационного моделирования в программе PTV Vissim определяются оптимальные варианты организации дорожного движения.

Площади, особенно центральные, играют важную многогранную роль в жизни городов. Поэтому обустройству площадей уделяют самое серьезное внимание, максимально полезно и функционально задействуя все их пространство [1, 2]. Особое место также уделяется проектированию схем организации дорожного движения на площадях [3, 4], что говорит об их высоком влиянии на жизнь городов. Настоящая работа посвящена оптимизации схемы организации дорожного движения на площади Ленина г. Гомеля.

Площадь Ленина – центральная площадь г. Гомеля. На ней сходятся ул. Советская, пр-т Ленина и ул. Пролетарская. Имеются нерегулируемые пешеходные переходы. Через площадь проходят маршруты общественного пассажирского транспорта, имеются остановочные пункты.

Для оценки транспортно-пешеходной нагрузки были проведены наблюдения интенсивностей транспортных и пешеходных потоков. Наблюдения проводились по 15 минут в течение каждого часа с 7:00 до 20:00 во вторник, субботу и воскресенье. Полученные значения интенсивностей умножались на 4. Способ наблюдения – видеofиксация транспортных и пешеходных потоков с последующим подсчетом их количества с приведением к легковому автомобилю в соответствии с рекомендуемыми в технических нормативах коэффициентами. Суточные цифrogramмы интенсивностей транспортных и пешеходных потоков по дням измерений, а также существующая схема организации дорожного движения при-

ведены на рисунке 1. Диаграмма изменения транспортных потоков по часам суток приведена на рисунке 2, а, а пешеходных – на рисунке 2, б.

Рисунки 1, 2 показывают, что суммарно через площадь движется:

- во вторник – 33412 транспортных средств и 5484 пешеходов;
- в субботу – 23252 транспортных средства и 4996 пешеходов;
- в воскресенье – 19196 транспортных средств и 7664 пешеходов.

Также видно, что транспортные и пешеходные потоки имеют существенную неравномерность. Максимальные значения транспортной и пешеходной нагрузки наблюдается в будний день с 17:00 до 18:00 и составляют 3856 авт./ч и 1236 пеш./ч соответственно. Минимум транспортной нагрузки наблюдается в воскресенье с 7:00 до 9:00 и составляет 740 авт./ч. Минимум пешеходов наблюдается в субботу с 8:00 до 9:00 – 112 пеш./ч.

Для оценки характеристик работы исследуемого объекта в программном продукте PTV Vissim создана его имитационная модель. Модель была верифицирована, откалибрована и валидирована в соответствии с существующими требованиями к этим действиям.

При помощи созданной модели были получены результаты, описывающие параметры потоков на объекте исследования (таблица 1).

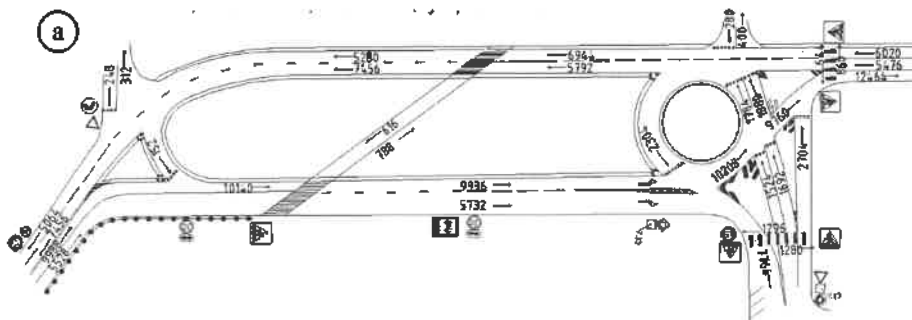


Рисунок 1 (начало) – Цифrogramма интенсивностей движения на пл. Ленина (авт./13 ч, пеш./13 ч):
а – во вторник с 7:00 до 20:00

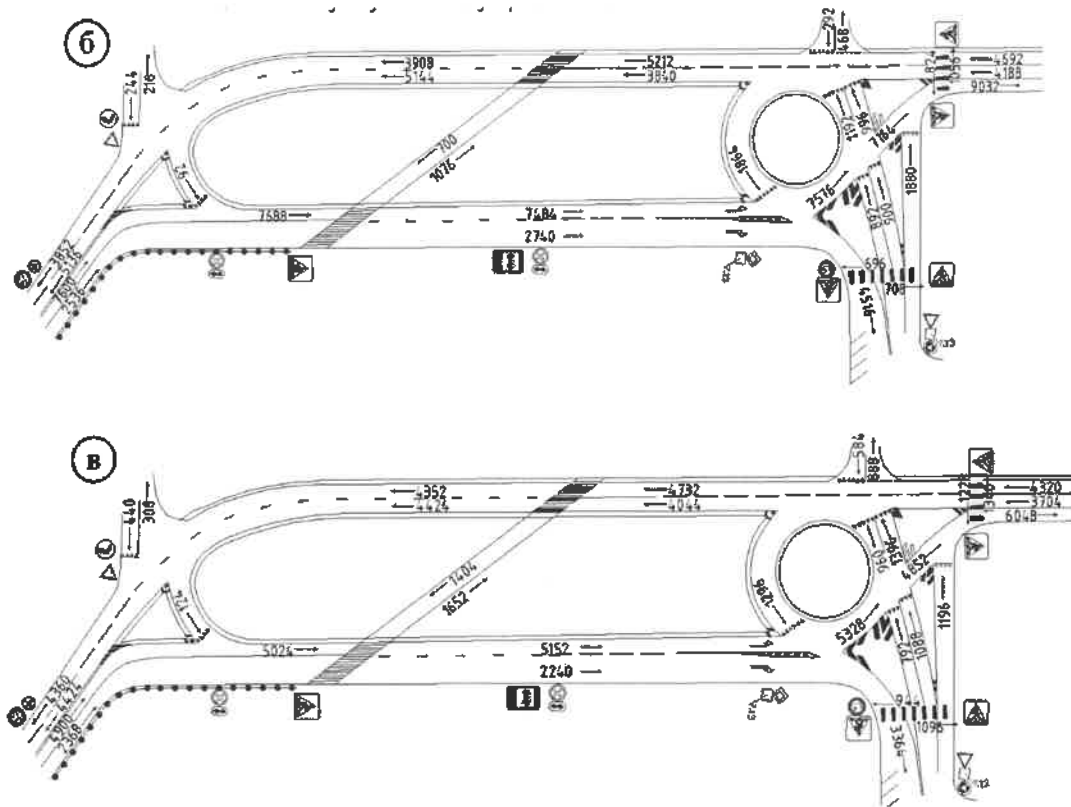


Рисунок 1 (окончание) – Цифрограмма интенсивностей движения на пл. Ленина (авт. / 13 ч, пеш./13 ч):
 б – в субботу с 7:00 до 20:00; в – в воскресенье с 7:00 до 20:00

а)

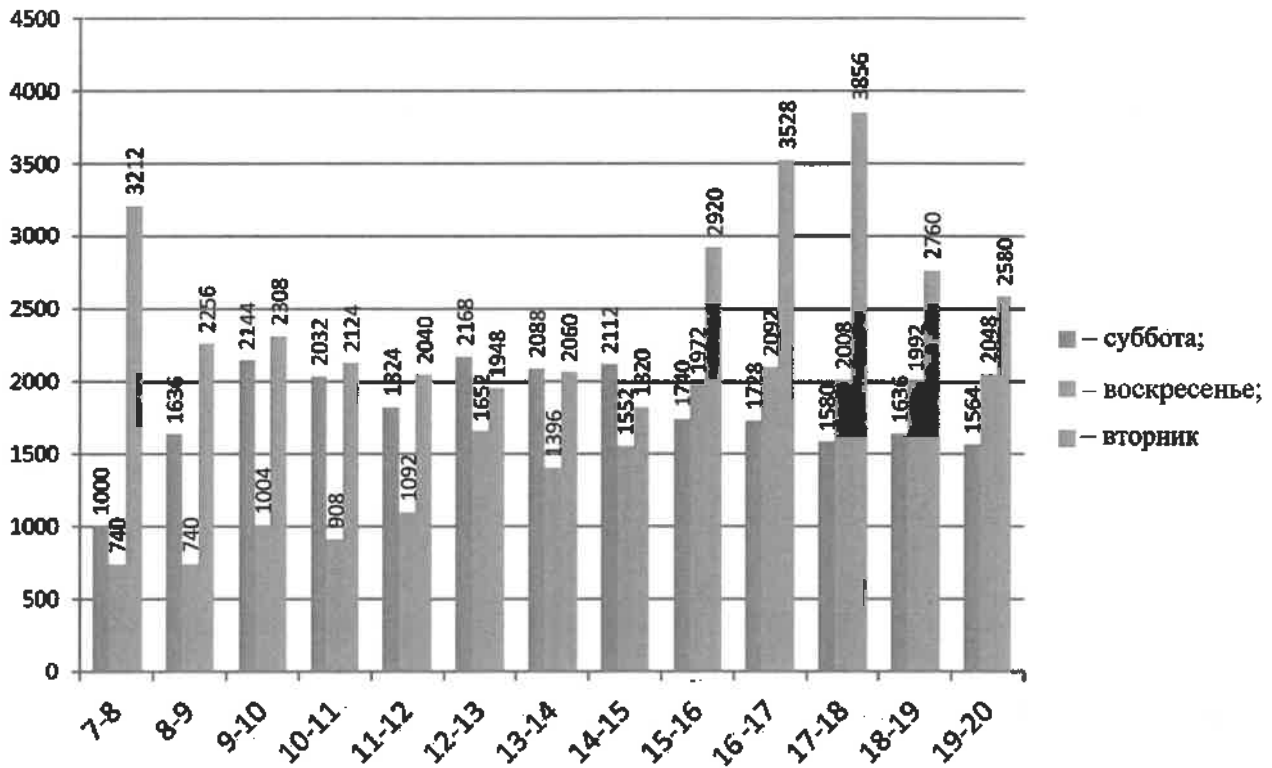


Рисунок 2 (начало) – Диаграмма распределения по часам суток:
 а – транспортных потоков

б)

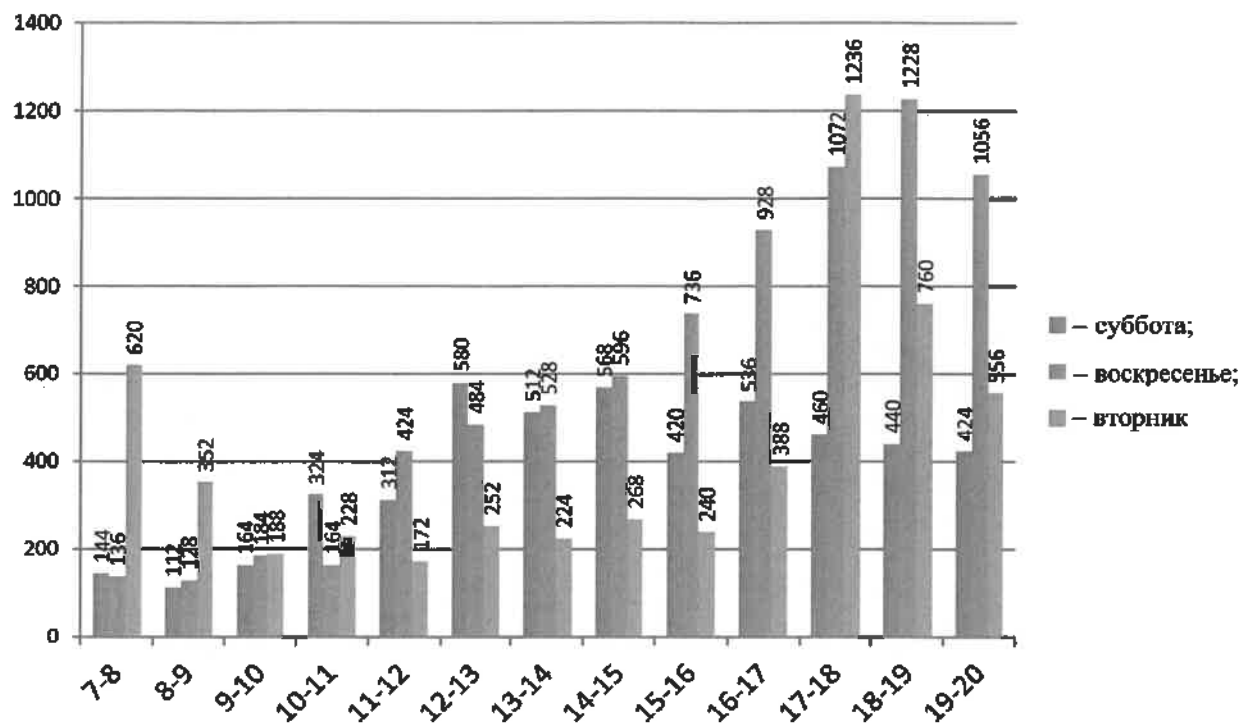


Рисунок 2 (окончание) – Диаграмма распределения по часам суток:
б – пешеходных потоков

Таблица 1 – Результаты моделирования работы площади Ленина в программе PTV Vissim

День недели	Время суток	Интенсивность движения			Выбросы, г/ч			Расход топлива, л/ч	Скорость средняя, км/ч	Задержки всего, ч		Остановки всего, шт.	
		авт./ч	сд./ч	пеш./ч	CO	NOx	VOC			ТС	пешеходов	ТС	пешеходов
Суббота	7-8	1000	1174	144	930,1	181,0	215,6	13,3	37,93	1,05	0,00	126	0
	8-9	1636	1841	112	1425,5	277,4	330,4	20,4	38,05	1,59	0,00	160	0
	9-10	2144	2381	164	1980,5	385,3	459,0	23,3	36,33	3,11	0,00	383	4
	10-11	2032	2283	324	2060,2	400,8	477,5	29,5	35,70	4,59	0,00	623	3
	11-12	1824	2113	312	1718,8	334,4	398,4	24,6	37,14	2,59	0,00	356	2
	12-13	2168	2453	580	2661,5	517,8	616,8	38,1	30,79	8,59	0,00	1069	6
	13-14	2088	2360	512	2285,0	444,6	529,6	32,7	34,10	5,95	0,01	758	8
	14-15	2112	2391	568	2639,4	513,5	611,7	37,8	32,13	8,34	0,00	1233	8
	15-16	1740	1987	420	1756,3	341,7	407,0	25,1	33,16	3,56	0,01	463	8
	16-17	1728	1995	536	2052,5	399,4	475,7	29,4	31,12	5,62	0,01	817	11
	17-18	1580	1795	460	1687,4	328,3	391,1	24,1	33,66	3,63	0,01	465	8
	18-19	1636	1902	440	1674,2	325,7	388,0	24,0	35,51	3,38	0,00	467	2
19-20	1564	1742	424	1677,4	326,4	388,8	24,0	36,45	3,59	0,00	492	3	
Итого		23252	26417	4996	24548,9	4776,3	5689,5	346,2	34,5	55,6	0,1	7412,0	63,0
Воскресенье	7-8	740	1022	136	679,3	132,2	157,4	9,7	38,80	0,64	0,00	81	0
	8-9	740	837	128	657,3	127,9	152,3	9,4	39,39	0,48	0,00	66	0
	9-10	1004	1166	184	903,4	175,8	209,4	12,9	42,26	0,83	0,00	92	2
	10-11	908	1080	164	738,4	143,7	171,1	10,6	41,11	0,67	0,00	77	2
	11-12	1092	1333	424	1023,4	199,1	237,2	14,6	40,13	1,50	0,00	148	3
	12-13	1652	1824	484	1661,0	323,2	384,9	23,8	40,01	3,29	0,00	474	4
	13-14	1396	1867	528	1849,6	359,9	428,7	26,5	33,41	4,28	0,01	590	6
	14-15	1552	1736	596	1806,1	351,4	418,6	25,8	31,14	4,81	0,00	679	4
	15-16	1972	2172	736	2847,3	554,0	659,9	40,4	26,50	11,00	0,01	1620	12
	16-17	2092	2305	928	3483,1	677,7	807,2	49,8	24,98	15,64	0,03	2347	16
	17-18	2008	2204	1072	4086,4	795,1	947,1	58,5	20,17	21,49	0,01	3107	13
	18-19	1992	2159	1228	8612,3	1675,6	1996,0	123,2	7,37	86,13	0,19	8351	43
19-20	2048	2212	1056	7515,8	1462,3	1741,9	107,5	10,16	61,33	0,23	6771	58	
Итого		19196,0	21917,0	7664	35863,3	6977,7	8311,7	512,8	30,4	212,1	0,5	24403,0	163,0

День недели	Время суток	Интенсивность движения			Выбросы, г/ч			Расход топлива, л/ч	Скорость средняя, км/ч	Задержки всего, ч		Остановки всего, шт.	
		авт./ч	ед./ч	пеш./ч	CO	NOx	VOC			ТС	пешеходов	ТС	пешеходов
Вторник	7–8	3212	3588	620	3138,1	610,6	727,3	44,9	12,38	60,58	0,13	6135	46
	8–9	2256	2630	352	2406,2	468,2	557,7	34,4	32,30	6,23	0,01	800	11
	9–10	2308	2704	188	2281,5	443,9	528,8	32,6	34,35	4,67	0,00	598	6
	10–11	2124	2428	228	2026,9	394,4	469,7	29,0	35,88	3,56	0,00	470	4
	11–12	2040	2332	172	1901,4	370,0	440,7	27,2	36,49	3,07	0,00	364	1
	12–13	1948	2345	252	1912,9	372,2	443,3	27,4	38,15	3,68	0,01	490	7
	13–14	2060	2383	224	1957,5	380,9	453,7	28,0	35,51	3,46	0,00	458	2
	14–15	1820	2080	268	1760,1	342,5	407,9	25,2	35,90	5,02	0,00	377	0
	15–16	2920	3346	240	3334,9	648,9	772,9	47,7	30,30	10,86	0,01	1342	17
	16–17	3528	3906	388	8251,7	1605,5	1912,4	118,0	10,50	79,53	0,27	7303	61
	17–18	3856	4422	1236	9459,5	1840,5	2192,3	135,3	5,33	117,69	0,75	8057	55
18–19	2760	3073	760	7310,7	1422,4	1694,3	104,6	12,41	66,48	0,13	6276	33	
19–20	2580	2872	556	3807,2	740,8	882,4	54,5	27,41	17,31	0,03	2106	6	
Итого		33412	38109	5484	49548,6	9640,4	11483,4	708,9	26,69	382,14	1,35	34776,0	249,0
ВСЕГО		75860,0	86443,0	18144,0	109960,8	21394,5	25484,5	1567,8	30,5	649,8	1,9	66591,0	475,0

Из таблицы 1 видно, что суммарно за три дня на исследуемом объекте расходуется более 1560 литров топлива, выбрасывается в атмосферу более 150 кг вредных веществ. Суммарные задержки транспортных средств составляют 650 автомобиле-часов, суммарное количество их остановок превышает 66,5 тысяч раз.

Также моделирование показало, что в воскресенье с 18:00 до 20:00, а также во вторник с 7:00 до 8:00 и с 17:00 до 19:00 (выделено красным в таблице 1) значе-

ния транспортно-пешеходной нагрузки критические, что приводит к предзаторовым состояниям (рисунок 3). Из рисунка 3 видно, что предзаторовые ситуации образуются в каждом периоде на входе с ул. Советская, в трех периодах с ул. Пролетарская и в двух периодах с пр-та Ленина. Основными причинами роста задержек является наличие нерегулируемых пешеходных переходов, а также нерегулируемых конфликтов между транспортными средствами.

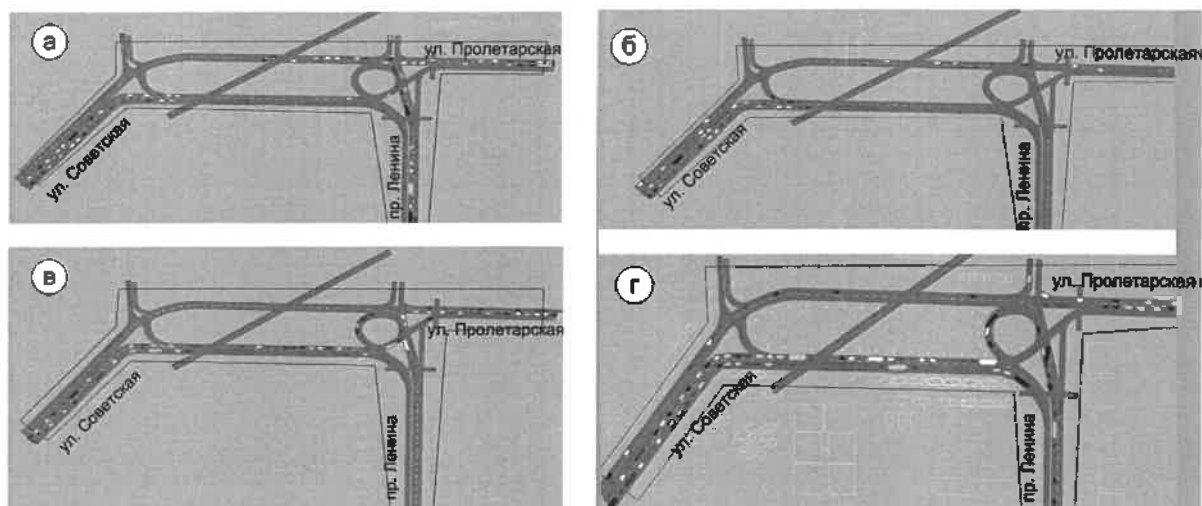


Рисунок 3 – Заторовые направления на объекте исследования:

а – в воскресенье с 18:00 до 19:00; б – в воскресенье с 19:00 до 20:00; в – во вторник с 7:00 до 8:00; г – во вторник с 17:00 до 19:00

Для снижения потерь на рассматриваемом объекте рассмотрен ряд мероприятий по изменению схемы организации дорожного движения.

1 Изменение схемы движения транспорта и пешеходов (рисунок 4). При этом предусматривается демонтаж пешеходного перехода, идущего от остановочного пункта возле театра к входу в парк культуры и отдыха им. Луначарского, а также установка светофорного регулирования на оставшихся пешеходных переходах через ул. Пролетарскую и пр-т Ленина. При этом для обеспечения возможности координации движения по ул. Советской, предусматривается цикл светофорного регулирования, равный 84 с. Соответствующая схема

движения и диаграмма светофорного регулирования приведены на рисунке 5.

2 Предложения аналогичны первому варианту (см. рисунок 4), за исключением того, что параметры светофорного цикла рассчитаны не с привязкой к координации по ул. Советской, а исходя из интенсивностей существующих на объекте конфликтных потоков. Всего рассчитано 6 программ регулирования. Рассчитывались они при помощи программы Artery lite. Схемы пофазного разбега аналогичны варианту 1.

3 Предложения аналогичны первому варианту (см. рисунок 4), однако предлагается не вводить свето-

формное регулирование, а оставить конфликтный разъезд в соответствии со знаками приоритета.

Для указанных трех вариантов схем организации дорожного движения были созданы имитационные модели

в программе PTV Vissim. Итоговые годовые результаты моделирования по всем описанным выше вариантам схем организации дорожного движения приведены в таблице 2.



Рисунок 4 – Предлагаемая схема организации дорожного движения

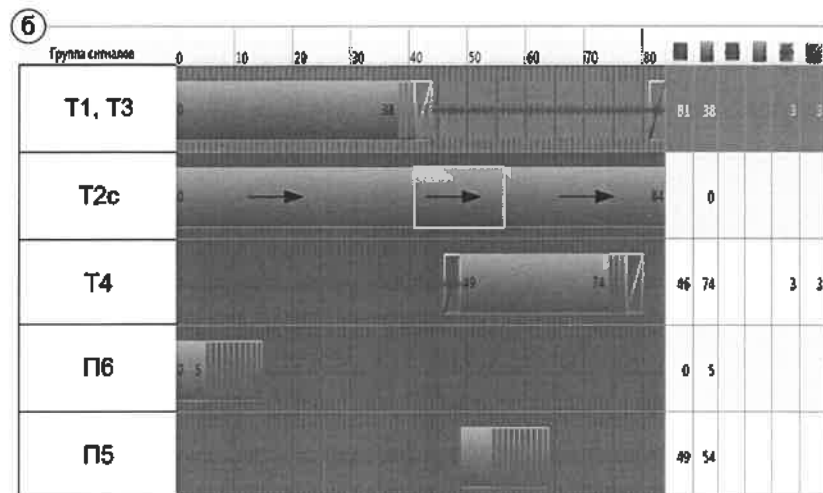
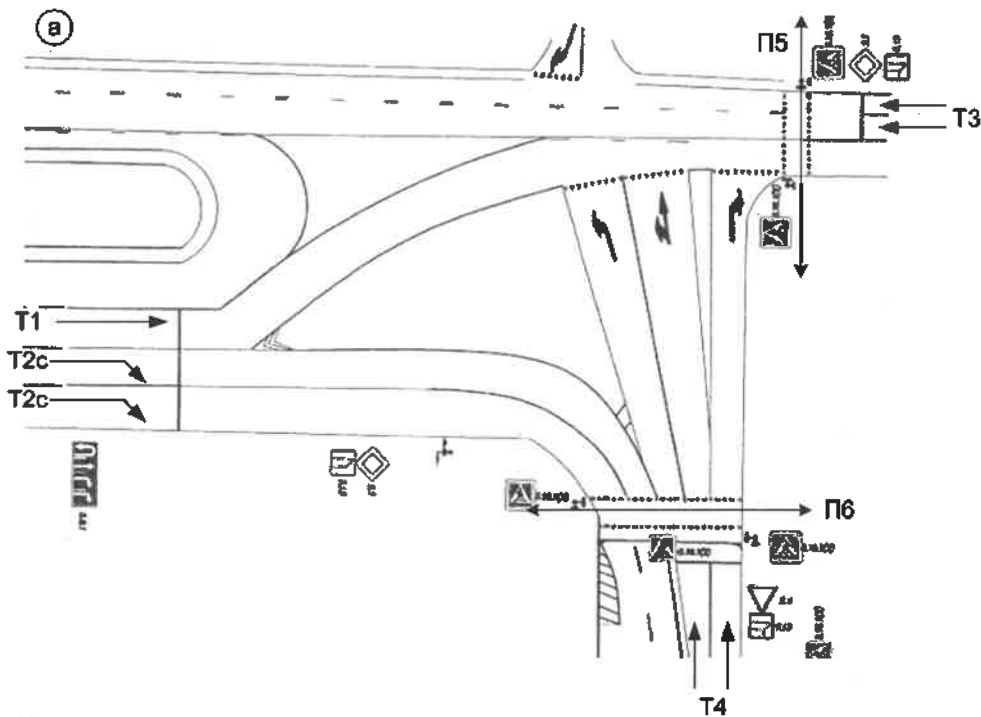


Рисунок 5 – Второй вариант схемы организации дорожного движения на площади Ленина г. Гомеля: а – направления движения; б – диаграмма светофорного регулирования

Таблица 2 – Сводные результаты моделирования работы предложенных вариантов схем организации дорожного движения на пл. Ленина

Показатель	Существующая схема	Предлагаемая схема нерегулируемая	Предлагаемая схема с 84 секунд времени цикла	Предлагаемая схема с различными значениями времени цикла
Расход топлива, л · 10 ⁴	22,9	19,2	20,4	19,8
Средняя скорость, км/ч	30,5	35,1	32,2	34,2
Задержки всего ТС, ч · 10 ⁴	11,3	8,1	9,5	9,0
Остановки всего, шт · 10 ⁶	10,7	4,7	6,1	6,1
Выбросы, т/год	CO	16,0	13,4	14,8
	NOx	2,8	2,6	2,9
	VOC	3,7	3,1	3,4

Таким образом, проведенные исследования показывают, что в общем наименьшие потери наблюдаются при реализации предлагаемой схемы организации дорожного движения без светофорного регулирования. Реализация данного предложения позволит сократить

суммарный объем потребления топлива при проезде через рассматриваемый объект на 37 тыс. л за год, повысить среднюю скорость движения на 4,6 км/ч, снизить задержки на 32000 ч/год, общее число остановок – на 6 млн/год и сократить суммарные объемы выбросов на 3,4 т/год.

Список литературы

- 1 Беляев, В. Л. Комплексное развитие подземного пространства в историческом центре Москвы (район площади революции и театральной площади) / В. Л. Беляев, А. Г. Васильева // Практика градостроительства. – 2013. – № 5 (27). – С. 15–18.
- 2 Ушакова, А. И. Различные подходы к реконструкции площади восстания / А. И. Ушакова // Наука и современность. – 2014. – № 5. – С. 197–206.
- 3 Бойко, В. И. Эскизный проект транспортного узла на площади Бангалор в г. Минске / В. И. Бойко // Transport. Transport facilities. Ecology. – 2015. – № 4. – С. 24–32.
- 4 Совершенствование дорожного движения на площади Желябова в г. Смоленске / Д. В. Мозалевский [и др.] // Наука – образованию, производству, экономике : материалы

13-й Междунар. науч.-техн. конф. – Минск : БНТУ, 2015. – Т. 3. – С. 238.

5 Основы транспортного моделирования: практическое пособие (серия «Библиотека транспортного инженера») / А. Э. Горев [и др.]. – СПб. : КОСТА, 2015. – 168 с.

6 Якимов, М. Р. Транспортное планирование: создание транспортных моделей городов : [монография] / М. Р. Якимов. – М. : Логос, 2013. – 188 с.

7 Руководство по выполнению проектов в PTV VISSIM. – СПб., 2014. – 76 с.

8 Artery lite 4.0. Computer program. Serial number 9MBQ2-XJVU4-9KJ5V-BCQGS-4U6YT.

9 PTV Vissim 6. Computer program.

Получено 19.06.2020

S. A. Azemsha, E. V. Salamonava, O. N. Shust. Improvement of the traffic scheme in Lenin square in Gomel.

Square – an open, architecturally organized, framed by buildings and green spaces, part of the system of urban and rural spaces, a flat place, urban or rural infrastructure. In each city, most of social life is concentrated on the city square. This is a place for walking and relaxing, meeting with friends. On the squares are held public, trade, sports and social events. A separate group of areas are the so-called transport. They are formed at the intersection of main streets and roads. Large interchange square are at the same time interchange hubs, and urban planners use this circumstance, offering people who come here the opportunity to satisfy their cultural and domestic needs.

Gomel's Lenin Square is the central square that performs both transport, cultural, social and historical functions of the second largest city in Belarus. On its territory intersect traffic and pedestrian flows. Crossing points are unregulated. During hours of increased intensity of traffic and pedestrian flows in this square, congestion, gas contamination and conflict situations are observed.

In the present work, the pedestrian traffic load of Lenin Square in the city of Gomel on different days and hours of the current is studied. Various solutions to improve the efficiency of traffic at this facility are considered. With the help of simulation, in the PTV Vissim program the optimal variants of traffic scheme is determined.

УДК 681.5

С. А. АЗЕМША, кандидат технических наук, П. И. КАПИТАНОВ, магистрант, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель, В. И. ЕВЛАНОВ, инспектор дорожно-патрульной службы, УГАИ МВД Центрального района города Минска

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ НА ПЕРЕКРЕСТКАХ ВНЕДРЕНИЕМ АДАПТИВНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

Как правило, регулируемые перекрестки осуществляют пропуск достаточно интенсивных транспортных и пешеходных потоков в стесненных условиях застройки. В городах в периоды максимального подъема интенсивности регулируемые перекрестки сильно перегружены транспортом, что визуально отображено в виде наличия заторов. Всё это приводит к резкому росту экономических, экологических, аварийных и социальных потерь что противоречит Концепции обеспечения безопасности дорожного движения в Республике Беларусь.

Для того чтобы реализовать управление и контроль на загруженных перекрестках, с середины прошлого века внедряются различные элементы автоматизации. С ростом интенсивности движения в городах росла и необходимость в повышении уровня автоматизации систем. В настоящее время в мире известны и широко применяются различные алгоритмы адаптивного регулирования светофорными объектами. Республика Беларусь в этом отношении существенно отстает. Целью работы является привести пример эффективности от внедрения адаптивного регулирования на светофорных объектах и смоделировать реализацию таких мероприятий в специализированном программном продукте PTV Vissim.

Автомобили в городском транспортном потоке могут испытывать значительные трудности в пути из-за неэффективной работы системы светофорного регулирования. Перекресток является узким местом улично-дорожной сети. Поэтому очень важным становится выбор схемы регулирования транспортными потоками именно на перекрестке [1–3]. При этом необходимо учитывать дорожные знаки, разметку и параметры светофоров. Так как количество участников дорожного движения все время увеличивается, а ресурсы инфраструктуры улично-дорожной сети ограничены, то создание интеллектуальной транспортной системы становится перспективным направлением повышения эффективности работы регулируемых перекрестков. Использование адаптивных алгоритмов светофорного регулирования может предотвратить заторы и уменьшить время проезда участка дороги, повысить безопасность дорожного движения и снизить негативное воздействие на экологию. В тоже время оптимизация светофоров представляется сложной задачей, имеющей более чем один вариант решения. Выбор наилучшего варианта возможен моделированием функционирования исследуемого объекта при различных управляющих воздействиях. Одним из таких инструментов для моделирования является программный продукт PTV Vissim.

В качестве объектов исследования рассмотрены следующие регулируемые перекрестки г. Гомеля: ул. Интернациональная – проспект Ленина, ул. Интернациональная – ул. Катунина, ул. Интернациональная – ул. Гагарина, ул. Интернациональная – ул. Фрунзе, ул. Бабушкина – ул. Луначарского.

Для каждого из этих объектов были выполнены: анализ существующей схемы организации дорожного движения, создана имитационная модель в программе PTV Vissim, разработаны мероприятия по снижению потерь, смоделирована работа после реализации таких мероприятий и посчитан экономический эффект. Ниже подробно приведен каждый этап для перекрестка ул. Интернациональная – пр-т Ленина г. Гомеля. На данном перекрестке за последние 23 года произошло 15 учётных ДТП. Основным видом ДТП является столкновение. Это связано с затруднением

осуществить левый поворот, с проспекта Ленина на улицы Интернациональная и Кирова.

На исследуемом перекрестке измерены параметры цикла светофорного регулирования: схема пофазного регулирования, диаграмма существующего цикла светофорного регулирования. Для указанного перекрестка были измерены интенсивности движения по направлениям по часам суток и суточная цифровая интенсивностей движения (рисунок 1). Видимость на перекрестке оценивалась параметрами треугольника боковой видимости. Натурные измерения показали, что степень прозрачности треугольника боковой видимости для конфликта Т-Т и Т-П удовлетворительная. Имеются помехи – стойки дорожных знаков, деревья, отдельные опоры линий освещения, конфликтующие участники видят друг друга почти непрерывно, не менее 70–80 % времени движения до конфликтной точки.

Аналогичным образом были исследованы пересечения улиц Интернациональная – Катунина; Интернациональная – Гагарина; Интернациональная – Фрунзе; Бабушкина – Луначарского.

Для моделирования работы исследуемого объекта в программном продукте PTV Vissim созданы модели исследуемых объектов и произведены оценки параметров движения транспортных и пешеходных потоков. Для обеспечения качества полученной имитационной модели с ней выполнен ряд действий.

1 **Верификация модели** – это проверка правильности ввода исходных данных, геометрии УДС, параметров ОДД, определяющих зависимостей (функций) и т. п. Целью данного этапа является подтверждение корректности ввода данных по следующим аспектам:

- отсутствие ошибок непосредственно при вводе численных параметров;
- корректность базовых настроек и соотношений элементов модели;
- учет специфических факторов.

2 **Калибровка модели** – это настройка различных параметров модели с целью минимизировать расхождение данных обследований и результатов моделирования. Конечная цель калибровки модели – компромисс

между усилиями, затраченными на калибровку, и точностью воспроизведения моделью реальной ситуации. В качестве критериев для завершения калибровки имитационных микромоделей применялись разница между смоделированными и наблюдаемыми интенсивностями потоков, временем хода и длины очередей.

3 Валидация модели – это сравнение результатов моделирования и реальной ситуации с использованием набора независимых данных, не участвующих в калиб-

ровке для оценки работоспособности модели и возможности ее использования для прогнозов.

Модель перекрестка ул. Интернациональная – пр-т Ленина прошла все этапы проверки и считается пригодной для дальнейших исследований. Аналогичные результаты были получены и для остальных объектов исследования.

При помощи указанной модели были получены результаты, описывающие параметры потоков на объекте исследования (рисунок 2).

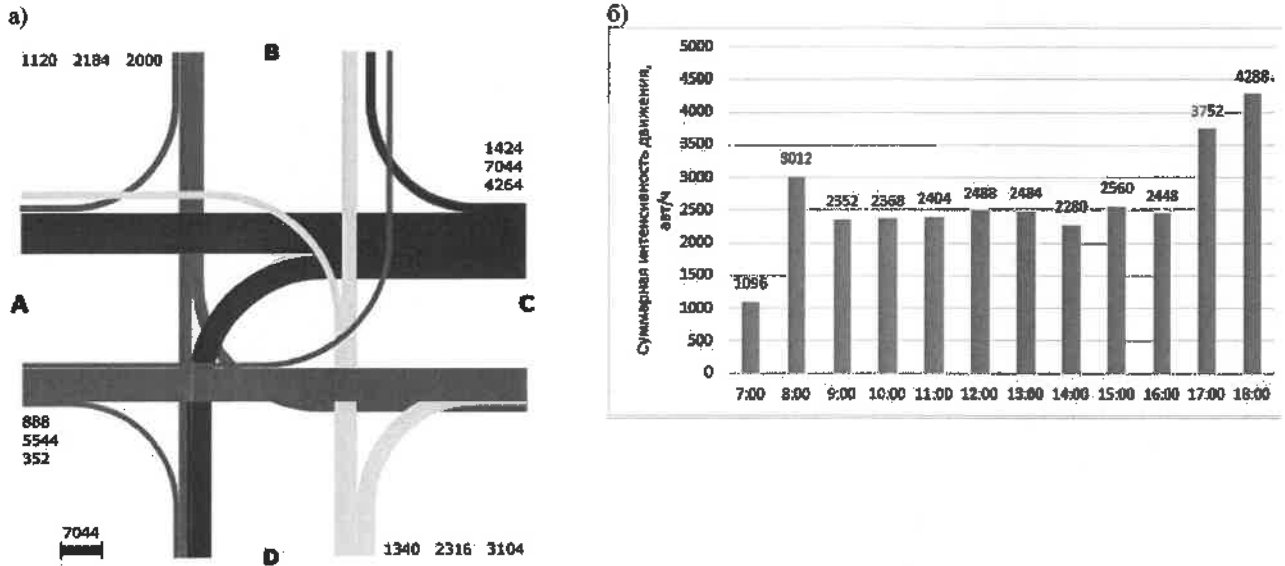


Рисунок 1 – Интенсивности движения на перекрестке ул. Интернациональная – пр-т Ленина: а – дифрограмма интенсивностей (с 07:00 до 19:00); б – интенсивности движения по часам суток

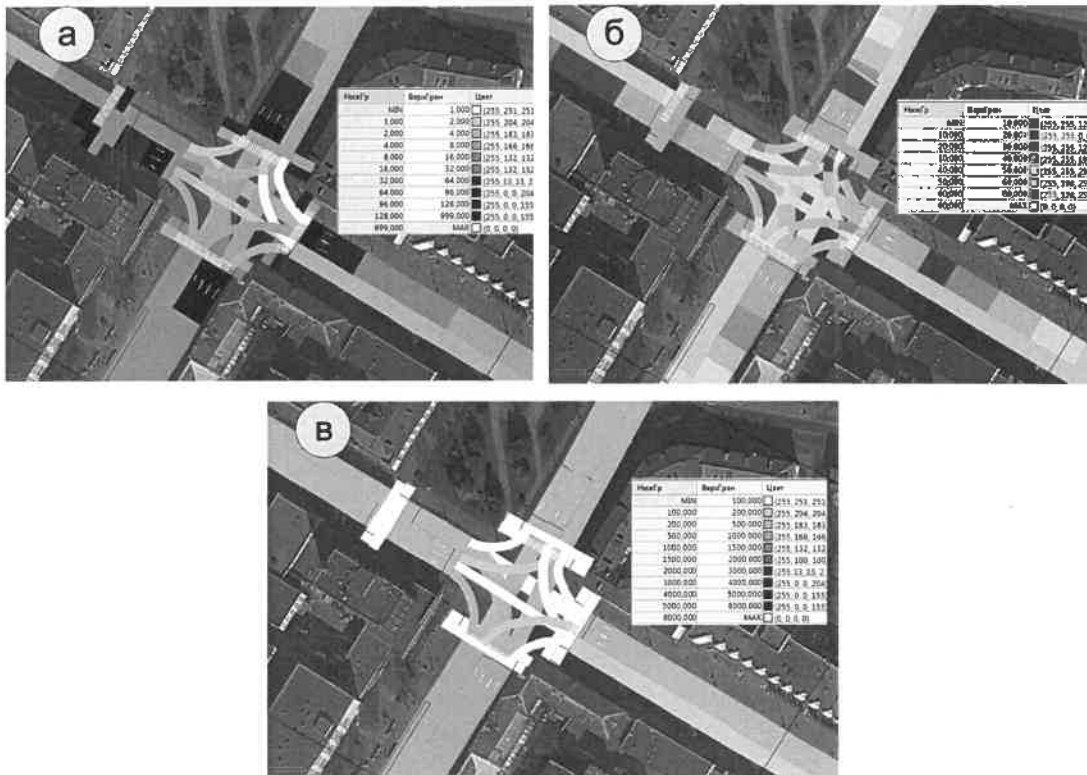


Рисунок 2 – Температурные графики параметров потоков на перекрестке ул. Интернациональная – пр-т Ленина: а – плотность; б – скорость; в – нагрузка

Из графика плотности транспортного и пешеходного потока (см. рисунок 2, а) следует, что плотность транспортных средств значительно увеличивается при подходе

к перекрестку, непосредственно перед светофором. Из графика скорости транспортных средств и пешеходов (см. рисунок 2, б) следует, что скорость на подходе к пере-

крестку значительно уменьшается. Из графика нагрузки транспортных средств и пешеходов видно, что нагрузка достаточно равномерна. Снижение скорости, увеличение плотности транспортного потока, особенно по пр-ту Ленина (со стороны вокзала), перед светофором, и по ул. Интернациональной (со стороны ЗИП), говорит о том, что фиксированное регулирование не позволяет обеспечить достаточно быстрый пропуск транспортных средств с ул. Интернациональной на пр-т Ленина, данное обстоятельство приводит к увеличению транспортных задержек.

Для повышения эффективности функционирования объектов исследования была произведена оптимизация параметров светофорного регулирования и корректировка пофазного разъезда при помощи программного комплекса ArteryLite (Transyt). Также были оптимизированы циклы светофорного регулирования и длительности фаз для остальных объектов исследования.

Кроме оптимизации структуры и продолжительности параметров циклов светофорного регулирования в качестве мероприятий по повышению эффективности дорожного движения на исследуемых объектах было предложено введение адаптивного регулирования. Ниже приведено подробное описание этого процесса для перекрестка ул. Интернациональная – пр-т Ленина.

Суть адаптивного регулирования для перекрестка ул. Интернациональная – пр-т Ленина заключается в реализации алгоритма поиска разрыва в транспортном потоке в направлении действия разрешающего сигнала по ул. Интернациональной и пр-ту Ленина при фиксированных значениях управляющих параметров (время, определяющее разрыв в потоке, минимальная и максимальная длительности разрешающего сигнала). Сигнал переключается с разрешающего на запрещающий при обнаружении временного интервала между прибывающими к перекрестку автомобилями, большего или равного заданному. В противном случае длительность разрешающего сигнала увеличивается на длительность заданного интервала. Данный алгоритм на перекрестке был смоделирован с помощью программного продукта PTV Vissim.

Для введения адаптивного регулирования в указанной программе была создана логика управления светофорным объектом (рисунок 3). При этом разрыв в потоке констатируется при наличии интервала между следующими друг за другом транспортными средствами хотя бы 3 с, детекторы устанавливаются на расстоянии 30 м от стоп-линии (согласно немецким нормативам RiLSA).

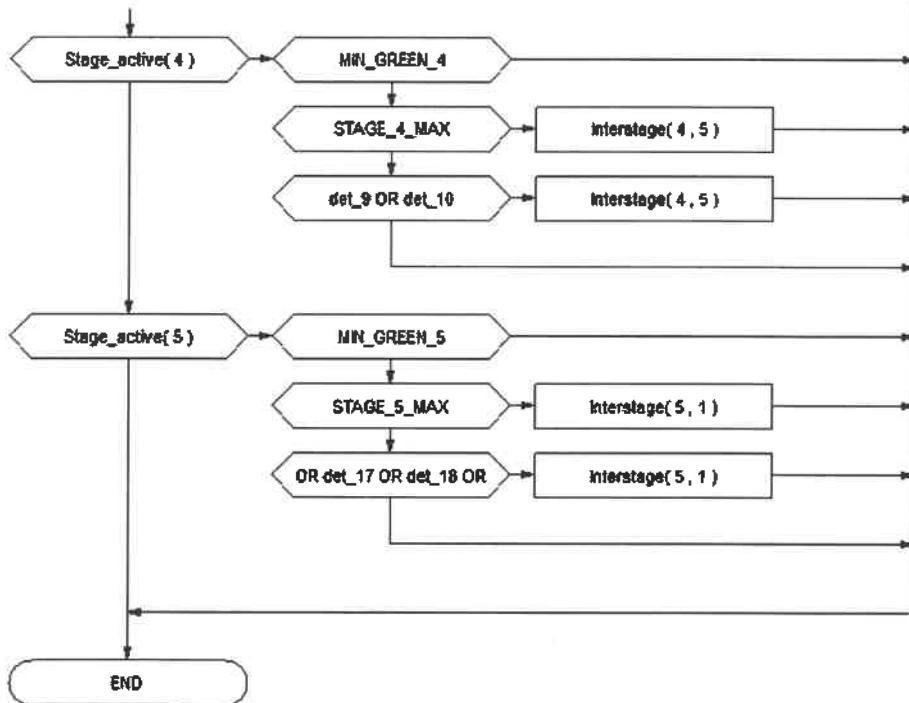


Рисунок 3 – Блок-схема логики управления светофорным объектом

На основе разработанной блок-схемы создан текстовый файл логики управления СФО для последующего применения данной логики в PTV Vissim. После этого создана сигнальная программа, на которой будет основываться работа СФО. В частности, заданы последовательность переключения групп сигналов и продолжительность переходных тактов, а также алгоритм определения разрыва в потоке и время, в течение которого данный алгоритм будет работать. Так, были заданы значения зеленого сигнала по ул. Интернациональная: минимальное – 16 с, максимальное – 22 с.

Далее был создан файл логики. Для этого создано требуемое количество сигнальных групп. В каждой из них выбрана последовательность сигналов и указано

стандартное время продолжительности каждого из сигналов в этих сигнальных группах. После этого была создана матрица промежуточных тактов. Она предназначена для указания времени (в секундах), которое необходимо, чтобы обеспечить бесконфликтное движение транспорта или пешеходов при смене фаз с конфликтующими сигнальными группами. Далее было создано необходимое количество фаз, которые будут использоваться в процессе регулирования ССУ. Затем каждой фазе присвоены разрешенные для движения сигнальные группы, а также указана используемая матрица промежуточных тактов.

Следующим этапом задания адаптивного светофорного регулирования в программе PTV Vissim является

создание фазовых переходов. Фазовым переходом называется промежуточный такт между основными тактами в цикле регулирования. Фазовый переход предназначен для безопасного завершения движения транспорта или пешеходов при смене основных тактов в цикле регулирования. Для того чтобы создать фазовые переходы, необходимо в левой части окна «VISSIG» выбрать пункт «Редактировать последоват. фаз», а в правой части

последовательно выбрать очередность работы фаз светофорного регулирования путем двойного нажатия левой клавишей мыши на необходимой фазе, которая представлена в верхней правой части этого окна (рисунок 4). На заключительном этапе по созданию адаптивного регулирования фазовые переходы были экспортированы в специализированный файл с расширением PUA.

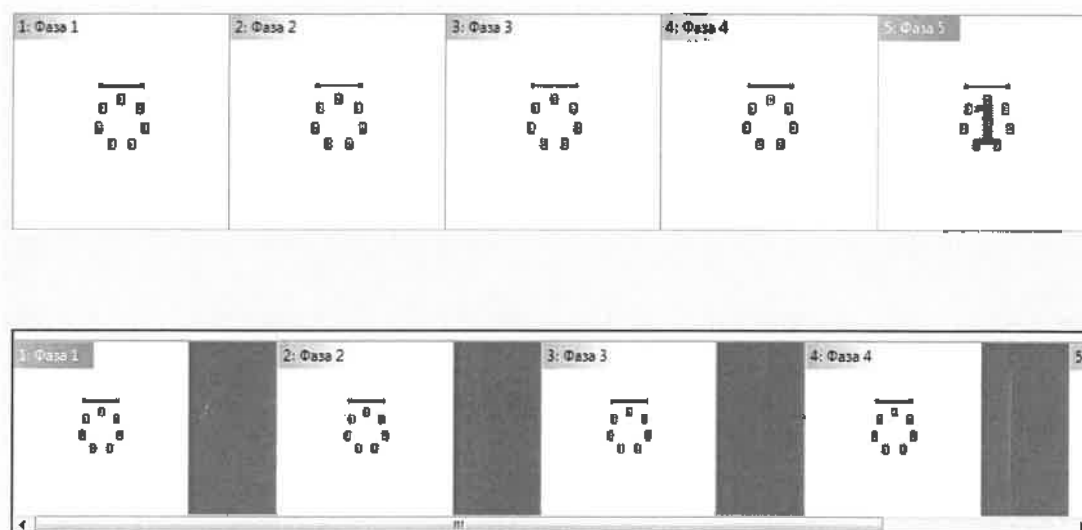


Рисунок 4 – Создание последовательности фаз

Аналогичным образом были созданы программы адаптивного регулирования для пересечений улиц Интернациональная – Катунина; Интернациональная – Гагарина; Интернациональная – Фрунзе; Бабушкина – Луначарского.

На последнем этапе работ был произведен расчет эффекта от реализации предлагаемых мероприятий. Результаты этого расчета представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Эффект от предложенного мероприятия

Перекресток	Время	Параметры						
		Общее время задержки, ч				Количество остановок, ед.		
		Л	Г	О	Пеш	Л	Г	О
Интернациональная – Ленина	Будний	827,656	-1,786	344,219	1,766	480,703	-0,721	288,535
	Выходной	456,707	-0,482	203,058	1,657	317,219	-0,267	224,008
Интернациональная – Катунина	Будний	22,278	0,606	29,761	1,844	9,451	0,560	10,645
	Выходной	10,999	0,261	17,653	1,262	4,443	0,267	5,134
Интернациональная – Гагарина	Будний	31,575	2,134	38,220	1,144	13,062	0,881	9,797
	Выходной	14,369	0,244	23,855	0,537	1,711	-0,267	3,250
Интернациональная – Фрунзе	Будний	159,442	3,470	339,576	0,182	21,509	1,601	55,107
	Выходной	26,571	1,043	55,153	0,273	1,350	0,614	-0,989
Бабушкина – Луначарского	Будний	29,362	4,377	6,437	0,092	16,281	3,390	2,732
	Выходной	17,135	2,460	1,088	0,052	11,571	2,135	0,565

При расчете экономического эффекта от снижения задержек и остановок приняты следующие значения параметров: стоимость задержки для легкового автомобиля – 1,8 у.е./ч, стоимость остановки – 0,015 у.е./ост, стоимость задержки пешеходов – 0,25 у.е./ч. Стоимость задержки и остановки для остальных групп транспортных средств приведена к одноименной стоимости легкового автомобиля при помощи коэффи-

циентов приведения. Также при расчетах была учтена стоимость необходимого для реализации адаптивного регулирования оборудования (таблица 2). Проведенные расчеты показывают, что для каждого из рассмотренных объектов оптимизации срок окупаемости не превышает полгода, что говорит о целесообразности их реализации и высокой эффективности экономических вложений в них.

Таблица 2 – Экономический эффект от введения адаптивного регулирования на исследуемых объектах

Перекресток	Годовая экономия	Загрты			Эг	Е	Ток
		Детекторы	Контроллеры	Всего			
Интернациональная – Ленина	630695,7	17500	1550	19050	627838,2	33,1	0,03
Интернациональная – Катунина	23739,8	10000	1550	11550	22007,3	2,1	0,49
Интернациональная – Гагарина	29759,8	10000	1550	11550	28027,3	2,6	0,39
Интернациональная – Фрунзе	159852,0	13750	1550	15300	157557,0	10,4	0,10
Бабушкина – Луначарского	19969,9	7500	1550	9050	18612,4	2,2	0,45

Список литературы

1 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.

2 Капитанов, П. И. Примененне научных методов в повышении эффективности функционирования перекрестков / П. И. Капитанов, В. И. Евланов // Проблемы функционирования систем транспорта : материалы междунар. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых (4–6 декабря 2019 г.) / отв. редактор А. В. Медведев. – Тюмень : ТИУ, 2020. – Т. 2. – 374 с. – С. 114–117.

3 Капитанов, П. И. Оценка влияния оптимизации цикла светофорного регулирования на безопасность дорожного дви-

жения / П. И. Капитанов, В. И. Евланов // Проблемы функционирования систем транспорта : материалы междунар. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых (4–6 декабря 2019 г.) / отв. редактор А. В. Медведев. – Тюмень : ТИУ, 2020. – Т. 2. – 374 с. – С. 118–122.

4 Основы транспортного моделирования : практ. пособие / А.Э. Горев [и др.]. – Серия «Библиотека транспортного инженера». – СПб.: ООО «Издательско-полиграфическая компания «КОСТА», 2015. – 168 с., ил.

5 Якимов, М. Р. Транспортное планирование: создание транспортных моделей городов : [монография] / М. Р. Якимов. – М. : Логос, 2013. – 188 с.

6 Руководство по выполнению проектов в PTV VISSIM. – Санкт-Петербург, 2014. – 76 с.

7 Artery lite 4.0. Computer program. Serial number 9MBQ2-XJVU4-9KJ5V-BCQGS-4U6YT.

8 PTV Vissim 6. Computer program.

Получено 17.06.2020

S. A. Azemsha, P. I. Kapitanau, V. I. Yaulanau. Improvement of efficiency of road traffic at crossroads by adaptive control.

Generally regulated intersections allow for the passage of fairly intense traffic and pedestrian flows in cramped conditions of development. In cities, during periods of maximum increase in intensity, regulated intersections are heavily overloaded with transport, which is visually displayed as traffic jams. All this leads to a sharp increase in economic, environmental, emergency and social losses, which contradicts the concept of ensuring road safety in the Republic of Belarus.

In order to implement management and control at busy intersections since the middle of the last century, various automation elements have been introduced. With the growth of traffic in cities, the need to increase the level of automation of systems grew. At present, various algorithms of adaptive regulation of traffic light objects are known and widely used in the world. The Republic of Belarus is significantly behind in this regard. The aim of the work is to give an example of efficiency from the introduction of adaptive regulation at traffic lights and to simulate the implementation of such events in a specialized software product PTV Vissim.

ПОДВИЖНОЙ СОСТАВ

УДК 629.4.015

А. В. ПУТЯТО, доктор технических наук, Е. Н. КОНОВАЛОВ, научный сотрудник, М. И. ПАСТУХОВ, кандидат технических наук, П. М. АФАНАСЬКОВ, научный сотрудник, Е. В. БУГАЕВА, соискатель, Н. В. БЕЛОГУБ, магистрант, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

ОЦЕНКА ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА НЕСУЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ ВАГОНА ПАССАЖИРСКОГО ПОСЛЕ ДЛИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Приведена методика определения остаточного ресурса несущей конструкции вагона пассажирского после длительной эксплуатации. Выполнены расчетные и экспериментальные исследования прочности металлоконструкции вагона пассажирского типа ПН, а также установлены значения физико-механических характеристик материала несущих элементов после 45 лет эксплуатации вагона. На основе расчетно-экспериментальной оценки получено, что несущая конструкция вагона обладает остаточным ресурсом не менее 13 лет эксплуатации.

Введение. В настоящее время существенное количество единиц железнодорожного подвижного состава колеи 1520 мм как в Республике Беларусь, так и в других странах имеет срок службы, превышающий установленный заводом-изготовителем. В то же время многолетний опыт отраслевой научно-исследовательской лабораторией «Технические и технологические оценки ресурса единиц подвижного состава» (ОНИЛ «ТГОРЕПС») обследования технического состояния вагонов после длительной эксплуатации показывает, что указанный в Технических условиях срок службы в большинстве случаев далек от предельного. Во многом это связано как с существенным запасом прочности, заложенным при проектировании, так и с особенностями эксплуатации конкретного типа вагонов.

Не являются исключением и вагоны пассажирские постройки Тверского вагоностроительного завода, нормативных срок службы которых составляет 28 лет. В соответствии с [1, 2] вагону может быть продлен срок службы после проведения работ по техническому диагностированию при условии наличия остаточного ресурса, причем общий срок службы пассажирского вагона (с учетом продления), как правило, не должен превышать полуторного назначенного срока службы, указанного в Технических условиях завода-изготовителя на базовую модель, а при использовании в качестве вагонов специального назначения – не более 45 лет. В то же время для таких вагонов в исключительных случаях по отдельным методикам с учетом технического состояния и экономической целесообразности срок службы может составить не более двойного от назначенного заводом-изготовителем [2].

Таким образом актуальной является задача оценки остаточного ресурса несущей конструкции вагона пассажирского, эксплуатируемого в качестве специально-технического при сроке его службы свыше 45 лет.

Процедура оценки остаточного ресурса несущей конструкции вагона после длительной эксплуатации. Для оценки остаточного ресурса несущей конструкции вагона воспользуемся процедурой, предложенной в [3] и включающей следующие основные этапы:

1 Изучение технической документации, условий эксплуатации, анализ информации по проведению технических освидетельствований и ремонтов вагонов.

2 Разработка диагностических карт металлоконструкции вагона, выполнение визуального контроля, измерение толщин элементов конструкции, контроль сварных швов и основного металла, отбраковка вагонов, а также отбор образца с худшим техническим состоянием для проведения испытаний.

3 Разработка компьютерных моделей и выполнение виртуальных испытаний вагона с учетом фактических значений толщин элементов конструкции для определения соответствия деградированной конструкции требованиям актуальной нормативной документации.

4 Проведение натуральных контрольных испытаний несущей конструкции вагона при характерных режимах нагружения.

5 Анализ результатов расчетов и испытаний, установление проблемных зон несущей конструкции, разработка схемы вырезки образцов и их изготовление для исследования химического состава и физико-механических характеристик материала несущей конструкции.

6 Исследование химического состава и физико-механических свойств материала несущей конструкции вагона после длительной эксплуатации (σ_T , σ_B , $\sigma_{1.1}$, δ , ψ , HV , KCU).

7 Расчетно-экспериментальная оценка остаточного ресурса несущей конструкции вагона с учетом проведенных испытаний натурального объекта и установленных характеристик материала.

В рамках этапа 1 изучаются особенности конструкции вагона, устанавливаются материалы, из которых изготовлены несущие элементы, выполняется анализ информации по проведению технических освидетельствований и ремонтов, изучаются условия эксплуатации.

В рамках этапа 2 выполняется разработка диагностических карт, в которых наряду с указанием основных данных вагона (номер, год постройки, дата и место последнего ремонта и т. п.), устанавливается объем проведения технического обследования; указываются основные характеристики вагона и места определения фактической толщины металлоконструкции; приводятся результаты контроля сварных швов и основного металла; отмечаются наличие дефектов (трещин, деформаций и т. п.), а также характеристики применяемого оборудования. По результатам технического обследования выполняется отбраковка вагонов, не подлежащих

ремонту согласно действующей нормативной документации. Из обследованной партии вагонов отбирается образец (или образцы) для дальнейшего проведения контрольных испытаний.

В результате реализации этапа 3 выполнен комплекс расчетов на прочность при характерных режимах нагружения с учетом коррозионного износа элементов конструкции, установленного в результате технического обследования. Анализ результатов расчетов показал, что уровень напряжений не превышает допустимых значений, установленных в [4]. Также на основе результатов выполненных расчетов с учетом информации, полученной при техническом обследовании вагонов совместно со специалистами Испытательного центра БелГУТа, разработана схема наклейки тензометрических датчиков T1...T41 (рисунок 1) для дальнейшего проведения контрольных испытаний. Рассмотрим результаты

реализации последующих этапов методики подробнее.

Результаты экспериментальных исследований.

Отобранный образец (вагон) с наихудшим техническим состоянием на этапе 4 прошел комплекс контрольных испытаний, включающих режимы нагружения, характерные для эксплуатации: соударение вагонов, продольные нагрузки в составе поезда, сброс с клиньев (имитация вертикальных колебаний при эксплуатации).

На рисунке 2 приведены диаграммы амплитудных динамических напряжений для режима соударения вагонов при действии продольного усилия 2,5 МПа для контрольных точек T1...T41. Аналогично получены массивы данных амплитудных динамических напряжений в контрольных точках при других режимах нагружения.

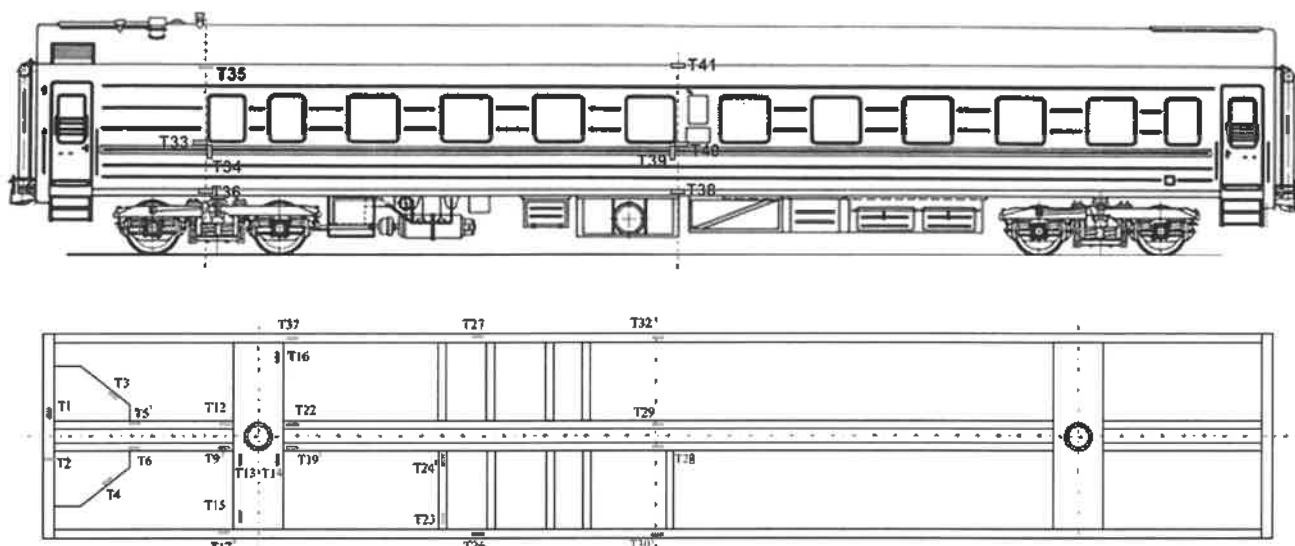


Рисунок 1 – Схема наклейки тензометрических датчиков T1...T41

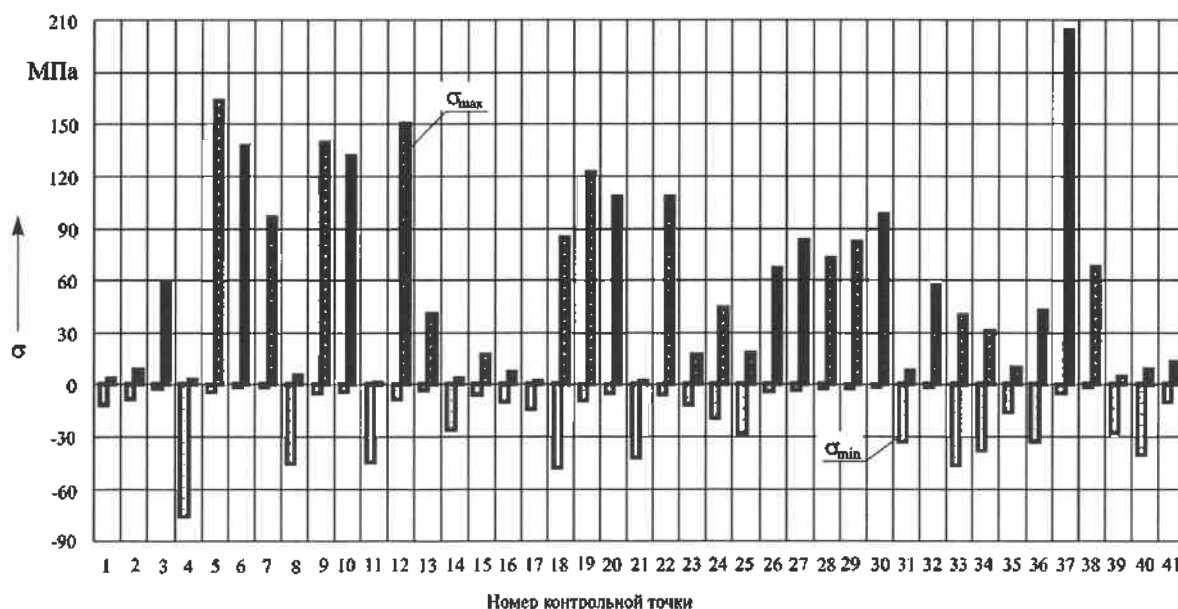


Рисунок 2 – Диаграммы амплитудных значений динамических напряжений для контрольных точек T1...T41 при ударном нагружении в автосцепное устройство силой 2,5 МН

Результаты расчетов и проведенных испытаний дают практически полную картину напряженно-деформированного состояния конструкции вагона. В то же время, учитывая его длительную эксплуатацию, необходимо знать информацию о фактических значениях физико-механических характеристик материала, из которого изготовлена несущая конструкция, определяющая остаточный ресурс вагона. Хребтовая балка подвергалась воздействию циклически изменяющейся нагрузки и в процессе длительной эксплуатации это может привести к зарождению и аккумуляции в отдельных областях дефектов, снижающих механические характеристики стали. Базируясь на полученных результатах расчетов и испытаний, на этапе 5 установили проблемные зоны несущей конструкции, из которых вырезаны образцы металла для исследования его химического состава и физико-механических свойств.

Сравнительный анализ химического состава исследуемого металла и состава сталей, регламентируемого п. 4.1 и таблицей 1 ГОСТ 380, проведенный на этапе 6, указывает на то, что элементы хребтовой балки вагона изготовлены из стали, химический состав которой соответствует стали углеродистой обыкновенного качества марки Ст3сп. Также установлены значения основных механических характеристик стали (предел текучести σ_T , предел прочности σ_B , относительное удлинение δ , относительное сужение ψ), которые представлены в таблице 1. Получено, что механические характеристики стали фрагментов хребтовой балки по показателю «Предел текучести» удовлетворяют требованиям ГОСТ 535, предъявляемым к стали Ст3сп. Значения показателя «Предел прочности» находятся вблизи верхнего предела, незначительно его превышая. Значения показателя «Относительное удлинение» несколько ниже значений, регламентированных ГОСТ 535, предъявляемым к стали Ст3сп.

Таблица 1 – Механические характеристики стали

Номер образца	σ_T	σ_B	δ	ψ
	МПа	МПа	%	%
	Таблица 2 ГОСТ 535–2005			
	< 255	380–490	< 26	–
1	365	480	22,0	64
2	340	478	24,5	49
3	458	578	18,9	54
4	392	492	17,7	59
5	419	527	19,0	63
6	378	493	27,3	55
7	342	473	24,7	54
8	364	482	25,3	60
9	381	493	21,6	63
10	378	494	22,4	58

Приведенные в таблице 1 данные свидетельствуют о том, что относительное расхождение значений твердости в различных точках сечения вертикальной стенки не превышает $\pm 10\%$. Среднее значение твердости стали, из которой изготовлена вертикальная стенка хребтовой балки пассажирского вагона, по Бринеллю составляет 171 НВ, по Роквеллу – 86,4 HRB.

Показатель ударной вязкости характеризует сопротивление металла разрушению при воздействии ударных нагрузок и косвенно отражает его усталостную прочность. По результатам испытаний образцов установлено, что сталь хребтовой балки обладает удовлетворительным сопротивлением разрушению при воздействии ударной нагрузки ($KCU = 88$ Дж/см²).

В таблице 2 приведены результаты экспериментального определения характеристик сопротивления усталости материала несущей конструкции.

Таблица 2 – Значения характеристик сопротивления усталости

Характеристика	Обозначение	Значение
Предел выносливости, МПа	σ_{-1}	145
Абсцисса точки перелома кривой усталости, цикл	N_{G_0}	$9,37 \cdot 10^6$
Коэффициенты уравнения кривой усталости	a	-0,125
	b	3,034
Показатель наклона левой ветви кривой усталости	m_0	8,0

В соответствии с данными для стали Ст3 с пределом прочности 425 МПа характерен предел выносливости 150 МПа.

Определение остаточного ресурса несущей конструкции вагона. Исходными данными для определения остаточного ресурса выступили фактические механические свойства материала после длительной эксплуатации вагона, а также результаты экспериментальных натурных исследований напряженного состояния металлоконструкции в контрольных точках (см. рисунок 1) при различных характерных режимах нагружения. Расчет остаточного ресурса выполнен по методике, изложенной в [3] с учетом следующих допущений:

- усталостное повреждение или разрушение материала вагона в основном происходит при упругом деформировании;
- параметром, определяющим циклическую прочность, является коэффициент запаса сопротивления усталости;
- справедлива линейная гипотеза суммирования усталостных повреждений;
- для неустановившегося режима нагружения амплитудные значения динамических напряжений приводятся к эквивалентному симметричному циклу.

В конечном итоге остаточный ресурс для каждой контрольной точки T1...T41 вычислялся по формуле

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

где N_0 – базовое число циклов, $N_0 = 10^7$; $\sigma_{a,N}$ – предел выносливости (по амплитуде) для контрольной зоны при симметричном цикле и установившемся режиме нагружения при базовом числе циклов, который в отличие от нормативной методики определяется с учетом фактического предела выносливости материала после длительной эксплуатации и коэффициента снижения предела выносливости в выбранной контрольной зоне;

$[n]$ – минимально допустимый коэффициент запаса сопротивления усталости за выбранный срок службы; m – показатель степени в уравнении кривой усталости в амплитудах; K^k – коэффициент, связывающий суммарное число циклов динамических напряжений с расчетным суммарным сроком службы для k -го режима нагружения; σ_{ai}^k – уровень амплитуд напряжений в i -м интервале k -го режима нагружения; p_i^k – вероятность (частота) действия уровня амплитуд $\sigma_{a,N}$ в i -м интервале k -го режима нагружения.

Опуская промежуточные расчеты, составим диаграмму (рисунок 3), где приведены результаты определения долговечности, в годах, для наиболее нагруженных контрольных зон.

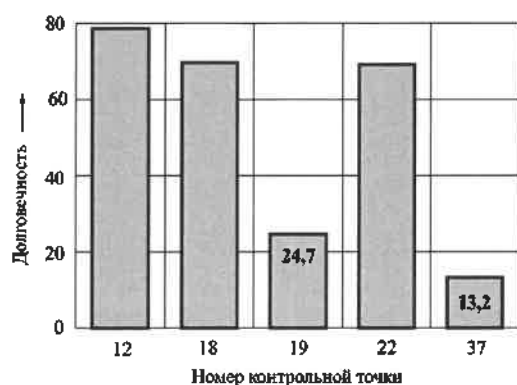


Рисунок 3 – Результаты определения долговечности

Таким образом, по результатам расчетно-экспериментальной оценки долговечности по критерию усталостной прочности опытного образца вагона после 45 лет эксплуатации, можно сделать заключение, что несущая металлоконструкция обладает остаточным ресурсом не менее 13 лет эксплуатации.

Заключение.

1 В результате обследования технического состояния металлоконструкций вагонов пассажирского типа ПН, постройки Тверского вагоностроительного завода

Получено 21.05.2020

A. V. Putsiata, Ye. N. Kanavalau, M. I. Pastubou, P. M. Afanaskou, Ye. V. Bugaeva, N. V. Belahub. Estimation of residual resource of a bearing construction of passenger railway car after long term operation.

The technique of definition of a residual resource of the bearing construction of passenger railway car after long term operation is presented. Theoretical and experimental researches of durability of a metal construction of passenger railway car type "ПН" after operation 45 years are executed. The actual physical and mechanical characteristics of material of a construction are established. On the basis of calculation and tests it is received that the bearing construction of the railway car has a residual resource not less than 13 years.

после длительной эксплуатации (свыше полуторного назначенного срока службы) установлен незначительный процент их отбраковки, что косвенно свидетельствует о наличии у них остаточного ресурса.

2 Выполнены расчетные и экспериментальные исследования прочности металлоконструкции вагона с наихудшим техническим состоянием по критерию коррозионного износа со сроком службы 45 лет, которые показали соответствие ее нормативным требованиям прочности.

3 Экспериментально установлены физико-механические характеристики материала несущей конструкции вагона после длительной эксплуатации, в том числе предел выносливости материала.

4 Выполнена расчетно-экспериментальная оценка остаточного ресурса несущей конструкции вагона пассажирского типа ПН на основе полученных экспериментальных данных прочностных испытаний натурного образца (вагона), а также фактических значений механических характеристик материала металлоконструкции после 45-летней эксплуатации. Установлено, что несущая конструкция вагона обладает остаточным ресурсом не менее 13 лет эксплуатации.

Список литературы

1 Положение о продлении срока службы пассажирских вагонов, курсирующих в международном сообщении : утв. Советом по железнодорожному транспорту государств – участников Содружества, протокол от 21–22 октября 2014 г. № 61. – М. : ВНИИЖТ, 2014. – 35 с.

2 СТБ 2534–2018 Железнодорожный подвижной состав. Порядок продления срока службы. Общие положения. – Минск : Госстандарт, 2018. – 21 с.

3 Путято, А. В. Прогнозирование остаточного ресурса вагона хоппер-дозатора после длительной эксплуатации с учетом фактических физико-механических характеристик материала несущей конструкции / А. В. Путято, Е. Н. Коновалов, П. М. Афанаськов // Механика машин, механизмов и материалов. – 2016. – № 1(34). – С. 26–35.

4 Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колес 1520 мм (несамоходных) / ГосНИИВ-ВНИИЖТ. – М., 1983. – 260 с.

УДК 658.3:656.2

В. В. БУРЧЕНКОВ, кандидат технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель, И. В. АСАДЧИЙ, Белорусская железная дорога, г. Минск

АНАЛИЗ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА В ПРОЦЕССЕ ДВИЖЕНИЯ

Рассмотрены методы контроля технического состояния подвижного состава при его движении. Показано, что применение системы управления Cisco Prime с использованием инвентарных номеров вагонов позволит обеспечить надежный контроль исправности деталей и узлов подвижного состава.

Для решения задач по обеспечению безопасности движения поездов с одновременным сокращением эксплуатационных затрат на многих железных дорогах мира применяются различные автоматизированные системы бесконтактного контроля (АСК) технического состояния подвижного состава в процессе его движения, такие как КТСМ-01Д и КТСМ-02, автоматические системы коммерческого осмотра поездов и вагонов (АСКО ПВ «электронные варота»), автоматизированные системы номерного учета, контроля дислокации, анализа работы и регулирования вагонным парком (ДИСПАРК) и т. п. [1].

Технические характеристики вышеперечисленных систем приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Технические характеристики систем бесконтактного контроля подвижного состава

Система	Измеряемые параметры	Погрешность измерения	Скорость подвижного состава, км/ч
КТСМ-02 (Россия)	Температура буксовых узлов	$\pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$	250
КТСМ-03 (Россия)			300
НОА-400 (ФРГ)	Температура буксовых узлов и тормозных дисков	$\pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$	350
WIS (США)	Профиль и диаметр колеса	$\pm 0,4 \text{ мм}$	80
	Высота и толщина гребня и обода	$\pm 0,2 \text{ мм}$	
WHEEL SCAN (США)	Высота и толщина гребня, толщина обода	$\pm 0,05 \text{ мм}$	30
	Прокат на поверхности катания, ползуны		
ATLAS (Австрия)	Развеска вагонов по тележкам, осям, сторонам поезда	$\pm 50 \text{ кг}$	60

Анализ таблицы 1 показал, что системы контроля как стран СНГ, так и дальнего зарубежья являются узкофункциональными и не интегрированы со смежными устройствами, относящимися к другим службам. Следует отметить, что в современных системах диагностики также используется сложившаяся технология поездной работы и не расширен существующий перечень контролируемых деталей и узлов вагонов и локомотивов,

ограничиваясь совершенствованием технических средств. При этом ни одна из указанных систем не формирует адекватную цифровую модель состояния вагона в реальном масштабе времени из-за отсутствия комплексного подхода к оценке подвижного состава по его состоянию [2]. Очевидно, что эффективная реализация концепции взаимоувязки систем в единую компьютерную сеть отслеживания каждой подвижной единицы зависит от возможности использования идентификаторов вагонов, в качестве которых возможно применение инвентарных номеров подвижного состава. На это указывает опыт эксплуатации систем автоматизированного управления движением поездов в XXI веке как в Западной Европе, так и в США, использующих инвентарные номера вагонов для точного определения местонахождения каждого вагона [3].

В США введена в эксплуатацию система автоматической радиочастотной идентификации вагонов Amtech стандарта ISO 10374 (компания Amtech Systems Division корпорации Intermecc Technologies). В настоящее время кодовыми бортовыми датчиками Amtech оборудовано более 1,5 млн вагонов и 1100 локомотивов, а на сети железных дорог США и Канады установлено свыше 3000 считывателей. Система позволяет автоматически отслеживать прибытие вагонов на станции назначения или разгрузки, а также на подъездные пути предприятий и сортировочных станциях. С ее помощью осуществляется контроль локомотивов [3].

В Европе для идентификации транспортных средств используется система Dupicom – совместная разработка фирм Amtech и Alcatel. Она отличается от американской системы рабочими характеристиками, местами расположения считывателя и датчика, а также используемыми радиочастотами в диапазоне 2400–2500 МГц. Максимальная скорость движения состава мимо пункта считывания достигает 400 км/ч. На железнодорожном транспорте система Dupicom используется во Франции, Швейцарии, Польше, Испании [4].

В странах СНГ внедряется система автоматической идентификации подвижного состава (САИПС-Т) для локомотивов и САИПС-В – для вагонов. Использование системы САИПС-В ограничено, так как только 15 % от общего числа вагонов (1,2 млн), обращающихся на железных дорогах СНГ, оборудовано кодовыми бортовыми датчиками.

Таким образом, учет инвентарного номера вагона позволяет операторам при отклонении какого-либо параметра от нормы идентифицировать неисправный объект, а также проверить информацию и принять эф-

эффективные меры в соответствии со сложившейся ситуацией. Кроме этого, такой подход позволяет сформировать базу данных технического состояния вагона, что обеспечивает эффективную информационную поддержку планирования технического обслуживания и ремонта, поскольку становится возможным прогнозировать сроки проведения профилактических мероприятий подвижного состава в течение длительного периода эксплуатации [5].

Существенным этапом совершенствования технологии контроля и диагностики подвижного состава является применение интернет-технологий, таких как Internet of Things IoT и больших данных (BIG DATA), которые обеспечивают централизованный производственный процесс управления и контроля, а также полную его автоматизацию с выдачей требуемой информации о показателях качества процесса [6, 7]. Для универсализации операций по обработке измерительной информации может быть использовано объединение программного обеспечения АСК ПС с компьютерными программами системы управления Cisco Prime [8]. При этом платформа Cisco Prime обеспечит возможность сбора, хранения, анализа и доставки информации на рабочие места дежурных по станции, оперативных работников отделений дороги и управления дороги. Она интегрирует в единый информационно-измерительный комплекс системы контроля нагретых букс и колес, а также устройства контроля ударных нагрузок, передаваемых от колеса на рельсы, системы обмера колес, устройства акустического контроля роликовых буксовых подшипников и контроля нагрева рельсов, устройства взвешивания вагонов в движении, контрольно-габаритные устройства [7]. В совокупности реализуется централизация процессов сбора, передачи и обработки показаний аппаратуры бесконтактного контроля ходовой части вагонов при движении поезда. Интеграция входящих в Cisco Prime подсистем возможна при использовании специальных шаблонов и централизованного применения этих подсистем.

В общий технологический стек архитектуры Cisco Prime входят технические компоненты с открытым исходным кодом (open-sours), а также распространенные технологии Cisco. Все отделенческие серверы АСК ПС имеют базу данных Vitruve для хранения информации о автоматизированных рабочих местах линейных АРМ ЛПК и центральных пунктов контроля АРМ ЦПК, адресах и параметрах доступа, что позволяет исключить дублирование данных при эксплуатации программных продуктов Cisco Prime. Для работы с базой данных используются подпрограммы, предназначенные для автоматизации процедур, обращение к которым производится через интерфейс Cisco Prime. В качестве вычислительной платформы поддерживается как Cisco Unified Computing System (UCS), так и перспективная серверная платформа TWIMP. Для интеграции с эксплуатируемой системой АСК ПС применяется интерфейс NBI (North Bound Interface), использующий технологию Web Services, который обеспечивает получение информации из системы (инвентарные данные о номерах вагонов и локомотивов, данные по конфигурации и местоположению периферийных комплексов).

В иерархической структуре АСК ПС (периферийные устройства контроля на перегоне, станции, отделении

дороги и системы распределения информации управления дороги) система Cisco Prime выполняет такие функции, как управление элементами и сетью, сквозная настройка услуг на сети и устройствах отделений дороги, диагностика оборудования и услуг, мониторинг состояния системы, а также периферийных устройств (таблица 2).

Таблица 2 – Краткая характеристика функций подсистем Cisco Prime

Подсистема Cisco Prime	Функция
Central	Формирование централизованной инвентарной базы данных для отделений дороги с обеспечением доступа и его управлением через единый портал Обеспечение непосредственного взаимодействия с системой АСК ПС
Provisioning	Администрирование сети Проверка исправности периферийных устройств и работоспособности сети передачи данных линейных пунктов контроля
Optical	Формирование инвентарных данных по дополнению системы АСК ПС фотоэлектронными устройствами контроля габарита и коммерческой исправности поездов и вагонов Формирование банка данных об инвентарных номерах вагонов на основе топологии и конфигурации сетевых устройств
Network	Анализ технических данных о составе оборудования и конфигурации Формирование информационных сообщений Обеспечение периодической автодиагностики периферийных устройств контроля с использованием виртуальной модели сети АСК ПС

Действие системы Cisco Prime базируется на гибкой интеграции набора компонент (Cisco Prime Central, Cisco Prime Network, Cisco Prime Provisioning, Cisco Prime Optical и Cisco Prime Performance Manager и др.) на основе общей платформы (рисунок 1).

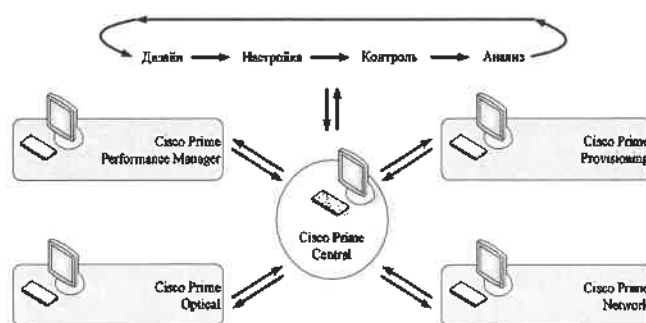


Рисунок 1 – Общая платформа действия системы Cisco Prime

CiscoPrime предоставляет опции по развертыванию системы в распределенной архитектуре и использованию отказоустойчивых конфигураций. Ее компоненты могут быть установлены на серверах АСК ПС в отделениях дороги. Технические решения алгоритмов Cisco Prime основаны на устройствах высокоскоростной передачи данных.

Постоянно функционирующая модель сети поддерживается с помощью виртуальных сетевых элементов VNE (Virtual Network Element). При этом каждый VNE отображает одно сетевое устройство в виде локальной компьютерной сети ЛКС отделения дороги, получает от него данные и контролирует его технические характеристики. Все VNE независимы друг от друга и работают параллельно. В результате совместной деятельности они обеспечивают полную базу данных накопленной информации по каждому отделению дороги и его взаимосвязям.

Применение системы управления Cisco Prime на транспортной сетевой инфраструктуре Белорусской железной дороги способствует повышению надежности и ускорению реализации проектов цифровизации технического контроля и диагностики подвижного состава, а также снижению рисков и минимизации влияния человеческого фактора на безопасность перевозочного процесса. Для интеграции в единый информационный комплекс разнообразных напольных систем мониторинга подвижного состава предлагается использовать компьютерную платформу T&IMP (таблица 3).

Таблица 3 – Краткая характеристика функций платформы T&IMP

Платформа T&IMP	Функция
TCCS	Система контроля соответствия поездов требованиям безопасности перевозочного процесса на железной дороге
WIM	Выявление перегруженных вагонов в движении
WILD	Контроль ударных нагрузок, передаваемых от колеса на рельсы
HABD/HWD	Контроль нагретых букс и колес
WMS	Измерение геометрических параметров колес
ABD	Акустический контроль роликовых буксовых подшипников
RHT	Контроль воздействия вагонных колес на инфраструктуру

На основе этой информации и статистических данных можно прогнозировать отказы и оптимизировать планирование технического обслуживания и ремонта для сокращения затрат без ущерба для безопасности движения поездов. Важным этапом контроля является слежение за перемещением подвижного состава на пунктах технического обслуживания ПТО железнодорожных узлов и сортировочных станций. Здесь важную роль выполняет система автоматической идентификации под-

Получено 01.09.2020

V. V. Burchankov, I. V. Asadchiy. Analysis of technical condition control methods rolling staff during movement.

Methods for monitoring the technical condition of the rolling stock during its movement are considered. It is shown that the use of the Cisco Prime control system using the inventory numbers of cars will provide reliable control of the health of parts and units of the rolling stock.

вижного состава САИПС. Она обеспечивает присвоение вагонам инвентарных номеров, поступивших из системы АСКИН, дополнительное уточнение инвентарных номеров посредством системы АСКО ПВ, либо телевизионной системы считывания. Возможно присвоение условных номеров для вагонов, не оборудованных кодовыми бортовыми датчиками; определение вагонов с дефектами, показанными новыми комплексами технических средств КТСМ-03, либо системами обнаружения дефектов колес по поверхности катания LASCA, КТСМ-К и Комплекс-2 при движении по перегону [9].

Заключение. Внедрение цифровых технологий позволяет повысить безопасность перевозочного процесса за счет применения многофакторного сбора измерительной и диагностической информации.

Присвоение вагонам и локомотивам инвентарных номеров позволяет обеспечить непрерывный контроль местонахождения и технического состояния подвижных единиц в реальном масштабе времени.

Список литературы

- 1 Бурченко, В. В. Автоматизация контроля технического состояния подвижного состава : учеб.-метод. пособие / В. В. Бурченко. – Гомель : БелГУТ, 2008. – 235 с.
- 2 Орлова, А. М. Концепция «умного» вагона / А. М. Орлова // Техника железных дорог. – 2018. – № 2 (42). – С. 4–5.
- 3 Гартнер, Е. Железные дороги США: особенности грузовых и пассажирских перевозок / Е. Гартнер // Железные дороги мира. – 2007. – № 4. – С. 9–32.
- 4 Бурченко, В. В. Техническая диагностика состояния подвижного состава и перспективы ее развития в Западной Европе и США / В. В. Бурченко, О. В. Холодильников // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2017. – № 1 (34). – С. 5–9.
- 5 Савицкий, А. Г. Инновационный подход к управлению движением на станциях / А. Г. Савицкий, А. В. Шурдак, И. В. Мирошкин // Автоматика, связь, информатика. – 2016. – № 3. – С. 24–27; № 4. – С. 36–38; № 5. – С. 25–28.
- 6 Тамаркин, В. М. Промышленный интернет вещей на железнодорожном транспорте / В. М. Тамаркин, Т. Э. Лобанова, М. В. Тамаркин // Автоматика, связь, информатика. – 2018. – № 8. – С. 10–13.
- 7 Дегнилов, К. В. Технологии bigdata в железнодорожном транспорте / К. В. Дегнилов, Н. И. Капустин // Железнодорожный транспорт. – 2018. – № 7. – С. 50–52.
- 8 Радионов, М. Ю. Система управления транспортной сетью Cisco Prime / М. Ю. Радионов // Автоматика, связь, информатика. – 2013. – № 12. – С. 10–13.
- 9 Негрей, В. Я. Перспективы использования цифровых технологий на сортировочных станциях / В. Я. Негрей, В. В. Бурченко // Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование (ИСУЖТ-2018) : тр. седьмой науч.-техн. конф. – М. : ОАО «НИИАС», 2018. – С. 153–154.

УДК 629.4.077-592

Е. Э. ГАЛАЙ, кандидат технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

АНАЛИЗ МЕТОДА ОЦЕНКИ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ ГРУЗОВОГО ПОЕЗДА ТОРМОЗАМИ НА ЗАПАДНОЕВРОПЕЙСКИХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГАХ

Различие в методах расчета отечественных и западноевропейских тормозов отчасти объясняется различием в конструкции тормозных систем грузовых вагонов и межвагонных соединений, влияющих на вес поездов. В отечественных тормозах установлено наименьшее тормозное нажатие на 100 т массы грузового поезда в пересчете на чугунные колодки, которым должен обладать поезд для нормального следования при соответствующей скорости [1]. Обеспеченность поезда тормозами на железных дорогах Западной Европы оценивается по суммарной тормозной массе вагонов.

На западноевропейских железных дорогах, в частности на РКР (Polske Koleje Państwowe), обслуживание тормозов производится согласно «Инструкции по обслуживанию и содержанию в эксплуатации тормозов подвижного состава (2016 г.)» [2].

Как и на отечественных железных дорогах, в Западной Европе долгое время преимущественно применялись чугунные тормозные колодки, коэффициент трения которых резко уменьшается с увеличением скорости. Поэтому силы нажатия для грузовых поездов, скорости которых не превышают 100 км/ч, определены для скорости 50 км/ч.

Для оценки эффективности тормозов применяют условное понятие, не имеющее физического или технического эквивалента, – тормозная масса (мощность). В методике по расчету тормозов по методу UIC (МСЖД) [3] приводятся понятия:

– тормозная масса – количественно выраженное среднее значение способности затормозить поезд или отдельную единицу подвижного состава, представляется целым числом, т;

– тормозная мощность – способность к остановке поезда или вагона в пределах тормозного пути при заданной скорости начала торможения. Тормозная мощность может быть выражена в процентах отношением тормозной массы B_{ϕ} , деленной на массу брутто единицы подвижного состава или поезда, умноженным на 100, или расчетом параметров торможения (тормозной путь, время торможения, замедление поезда);

В Западной Европе приняты следующие обозначения тормозов (включения тормоза): грузовой – G, пассажирский – P, скорый – R (тормозная масса 121–149 %), с повышенной мощностью торможения – $\diamond R$ (тормозная масса 150–170 %), магнито-рельсовый – Mg, с авторежимом – A. Хотя многие грузовые вагоны имеют автотормоза, включаемые в режим торможения G, время заполнения тормозного цилиндра соответствует требованиям, предъявляемым к режимам торможения P или G.

С 1 января 2004 г. все единицы подвижного состава, эксплуатируемые в международном сообщении, должны иметь маркировку в соответствии с 4-м изданием Брошюры МСЖД 544-1. Значения тормозной массы принимаются в тоннах. Эти параметры показывают ее значение для грузового вагона 500-метрового поезда в положении торможения P (G).

На дорогах Западной и Центральной Европы с шириной колеи 1435 мм грузовые вагоны, как и пассажир-

ские, имеют двухстороннее нажатие тормозных колодок на колесо.

Обеспеченность поезда тормозами принято оценивать по суммарной тормозной массе вагонов, придерживаясь условия

$$\sum B_{\phi} \geq \sum B, \quad (1)$$

где $\sum B_{\phi}$ – действительная (фактическая) тормозная масса вагонов поезда, т; $\sum B$ – потребная тормозная масса по условиям движения, т.

В эксплуатации и расчетах тормозную массу обычно выражают в процентном отношении к массе единицы подвижного состава или поезда. Требуемый процент тормозной массы каждого поезда приводится в служебном расписании движения поездов в соответствии с допустимой скоростью на участке следования. Он должен быть меньше или равен теоретическому, равному сумме расчетных значений.

Процент тормозной массы вагона (поезда) определяется из соотношения

$$\lambda = \frac{\sum B_{\phi} \cdot 100}{\sum Q}, \quad (2)$$

где Q – масса брутто одного вагона, т; $\sum Q$ – масса брутто поезда, т.

Действительная фактическая (тормозная) масса грузового вагона определяется для скорости до 120 км/ч при осевой нагрузке до 22,5 т. Расчетный диаметр колес вагона должен быть от 920 до 1000 мм. Применяются тормозные колодки из чугуна марки P10, тип колодок B_g (одинарные) при силе нажатия от 5 до 40 кН и двойные колодки B_{g1} при суммарной силе нажатия от 5 до 55 кН.

Допускаемая сила нажатия тормозных колодок может оцениваться и в зависимости от сцепления колес с рельсами или по прочности тормозных колодок. Она определяется в зависимости от фактической загрузки вагона, типа тормозов и наличия авторежима. Двухстороннее нажатие колодок на колесо грузовых вагонов позволяет значительно увеличить тормозную мощность поезда.

На грузовых и пассажирских вагонах применяются воздухораспределители Oerlikon (Est), Клопг (KEs), DAKO (Dk) различных серий. Подготовка тормозов в грузовом поезде предусматривает установку воздухо-

распределителя в положение «Порожний» или «Грузовой» в соответствии с загрузкой вагона. Также воздушные распределители могут быть переключены и в положение торможения «Грузовой», «Пассажирский», «Скорый», «С повышенной мощностью торможения». Положения рычагов и кранов, при которых обеспечивается требуемый способ действия тормоза, зависящий от вида поезда, скорости следования и требуемого процента тормозной массы, обозначаются в таблицах соответствующими буквами или сокращениями, размещенными на раме или кузове вагона.

Параметры действительной тормозной массы отдельного грузового вагона отображают ее значение в позиции торможения Р или G. Значение тормозной массы поезда равно сумме значений тормозной массы всех вагонов. С учетом динамической силы тормоза F_{dyn} при движении вагона, кН, тормозная масса, т,

$$B_{\phi} = \frac{k \sum F_{dyn}}{g}, \quad (3)$$

где k – расчетный коэффициент тормозной массы; $\sum F_{dyn}$ – сумма сил нажатия всех тормозных колодок во время торможения (динамическая сила тормоза), кН; g – ускорение свободного падения, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$.

Расчет $\sum F_{dyn}$ грузового поезда выполняют по следующей формуле:

$$\sum F_{dyn} = (F_i i_G - i^* F_R) \eta_{dyn}, \quad (4)$$

где F_i – усилие по штоку тормозного цилиндра с учетом действия авторегулятора рычажной передачи, кН; i_G – передаточное число тормозной рычажной передачи, определяется по ее схеме; i^* – число триангелей (траверс), в четырехосном вагоне при одноцилиндровой системе $i^* = 8$; F_R – сила противодействия пружины авторегулятора, при двухстороннем нажатии колодок $F_R = 2 \text{ кН}$, при одностороннем нажатии для отечественного авторегулятора 574Б $F_R = 1,6 \text{ кН}$; η_{dyn} – среднее значение КПД рычажной передачи при движении вагона, зависит от типа передачи; максимально η_{dyn} – не более 0,91, для стандартной передачи с одним тормозным цилиндром при двухстороннем нажатии колодок $\eta_{dyn} = 0,83$.

Применяемые для расчета тормозной массы B_{ϕ} грузового вагона значения коэффициента k для тормозных колодок Bg одинарных и Bgu двойных определяются по формуле

$$k = a_0 + a_1 F_{dyn} + a_2 F_{dyn}^2 + a_3 F_{dyn}^3; \quad (5)$$

Коэффициент	a_0	a_1	a_2	a_3
k_{Bg}	2,145	$-5,38 \cdot 10^{-2}$	$-7,8 \cdot 10^{-4}$	$-5,36 \cdot 10^{-6}$
k_{Bgu}	2,137	$-5,14 \cdot 10^{-2}$	$-8,32 \cdot 10^{-4}$	$-5,04 \cdot 10^{-6}$

Таблицы заданных числовых значений коэффициента k и графики $k(F_{dyn})$ (рисунок 1) для отдельных единиц подвижного состава разработаны УИС.

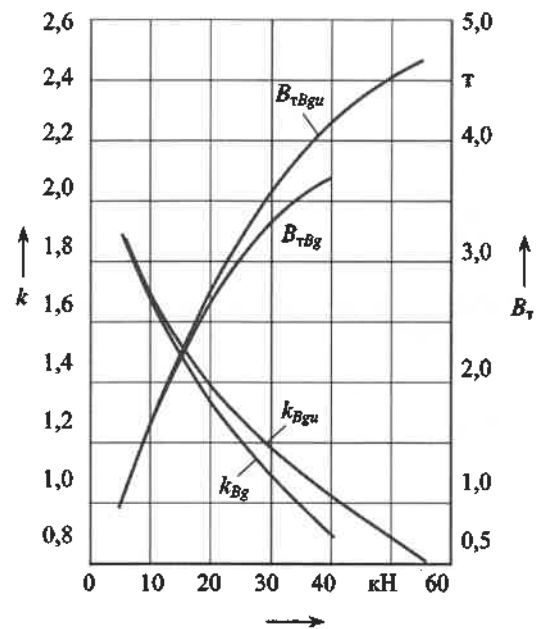


Рисунок 1 – Тормозная масса B , и расчетный коэффициент k в зависимости от динамической силы нажатия тормозных колодок F_{dyn} :

Bg – одинарные тормозные колодки;
 Bgu – двойные тормозные колодки

Для расчета тормозного пути поездов в положениях тормоза Р, R, $\langle R \rangle$, (R+Mg) применяется формула

$$s = \frac{C}{\lambda + D}, \quad (6)$$

где s – длина тормозного пути при экстренном торможении, м; λ – процент тормозной массы для данного вагона или поезда, %; C, D – постоянные, зависящие от скорости начала торможения поездов.

Тормозной путь отдельного вагона в этих же условиях рассчитывается при значениях постоянных C_1 и D_1 , указанных в таблице:

v , км/ч	C	C_1	D	D_1
100	61300	52840	8,9	10
120	91633	83634	11,6	19
140	130995	119179	11,6	19
160	176714	161280	11,6	19
180	228219	–	11,6	–
200	287620	–	11,6	–

При определении длины тормозного пути грузового 500-метрового поезда, оснащенного чугунными тормозными колодками Р10, в положении торможения G для уклонов 20 ‰ и меньше и скорости от 30 до 120 км/ч можно пользоваться диаграммами [3] (рисунок 2) или провести расчеты тормозной массы и длины тормозного пути единицы подвижного состава.

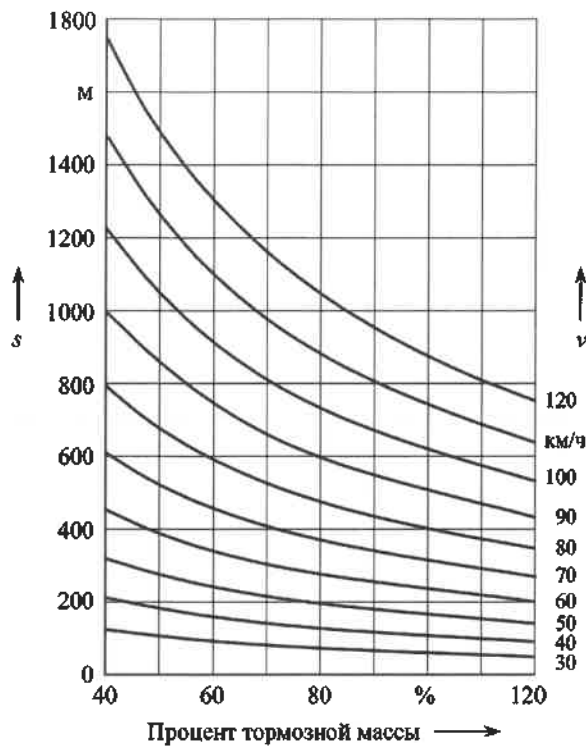


Рисунок 2 – График тормозных путей грузового поезда, оснащенного тормозными колодками Р10 в положении торможения G при уклоне 0 ‰

Тормозной путь грузового поезда, м, следующего с тормозами, включенными на режим G, при скорости до 90 км/ч может быть определен по формуле Саутгоффа [4]

$$s = \frac{3,85v^2}{5,1\psi\sqrt{\lambda_r} - 5 \pm i_r},$$

где v – скорость в начале торможения, км/ч; ψ – эмпирический коэффициент, зависящий от скорости; λ_r – расчетный коэффициент в соответствии с процентом тормозной массы поезда, i_r – расчетный уклон пути, ‰:

v , км/ч	10	20	30	40	50	60	70	80	90
ψ	0,41	0,61	0,75	0,85	0,92	0,97	1,00	1,00	1,00

Получено 22.09.2020

E. E. Halai. Analysis of the method for evaluating the security of a freight train with brakes on western european railways.

The difference in the calculation methods of domestic and Western European brakes is partly due to the difference in the design of the braking systems of freight cars and inter-car connections, which affect the weight of trains. In domestic brakes, the smallest braking pressure is set per 100 tons of the mass of a freight train in terms of cast iron shoes, which a train must have for normal travel at an appropriate speed [1]. The provision of a train with brakes on the railways of Western Europe is estimated by the total braking mass of the cars.

$$\lambda_r = C_\alpha \lambda,$$

где C_α – коэффициент, зависящий от длины поезда (числа осей):

Число осей	до 40	40–79	80–100	101–120	121–130
C_α	1,12	1,06	1,00	0,95	0,90

$$i_r = C_2 i,$$

где C_2 – коэффициент коррекции для уклона пути:

v , км/ч	10	20	30	40	50	60	70	80	90
C_2	0,60	0,62	0,64	0,66	0,68	0,70	0,72	0,74	0,75

Значения тормозной массы B_ϕ , нанесенные краской на элементы кузова вагонов, применяются при техническом обслуживании поезда. По служебному расписанию определяют необходимый процент тормозной массы, рассчитывают требуемую и фактическую тормозные массы поезда. Фактическая тормозная масса должна быть равна или больше требуемой.

Таким образом, анализ западноевропейского метода оценки обеспеченности поезда показал, что расчеты потребной тормозной массы, оцениваемой по способности поезда остановиться в пределах нормативного тормозного пути, учитывая разнообразие единиц подвижного состава, их массу и максимальную скорость, с которой могут двигаться поезда различного веса, являются достаточно сложными, поэтому выполняются при проектировании и постройке вагона.

Список литературы

- 1 Правила технического обслуживания тормозного оборудования и управления тормозами железнодорожного подвижного состава : утв. Советом по ж.-д. транспорту государств – участников Содружества (протокол от 6–7 мая 2014 г. № 60). – 180 с.
- 2 CW-1. Instrukcja obsługi i utrzymania w eksploatacji hamulców taboru kolejowego. – Warszawa, 2016.
- 3 Расчет тормозов по методу UIC (МСЖД). – Париж, 2004.
- 4 Handbuch Bremstechnische Begriffe und Werte. Knorr-Bremse AG. – München, 1990.

УДК 620.179.1:629.4.027.11:62–233.28

О. В. ХОЛОДИЛОВ, доктор технических наук, г. Гомель, М. Г. КУЗНЕЦОВА, кандидат технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель, А. А. МАРКАВЦОВ, инженер, КТЦ БелЖД, Дорожная лаборатория вагонного хозяйства, г. Минск

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОГО АНАЛИЗА ПРИ РАЗРАБОТКЕ МЕТОДИКИ БЕЗРАЗБОРНОЙ АЭ-ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ БУКСОВЫХ ПОДШИПНИКОВ

Рассмотрены вопросы совершенствования безразборной АЭ-диагностики состояния буксового узла колесной пары вагона. Показана возможность использования для оценки напряженно-деформированного состояния буксового узла метода конечно-элементного анализа. Полученные результаты позволяют установить наиболее точное место расположения преобразователей АЭ и могут быть использованы в качестве перспективного метода безразборной диагностики подшипниковых узлов подвижного состава не только в статике, но и по ходу движения поезда.

Подшипниковые буксовые узлы, устанавливаемые на осях и валах подвижного состава (ПС), являются важнейшими конструктивными элементами, от состояния которых в значительной степени зависит безопасность движения. Основная причина выхода из строя подшипников качения – нарушение режимов работы, загрязненность смазки, наличие в кольцах трещин, сколов, раковин и выкрашиваний на дорожках качения.

Анализ состояния вопроса

Взаимодействие колеса и рельса имеет сложный характер и сопровождается качением, поперечным и продольным проскальзыванием с различными скоростями. При этом колесная пара ПС обладает неподдрессированной массой, а установка внутреннего кольца подшипника на шейку оси осуществляется с натягом по горячей посадке. Совокупность многих факторов приводит к тому, что контакт «металл – металл» между вращающимися элементами подшипника создает высокие напряжения в зоне контакта. При этом традиционные методы неразрушающего контроля подшипников буксового узла тележки грузового вагона позволяют проводить контроль только в статике, предварительно разобрав буксовый узел. Так, технология деповского ремонта узлов с подшипниками качения предусматривает полный либо частичный демонтаж и проведение дефектоскопирования всех деталей подшипников. В настоящее время в депо для их контроля применяются магнитопорошковые и вихревые методы [1].

Широкое распространение получили системы выявления предаварийного состояния греющихся буксовых узлов на основе точного бесконтактного измерения температуры перегрева датчиками ИК-излучения. При этом средства выявления греющихся предаварийных буксовых узлов дополняются средствами ранней, задолго до появления перегрева, диагностики дефектов (повреждений, неисправностей) буксовых подшипников [2].

При диагностировании колец подшипников широкое распространение получил метод АЭ. Он позволяет автоматизировать процесс измерения и определять усталостные дефекты микроскопических размеров [3–6]. Источниками сигналов АЭ являются упругие волны от нормальных и касательных напряжений пятен контакта в дорожках качения, микроудары вследствие

шероховатости поверхности тел и дорожек качения, микроудары и удары от перекатывания дефектных поверхностей (шелушение, развитые трещины, сколы, раковины).

Выбор и реализация режима нагружения при АЭ-испытаниях является важной методической задачей. Для отработки методики контроля наряду с методом АЭ используется тензометрия [7], позволяющая определить величину максимальной испытательной нагрузки, достаточной для инициализации сигналов АЭ от дефектов.

В процессе АЭ-диагностики материал исследуемого объекта деформируется. При этом разнообразные дефекты выступают как концентраторы напряжений и излучают дискретные акустические волны локальной упругой разгрузки материала, причем более 90 % зарегистрированных сигналов относятся к акустическим помехам, что требует тщательной методической проработки.

В настоящее время известны *безразборная* и *разборная* технологии АЭ-контроля колец подшипников.

В безразборной технологии подшипниковых узлов, развиваемой в Российской Федерации, применяется один преобразователь акустической эмиссии (ПАЭ) [4]. Основными регистрируемыми параметрами служат суммарный счет и распределение энергии в функции времени либо нагрузки. Локализация дефекта отсутствует, что существенно ограничивает возможности данного метода.

Проведение АЭ-диагностики колец подшипников с определением координат дефектов повышает достоверность контроля. В промышленно развитых западных странах безразборная технология реализуется с применением четырех ПАЭ, устанавливаемых на подшипниковый узел [6]. При этом используется линейная локализация сигналов АЭ, изображаемая на развертке кольца подшипника. В процессе диагностирования была установлена корреляция между энергией сигналов АЭ и размерами дефектов. Отмечена взаимосвязь между размером дефекта дорожки качения подшипника и активностью сигналов АЭ, а также установлена линейная зависимость между длительностью сигнала АЭ и длиной дефекта.

В настоящее время места установки преобразователей для регистрации АЭ (ПАЭ) выявляют по результатам трудоемких предварительных экспериментов по определению напряженно-деформированного состояния

(НДС) контролируемого узла [8]. Численный конечно-элементный анализ для объектов сложной формы требует меньше временных затрат и при этом позволяет прогнозировать состояние объекта контроля. В связи с этим разработка численных алгоритмов применения конечно-элементного (КЭ) анализа для оценки НДС подшипниковых узлов подвижного состава является актуальным.

Оценка напряженно-деформированного состояния буксового узла

С точки зрения классической теории сопротивления материалов один из механизмов разрушения конструкции состоит в возникновении и развитии трещины до момента разделения детали на части, причем необходимыми и достаточными условиями разрушения твердого тела путем образования трещины является наличие местной концентрации механических напряжений и высокий градиент разности главных механических напряжений. При этом зарождение дефекта происходит в точке максимальной концентрации напряжений, а его развитие – в направлении градиента.

При отсутствии концентратора или достаточно высокого градиента напряжений трещина не рождается и не развивается. Если дефект есть, но нет высокого градиента напряжений, трещина также не развивается.

При наличии названных условий в точке, где на данный момент нет дефекта (разрыва сплошности металла), дефект непременно появится в ближайшем будущем, что и наблюдается на практике.

Анализ статического НДС подразумевает, что механическая конструкция подвержена воздействию заданной стабильной статической нагрузки. В случае приложения к ней переменной во времени нагрузки необходимо исследовать поведение конструкции в динамике.

Для компьютерного моделирования и расчета НДС, кинематики и динамики механических систем наиболее популярными программами являются [9, 10]:

а) программы анализа кинематики и динамики систем твердых тел (например, *ADAMS*, *Universal Mechanism*, *Working Model* и т. п.);

б) программы конечно-элементного анализа для гибких тел, например, *ANSYS*, *Nastran*, *Patran*, *Pro-Mechanica*, *LS-Dyna* и т. д.

Результаты исследований и их обсуждение

Выполнение анализа НДС подшипника и корпуса буксового узла тележки грузового вагона с помощью *ANSYS Workbench* включает в себя выполнение следующих основных этапов [10].

1 Подготовка расчетно-геометрической модели (РГМ) буксового узла для проведения инженерного анализа.

Расчетно-геометрическая модель создана с помощью CAD – системы *Autodesk Inventor Professional 2019*, затем импортирована в *ANSYS Workbench*.

2 Расчетная модель (РМ) – виртуальная упрощенная модель буксового узла. Этапы создания виртуальной физической модели:

а) задание модели материала с помощью модуля *Engineering Data*, который используется для систематизации и хранения данных о материалах, описания их свойств и входных параметров математических моделей с помощью дополнительного интерфейса оболочки *Workbench*. В разделе *Materials* имеется базовый мате-

риал *Structural Steel*, который по умолчанию присваивается всем телам расчетной модели (дополнительно был создан композитный материал, из которого выполнены отдельные элементы конструкций). Значимые параметры любого материала: модуль Юнга (*Young's Modulus*), коэффициент Пуассона (*Poisson's ratio*), плотность (*Density*), предел текучести на растяжение (*Tensile Yield Strength*), предел текучести на сжатие (*Compressive Yield Strength*), предел прочности на растяжение (*Tensile Ultimate Strength*) [11];

б) задание условий внешних воздействий. Нагрузки и закрепления добавляются с помощью контекстного (*Insert*) или кнопок панелей инструментов: *Loads* (нагрузки) → *Support* (закрепления) → *Inertial* (инерционные нагрузки). В окне свойств добавленного воздействия необходимо указать тело (строка *Geometry*), к которому это воздействие будет применено. *Force* – усилие, которое может быть распределено равномерно по поверхностям, соответствует направлению и численному значению реальной нагрузки на объект;

в) формирование КЭ-сетки (*Meshing*). Чтобы задать структуру сетки и форму ее ячеек, необходимо воспользоваться одним из интегрированных методов. Доступ к методам осуществляется через контекстное меню компонента *Mesh* в дереве *Outline*. Для формирования сетки КЭ используются управляющие параметры, содержащиеся в разделе *Mesh* дерева РМ;

г) задание набора выходных параметров. Выделяем в дереве РМ подраздел *Solution* раздела *Environment* и из выпадающего меню контекстной панели инструментов добавляем объекты *Normal Stress* (нормальные напряжения), *Total Deformation* (полная деформация);

д) выполнение расчета. Для выполнения КЭ-расчета необходимо нажать кнопку запуска решателя *Solve* на стандартной панели инструментов. Расчет выполняется автоматически, не требует вмешательства пользователя, может потребоваться значительное время для завершения в зависимости от сложности решаемой задачи и производительности компьютера.

Результаты расчета деформаций и напряжений представлены на рисунках 1–3.

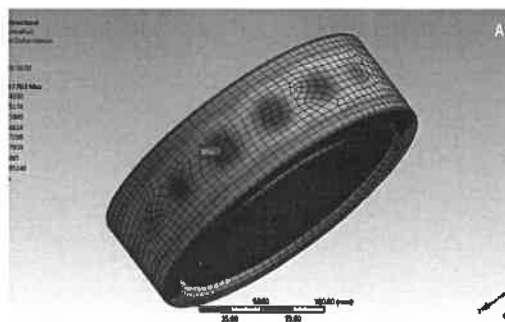


Рисунок 1 – Результаты расчета деформаций в подшипнике буксового узла

Расчеты НДС буксового подшипника показали, что максимальные напряжения во внешнем кольце возникают в момент, когда ролик подшипника находится в самом верхнем положении.

Следовательно, установка ПАЭ должна осуществляться в этом месте или как можно ближе к нему, поскольку при этом на выходе преобразователя будет формироваться сигнал с максимальной амплитудой.

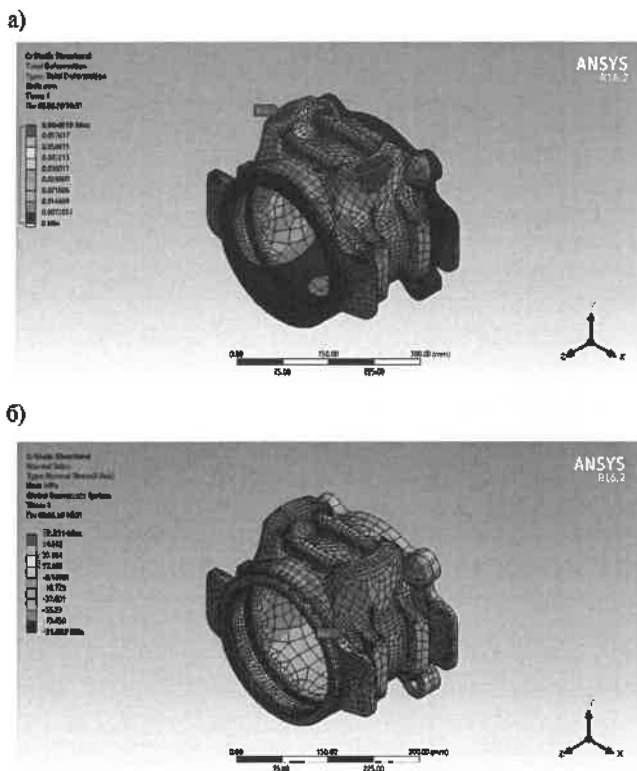


Рисунок 2 – Результаты расчета действия деформаций (а) и напряжений (б) на корпус буксового узла до модернизации

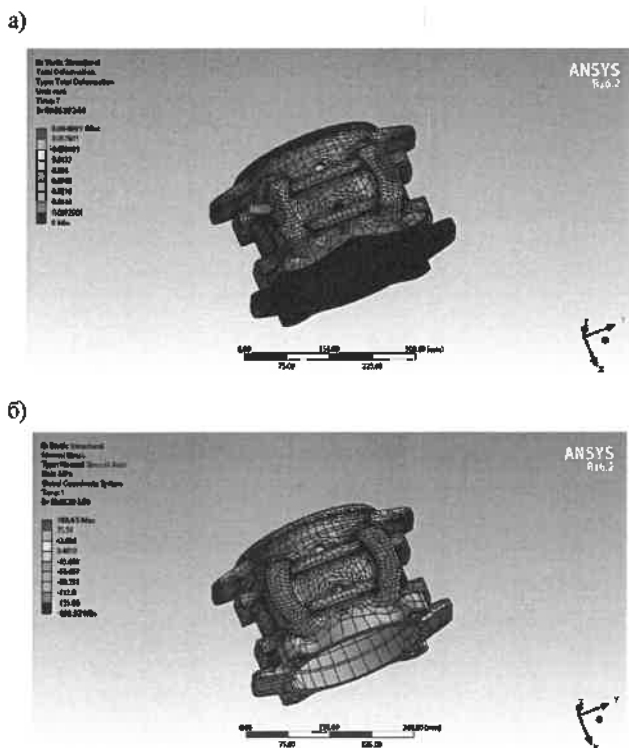


Рисунок 3 – Результаты расчета напряжений (а) и деформаций (б) в корпусе буксового узла после модернизации (отверстие под ПАЭ рядом с ребрами жесткости)

В результате расчета НДС корпуса буксы установлено, что:

- деформация в направлении челюстей (направляющих поверхностей) корпуса буксы не превышает допустимое значение 0,200 мм (максимальное значение – 0,065 мм);

- для корпуса буксы с отверстиями под ПАЭ в ребрах жесткости и рядом с ними деформация не превышает допустимое значение 0,200 мм (максимальное значение 0,065 мм);

- нормальные напряжения в корпусе буксы не превышают допустимое значение 450 МПа (максимальное значение ≈ 72 МПа);

- нормальные напряжения в корпусе буксы с отверстиями под ПАЭ в ребрах жесткости не превышают допустимое значение 450 МПа (максимальное значение ≈ 202 МПа), рядом с ребрами жесткости ≈ 109 МПа.

Заключение

1 Анализ НДС подшипника и корпуса буксы показал, что нормальные напряжения и деформации не превышают допустимые значения (0,2 мм и 450 МПа), однако вследствие меньших напряжений (109 МПа) в буксовом узле с отверстиями под ПАЭ около ребер жесткости рекомендуется использовать данное место для расположения преобразователей.

2 Проведенные исследования показали, что исследование подшипниковых узлов на наличие грузонапряженных мест, обладающих неоднородностями свойств и структуры самого материала с использованием КЭ-анализа, позволяет повысить достоверность результатов АЭ-диагностики подшипниковых узлов ПС.

3 Численное моделирование подшипниковых узлов с использованием КЭ дает возможность прогнозировать характер перемещений точек поверхности объекта контроля, и, соответственно, обосновать места установки датчиков, используемых для регистрации сигналов АЭ.

4 Полученные результаты могут быть использованы в качестве перспективного метода безразборной диагностики подшипниковых узлов ПС не только в статике, но и по ходу движения поезда.

5 Использование результатов данных исследований позволит на практике повысить точность и достоверность проведения АЭ-контроля за счет оптимизации расположения ПАЭ на объекте контроля.

6 Преобразователи для АЭ-диагностики состояния буксовых узлов тележки грузового вагона могут являться составляющей одной из систем «интеллектуального» грузового поезда. Предложенная схема размещения ПАЭ дает возможность интегрировать систему АЭ-контроля в существующие комплексы телематического оборудования.

Список литературы

1 Руководящий документ по ремонту и техническому обслуживанию колесных пар с буксовыми узлами грузовых вагонов магистральных железных дорог колес 1520 (1524 мм) : утв. Советом по ж.-д. трансп. государств – участников Содружества; протокол заседания № 57 от 16–17.10. 2012 г. – Введ. 01.01.2013. – 280 с.

2 Бурченко, В. В. Автоматизация технического контроля и диагностика подвижного состава железных дорог / В. В. Бурченко. – Гомель : БелГУТ, 2020. – 254 с.

3 Акустико-эмиссионный контроль железнодорожных конструкций / А. Н. Серьезнов [и др.]. – Новосибирск : Наука, 2011. – 272 с.

4 Федоров, Д. В. Акустико-эмиссионная диагностика подшипниковых узлов при ремонте локомотивов : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.07 / Д. В. Федоров; Петербург. гос. ун-т путей сообщения. – СПб., 2005. – 24 с.

5 Тенилов, Е. С. Разработка методики повышения надежности акустико-эмиссионного контроля дефектов свободных колец подшипников буксового узла подвижного состава : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.11.13 / Е. С. Тенилов; НИ ТПУ. – Томск, 2011. – 21 с.

6 Baldev, R. Fundamentals of acoustic emission / R. Baldev, B. B. Iba // British J. NTD. – 1994. – Vol. 36, no. 1. – P. 16–23.

7 Бехер, С. А. Методы контроля динамически нагруженных элементов подвижного состава при ремонте и в эксплуатации на основе комплексного использования тензометрии и акустической эмиссии : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.11.13 / С. А. Бехер; Томский политехн. ун-т. – Томск, 2017. – 36 с.

8 Сыч, Т. В. Совершенствование технологии АЭ-контроля на основе конечно-элементного анализа акустического тракта : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.11.13 / Т. В. Сыч; Томский политехн. ун-т. – Новосибирск, 2016. – 21 с.

9 Беляев, Г. Я. Численное исследование напряженно-деформируемого состояния деталей подшипников качения / Г. Я. Беляев, С. Ю. Котов, А. В. Шмелев // Вестник Гомельского гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2017. – № 1. – С. 27–33.

10 Основы работы в ANSYS 16 / Н. Н. Федорова [и др.]. – М. : ДМК Пресс, 2017. – 210 с.

11 Шимановский, А. О. Применение метода конечных элементов в решении задач прикладной механики : учеб.-метод. пособие / А. О. Шимановский, А. В. Путятю. – Гомель : БелГУТ, 2008. – 61 с.

Получено 19.10.2020

O. V. Kholodilov, M. G. Kuznetsova, A. A. Markavtsov. Using finite element analysis in the development of techniques unassembled AE-diagnostics of axle bearings.

The use of finite element analysis in the development of a methodology for AE-diagnostics of the axle box bearing condition. The issues of improving diagnostics of the state of the axle box unit of the wheel pair of the car are considered. The possibility of using the finite element analysis method for assessing the stress-strain state of the axle unit is shown. The results obtained make it possible to establish the most accurate location of the acoustic emission transducers and can be used as a promising method of unassembled diagnostics of rolling stock bearing assemblies not only in statics, but also along the movement of the train.

УДК 612.361.32

Э. И. ГАЛАЙ, доктор технических наук, А. А. ЮЛДАШОВ, аспирант, С. Г. ИНАГАМОВ, аспирант, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ИЗМЕНЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ В ТОРМОЗНОЙ КАМЕРЕ ВОЗДУХОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЯ ГРУЗОВОГО ВАГОНА

Описывается воздухораспределитель грузовых вагонов, эксплуатируемых на Белорусской и Узбекской железных дорогах. При аналитическом исследовании дается значение всех показателей в разных режимах торможения для грузовых вагонов, оборудованных разными типами тормозных колодок.

На грузовых вагонах железных дорог Беларуси, Узбекистана, других стран бывшего СССР в эксплуатации находятся воздухораспределители № 483 различных модификаций, которые работают на основе изменения давления сжатого воздуха в тормозной магистрали поезда (ТМ), рабочей камере (РК) и в тормозной камере (ТК) воздухораспределителя. Если вагон не оборудован авторежимом, камера ТК непосредственно связана с тормозным цилиндром (ТЦ). Давление в камере ТК (рисунок) и в цилиндре ТЦ или в нескольких цилиндрах, в зависимости от конструкции тормозной системы, определяется соотношением площадей главного и уравнительного поршней, их взаимным перемещением и установленным режимом Г, С или П (груженный, средний, порожний), а также величиной зарядного давления p_m в тормозной магистрали и её разрядки при торможении. Воздухораспределители груженых вагонов могут быть установлены на режим Г или С в зависимости от типа тормозных колодок. На режим Г при чугунных колодках, на режим С при композиционных. Соответственно изменяется величина давления в тормозной камере и в тормозных цилиндрах. При полной загрузке вагона и полном служебном торможении (ПСТ) на режиме С избыточное давление $p_{\text{ПСТ}} = 0,28...0,33$ МПа, а на режиме Г $p_{\text{ПСТ}} = 0,39...0,45$ МПа [1, 5].

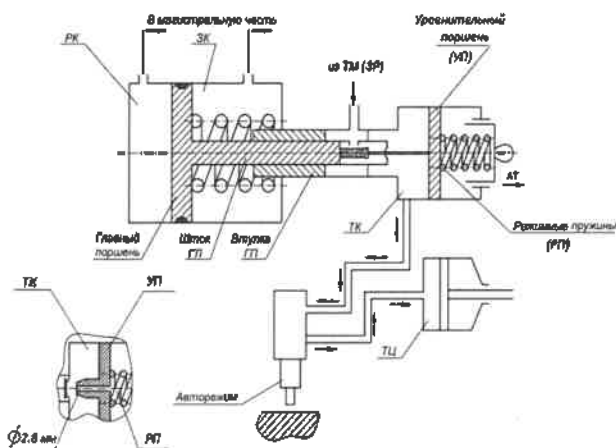


Рисунок 1 – Схема поступления воздуха в тормозной цилиндр при торможении

В последнее время в связи с оснащением грузовых вагонов автоматическими регуляторами давления в тормозных цилиндрах воздухораспределителя включают на режим Г или С в зависимости от типа колодок – чугунные или композиционные. При установке композиционных колодок тормозная рычажная передача не

имеет возможности переключения на большую или меньшую величину передаточного числа.

Время $t_{\text{н}}$ затрачиваемое на наполнение тормозного цилиндра, определяется параметрами магистральной части воздухораспределителя, что обеспечивает некоторое выравнивание значений $t_{\text{н}}$ по всему поезду, хотя начало срабатывания воздухораспределителей определяется скоростью распространения тормозной волны до 270 м/с при служебном торможении и до 300 м/с при экстренном [2, 3].

Выделение различных режимов работы воздухораспределителя Г, С или П является важным, когда в тормозной системе вагона нет авторежимов. Например в США, где применяются однорежимные воздухораспределители, порожние и груженые вагоны имеют одинаковую величину давления в тормозных цилиндрах при торможении без авторежимов и тормозной путь груженого грузового поезда может достигать нескольких километров в зависимости от скорости движения [4].

Рассмотрим работу тормозной системы полногрузного вагона, когда давление в камере ТК равно давлению в тормозном цилиндре $p_{\text{ТК}} = p_{\text{ТЦ}}$.

В процессе торможения наполнение рабочего объема $V_{\text{т}}$ тормозного цилиндра начинается при отпущенном тормозе, когда его поршень находится в крайнем положении и принимает величину объема $V_{\text{т}} = 0$. Затем, при повышении давления и перемещении поршня, рабочий объем цилиндра увеличивается до значения, величина которого зависит от регулировки тормозной рычажной передачи и износа тормозных колодок. Величина рабочего объема зависит также от глубины разрядки тормозной магистрали и установленного режима торможения. При наличии автоматического регулятора хода поршня выход штока, который устанавливает рабочий объем цилиндра, можно определить по формуле

$$L_{\text{т}} = nl + l_{\text{трп}}, \quad (1)$$

где n – передаточное число рычажной передачи (ТРП); l – нормативный зазор между колодкой и колесом при отпущенном тормозе – 5–8 мм; $l_{\text{трп}}$ – часть хода поршня за счет деформации элементов рычажной передачи и зазоров в шарнирных соединениях. Зависит от степени износа шарнирных соединений.

Расчетная величина выхода штока $L_{\text{т}}$ при максимальном давлении в тормозном цилиндре $p_{\text{ТЦmax}}$ допускается от 50 до 100 мм у вагонов с композиционными тормозными колодками и от 75 до 125 мм у вагонов с чугунными колодками. При двухцилиндровой системе выход штока меньше и составляет 25–65 мм при композиционных и 30–90 мм при чугунных колодках.

Избыточное начальное давление в тормозной магистрали и запасном резервуаре $p_m = p_{zp} = 0,53 \dots 0,55$ МПа. Для получения полного служебного торможения давление в тормозной магистрали снижается до $p_{мтс} = 0,35 \dots 0,37$ МПа, а при экстренном торможении тормозная магистраль разряжается до нуля (атмосферного давления). Соответственно при полном служебном торможении имеется возможность подпитывать тормозной цилиндр и запасный резервуар из тормозной магистрали, а при экстренном система располагает только воздухом, имеющимся в запасном резервуаре объемом 78 л.

При экстренном торможении происходит ускоренная разрядка тормозной магистрали темпом 0,08 МПа/с и выше. Золотниковая камера и её полости быстро разряжаются через магистральную часть воздухораспределителя и главный поршень сжимая пружину, перемещается до упора во втулку (см. рисунок 1).

Повышение давления в тормозном цилиндре идёт замедленным темпом через отверстие диаметром 1,7 мм в полум штоке главного поршня.

При полном служебном торможении, а в хвостовой части поезда и при экстренном торможении, давление в золотниковой камере понижается медленно и наполнение тормозного цилиндра происходит быстрее в начале через четыре отверстия диаметром по 3 мм, а затем через отверстие диаметром 1,7 мм.

Время наполнения составляет примерно 14–20 с при экстренном и 16–22 с при полном служебном торможении.

Такой принцип наполнения тормозного цилиндра применяется для того, чтобы уменьшить продольно-динамические усилия в поезде.

Срабатывание воздухораспределителей на торможение происходит при понижении давления в тормозной магистрали ТМ темпом $\frac{dp}{dt}$, равным 0,01–0,05 МПа/с

при служебном торможении. Глубина разрядки ТМ увеличивается на 0,05–0,06 МПа при первой ступени торможения и на 0,15–0,17 МПа при полном служебном. Таким образом, при полном служебном торможении, когда реализуется максимальная тормозная сила и максимальное давление в тормозных цилиндрах, в тормозной магистрали сохраняется давление $p_{мтс} = 0,38 \dots 0,40$ МПа, которое поддерживается через кран машиниста в положении «перекрышка с питанием».

В процессе торможения происходит снижение давления в золотниковой камере (ЗК) и главный поршень под избыточным давлением со стороны рабочей камеры РК перемещается вправо (по рисунку 1). Клапан внутри полого штока главного поршня отходит от своего седла под действием хвостовика уравнительного поршня, подпираемого режимными пружинами. Перемещение уравнительного поршня зависит от перемещения главного поршня и усилия режимных пружин и пропорционально получаемому давлению в тормозном цилиндре.

Объем рабочей камеры (РК), равный 6 л ($0,006 \text{ м}^3$), увеличивается на величину 0,228 л ($0,000228 \text{ м}^3$) при максимальном перемещении главного поршня ГП на 0,024 м после полного служебного или экстренного торможения.

Поступление сжатого воздуха в тормозной цилиндр головного вагона начинается через 3–4 с после начала

торможения и продолжается до момента наполнения цилиндра до величины давления, соответствующего i -й ступени торможения.

Окончательно из условия равновесия главного поршня в процессе торможения можно записать:

$$p_{ркi} S_r = p_{зкi} (S_r - S_m) + P_r + j_r h_{ri} + R_i, \quad (2)$$

где $p_{ркi}$ – давление в РК при i -й ступени торможения, МПа; S_r – площадь главного поршня, м^2 ; $p_{зкi}$ – давление в золотниковой камере, МПа; S_m – площадь поперечного сечения штока главного поршня, м^2 ; P_r – усилие пружины главного поршня в положении отпуска, Н; j_r – жесткость пружины главного поршня, Н/м; h_{ri} – перемещение главного поршня при торможении, м; (тормозном цилиндре) в процессе торможения, МПа; R_i – сопротивление перемещению главного поршня за счет давления в тормозной камере, Н,

$$R_i = S_m p_{цi}, \quad (3)$$

$p_{цi}$ – давление в тормозной камере.

Для упрощения, учитывая незначительный диаметр полого штока, можно принять при ступени торможения $S_m p_{цi} = 0$. При полном служебном и экстренном торможениях на порожнем режиме $S_m p_{цi} = 70$ Н, среднем – 140 Н и груженом – 190 Н.

В конце процесса наполнения тормозной камеры и тормозного цилиндра величина конечного давления в них будет зависеть от усилия режимных пружин, установленных на режим Г, С или П в соответствии с нагрузкой вагона и типом тормозных колодок. При этом устанавливается равновесие элементов воздухораспределителя – диафрагмы в магистральной части, главного и уравнительного поршней в главной части. Из условия равновесия магистральной диафрагмы (S_m – площадь диафрагмы) следует

$$p_{мi} S_m - p_{зкi} S_m, \quad (4)$$

т. е. $p_{мi}$ – давление в ТМ при ступени торможения равно $p_{зкi}$ – давлению в золотниковой камере.

Из условия равновесия уравнительного поршня в режимной части

$$p_{цi} S_y = p_0 S_y + P_y + j_y l_y, \quad (5)$$

где $p_{цi}$ – абсолютное давление в тормозной камере (тормозном цилиндре) при служебном или экстренном торможении, МПа; p_0 – атмосферное давление, $p_0 \approx 0,1$ МПа; S_y – площадь уравнительного поршня, м^2 ; P_y – усилие предварительного сжатия режимных пружин, Н; j_y – суммарная жесткость режимных пружин, $j_y = j_6 + j_m$, Н/м; $j_6 + j_m$ – жесткость большой и малой режимных пружин, Н/м; l_y – перемещение уравнительного поршня при ступени и полном торможении, м.

Суммарная жесткость режимных пружин j_y зависит от установленного режима: порожний – $j_{yп} = j_6$; средний – $j_{ys} = j_6 + 0,5j_m$; груженный – $j_{yг} = j_6 + j_m$.

Перемещение главного поршня h_{ri} в процессе торможения связано с давлением в рабочей камере РК соотношением

$$(V_{рк} + S_r h_{ri}) = p_{ркi} V_{рк}, \quad (6)$$

где $V_{рк}$ – объем рабочей камеры, м^3 ; $p_{ркi}$ – абсолютное зарядное давление в камере РК.

Полагая, что давление в рабочей камере $p_{pk} = p_m$ и в золотниковой камере при i -й ступени торможения $p_{pk} = p_{wi} = p_{mi}$ и решая совместно уравнения (2) и (6) относительно h_i , получим квадратное уравнение типа

$$\alpha h_i^2 + \beta h_i + \gamma = 0, \quad (7)$$

где $\alpha = j_r S_r$;

$$\beta = j_r V_{pk} + S_r p_{mi} (S_r - S_{ш}) + P_r S_r;$$

$$\gamma = V_{pk} [S_r - S_{ш}] p_{mi} + P_r - S_r p_{wi}.$$

Фактическое перемещение главного поршня при ступени торможения $h_i = h_{xi} \eta_m$ где η_m – механический коэффициент полезного действия, который учитывает силы трения при перемещениях главного поршня и полого штока. Для воздухораспределителя № 483 он принимается в пределах $\eta_m = 0,92 \dots 0,96$ в зависимости от приработки манжет поршня и полого штока и конструкции штока.

Если в результате расчетов получено значение $h_i \geq 0,024$ м (полный ход главного поршня $h = 0,024$ м, то это означает, что при данной величине разрядки тормозной магистрали имеет место полное служебное или экстренное торможение.

Тормозной клапан открывается при перемещении главного поршня для контакта с седлом (нипелем) уравнительного поршня с просверленным в нем атмосферным отверстием диаметром 2,8 мм. После контакта перемещение главного поршня должно составить не менее 0,002 м и атмосферный канал будет закрыт. Давление в тормозной камере p_{wi} перед уравнительным поршнем определяется усилием режимных пружин, воздействующих на поршень, и установленного П, С или Г режима.

После ступени торможения перемещение уравнительного поршня под действием полученного давления

$$l_i = h_i - (h_0 + 0,002), \quad (8)$$

а полученное давление в тормозной камере и тормозном цилиндре

$$p_{wi} = \frac{S_y p_0 + P_y + j_y l_i}{S_y}. \quad (9)$$

При полном служебном и экстренном торможениях главный и уравнительный поршни совершают полный рабочий и $h_i = h$, $l_i = l_y$. Жесткость и усилие сжатия ре-

Получено 30.10.2020

E. I. Galay, A. A. Yuldashov, S. G. Inagamov. About analytical study of pressure changes in the brake chamber and brake cylinders of the air distributor of a freight car.

The article describes the air distributor of a freight car operated on freight cars of the Belarusian and Uzbek Railways. The analytical study gives a certain value of all indicators in different braking modes for freight cars equipped with different types of brake pads. The reaction of the air distributor in horizontal and vertical positions is also explained.

жимных пружин определяют величину давления в тормозной камере и тормозном цилиндре p_{wi} .

Из уравнений (1) и (5) можно определить потребное сниженное давление в тормозной магистрали при полном служебном торможении

$$p_{мс} = \left(\frac{S_r p_{pk} + V_{pk}}{V_{pk} + S_r h} - P_r - R - j_r h \right) \cdot (S_r - S_{ш})^{-1}. \quad (10)$$

Величина $p_m = p_{мс}$ является минимальным значением глубины разрядки тормозной магистрали одного вагона при полном служебном торможении. Для получения ПСТ в поезде нормальной длины обычно производят разрядку тормозной магистрали на 0,15–0,17 МПа.

При повышении давления в тормозной магистрали происходит отпуск тормозов, причем конструкция воздухораспределителей грузового типа такова, что отпуск тормоза в головной части состава протекает медленнее чем в хвостовой, поэтому по всему поезду средней длины на равнинном режиме отпуск происходит практически одновременно за время 20–25 с. Следует отметить, что при существующей конструкции воздухораспределителя № 483, когда подвижные элементы расположены горизонтально, это способствует их одностороннему износу. Завод «Трансмаш» разработал конструкцию воздухораспределителя № 483А с монтажом главной и магистральной частей в вертикальном положении в разрез тормозной магистрали без тройника и подводящей трубы с помощью безрезьбовых трубных соединений, что позволяет уменьшить износ фрикционных элементов и влияние продольных динамических усилий в поезде.

С помощью проведенных вычислений определяются параметры давления в тормозном цилиндре при торможении.

Список литературы

- 1 Галай Э. И. Тормозные системы железнодорожного транспорта. Расчет пневматических тормозов / Э. И. Галай, П. К. Рудов, Е. Э. Галай. – Гомель : БелГУТ, 2014. – 271 с.
- 2 Иноземцев, В. Г. Автоматические тормоза / В. Г. Иноземцев, В. М. Казаринов, В. Ф. Ясенцев. – М. : Транспорт, 1981. – 463 с.
- 3 Казаринов, В. М. Теоретические основы проектирование и эксплуатации автотормозов / В. М. Казаринов, В. Г. Иноземцев, В. Ф. Ясенцев. – М. : Транспорт, 1968. – 399 с.
- 4 Car & locomotive Cyclopedia, 1997. – 916 p.
- 5 Общее руководство по ремонту тормозного оборудования вагонов. – Инструкция 732 – ЦВ–ЦЛ. – 2010. – 182 с.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА

УДК 656.22; 004.896

А. А. ЕРОФЕЕВ, кандидат технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель, А. Ф. БОРОДИН, доктор технических наук, АО «Институт экономики и развития транспорта», г. Москва

МОДЕЛИ ОПИСАНИЯ ПРОЦЕССОВ ПОИСКА УПРАВЛЯЮЩИХ РЕШЕНИЙ В ИСУПП

Определены виды управления в интеллектуальной системе управления перевозочным процессом. Установлено, что информация, используемая при плановом управлении, обладает преимущественно алеаторной неопределенностью, а при диспетчерском управлении – эпистемологической. Приведены функции оценки эффективности управляющих решений при плановом и оперативном управлении перевозочным процессом. Предложено в зависимости от вида управления и типа используемой информации поиск эффективных управляющих решений выполнять с использованием априорных и апостериорных моделей. Определены структуры моделей и состав гибридных решателей задач.

В зависимости от наличия полной и достоверной информации о ходе перевозочного процесса и складывающейся эксплуатационной обстановки на железнодорожном транспорте используют различные виды управления. Всё их множество можно разделить на две основные группы: плановые и оперативные [1–3].

Формирование управляющих решений (УР) в интеллектуальной системе управления перевозочным процессом (ИСУПП) как при плановом, так и при оперативном управлении сопряжено с отсутствием полной и достоверной информации о ходе перевозочного процесса (ПП), а отдельные параметры или показатели качества являются неопределенными или случайными [4–6]. В связи с этим при формировании УР в условиях неполной информации необходимо учитывать информационную структуру эксплуатационной задачи, определяемую последовательностью процедур сбора информации, методов ее обработки и формирования УР.

Если формирование УР предшествует процедуре сбора информации (информация не успевает поступить до момента принятия решения), то УР определяется на основании статистических характеристик или известной выборкой возможных значений параметров. В таком случае выбор УР не зависит от текущих параметров внешней объектной среды и объекта управления. Например, при разработке плана формирования поездов в качестве исходных данных используются прогнозные значения параметров вагонопотоков, а не фактические. Если формирование УР следует после сбора информации, то при его разработке необходимо учитывать как исходные данные, так и эффективность уже реализованных УР. Например, управление расформированием составов на сортировочных горках.

Таким образом, информацию, используемую при разработке УР в ИСУПП предлагается разделить на априорную (не связанную с текущими параметрами объекта управления и окружающей среды) и апостериорную (появляется в результате сбора информации за объектом и средой). Информация первого типа используется преимущественно при решении эксплуатационных задач (ЭЗ) долго- и среднесрочного планирования. Решение задач оперативного детального планирования, диспетчерского управления, управления технологиче-

скими процессами в режиме реального времени требует использования апостериорной информации.

Классически выделяются две стороны неопределенности информации [7]:

- алеаторная неопределенность, непосредственно связанная с объектом управления;
- эпистемологическая неопределенность, связанная с отсутствием у субъекта полных знаний об объекте управления.

Алеаторная неопределенность обусловлена эволюцией свойств и поведения объекта. Данный вид неопределенности является неотъемлемым свойством объектов управления ИСУПП, обусловленным действием случайных факторов. Алеаторную неопределенность невозможно исключить полностью, а можно говорить о снижении неопределенности до конкретного уровня, достаточного с точки зрения процедуры принятия УР.

Эпистемологическая неопределенность является свойством объекта управления (ОУ) и может быть снижена за счет получения дополнительных сведений о его характеристиках и поведении. Данная неопределенность снижается за счет совершенствования системы сбора, хранения и обработки информации. Эпистемологическая неопределенность больше характерна для апостериорных моделей.

Плановое управление предусматривает процедуры разработки плана (в зависимости от величин эксплуатационной нагрузки, наличия ресурсов, условий окружающей среды) и последующую его реализацию в установленном периоде времени. При плановом управлении используется априорная, заранее собранная информация и имеется достаточно продолжительный период времени на разработку эффективного УР.

Наличие априорной информации и времени на ее обработку обеспечивает [8]:

- возможность заблаговременно определять потребность в необходимых ресурсах для реализации плана и (или) выбирать такой план действий, который можно реализовать с учетом имеющихся ресурсов;
- выбор более эффективных (адекватных) управлений за счет возможности использования методов поиска оптимальных решений, которые требуют значительных затрат времени (в том числе на этапе сбора информации);

- использование временного резерва на подготовку системы к реализации эффективного планового решения;
- максимальный эффект (минимум негативных последствий) при использовании плановых УР в смежных подсистемах ИСУПП, в том числе появляется возможность получения синергетического эффекта.

Недостатками планового управления являются:

- априорная информация имеет алеаторную неопределенность и не всегда адекватно и с необходимой степенью детализации описывает объект, предмет и среду управления;

- при планировании априорная информация дополняется прогнозной, так как момент начала разработки плана наступает раньше момента начала реализации и тем более момента окончания планового периода. В предельных случаях суммарный результат от реализации планов, полученных более эффективными «плановыми методами» может быть хуже результатов, полученных оперативными методами за счет значительной величины погрешности прогнозных исходных данных;

- плановое управление не позволяет в полной мере учесть неформализованное воздействие в системе управления (например, случайное влияние человеческого фактора или значимые изменения погодных условий);

- большие затраты времени (в некоторых случаях) на формирование альтернативных вариантов планов и выбор из них оптимального.

Для компенсации указанных выше недостатков плановое управление должно дополняться оперативным (диспетчерским). Оперативное (диспетчерское) управление ПП позволяет формировать и реализовывать в конкретной эксплуатационной обстановке максимально адекватные УР с учетом наличия апостериорной информации об объектах управления и состоянии внешней объектной среды.

Недостатками оперативного (диспетчерского) управления по сравнению с плановым являются:

- ограниченность выбора УР, так как часть эффективных решений невозможно реализовать из-за отсутствия времени;

- необходимость использования «упрощенных» методов выбора УР, из-за дефицита времени на сбор данных и их обработку;

- длительность цикла управления не всегда позволяет согласовать УР между подсистемами сложной системы.

В ИСУПП должны эффективно сочетаться преимущества плановых и оперативных видов управления и обеспечиваться своевременный переход между ними в зависимости от информационной осведомленности о складывающейся эксплуатационной обстановке.

Оценка эффективности УР будет различаться для планового и оперативного управления.

При плановом управлении производится поиск оптимальных УР с целью достижения максимального экономического результата:

$$F_i^{\text{план}}(\bar{a}_i, \bar{b}_i) = \{F_{i_1}(\bar{a}_i, \bar{b}_i), \dots, F_{i_{W_i}}(\bar{a}_i, \bar{b}_i), \dots, F_{i_j}(\bar{a}_i, \bar{b}_i)\} \rightarrow \max \sum E_{ij}, \quad (1)$$

где F_i – вектор критериев оптимальности, характеризующих качество принятия УР на i -м этапе принятия решения; $i = 1, \dots, j$ – число этапов принятия решения;

$\bar{a}_i = \{\bar{a}_{i_1}, \dots, \bar{a}_{i_p}, \dots, \bar{a}_{i_j}\}$ – вектор технических параметров

на i -м этапе принятия решения; $\bar{b}_i = \{\bar{b}_{i_1}, \dots, \bar{b}_{i_p}, \dots, \bar{b}_{i_j}\}$ – вектор технологических параметров на i -м этапе принятия решения; $j = 1, \dots, p$ – число подсистем ИСУПП, участвующих в разработке и реализации УР; $Y_i = 1, \dots, W_i$ – число критериев оптимальности на i -м этапе разработки УР; $\sum E_{ij}$ – функция оценки финансового результата от реализации УР на i -м этапе в j -й подсистеме; при установленных технических и технологических ограничениях;

- плановый объем перевозок $\Gamma_i^{\text{план}}$ должен соответствовать заявленному грузопотоку $\Gamma_i^{\text{заяв}}$:

$$\sum \Gamma_i^{\text{план}} = \sum \Gamma_i^{\text{заяв}}; \quad (2)$$

- надежность выполнения планируемых сроков доставки для всех корреспонденций грузопотоков $T_{\text{тех}}$ относительно их нормативных значений $T_{\text{норм}}$ должна стремиться к 1. Для всех корреспонденций

$$P\{T_{\text{тех}} \leq T_{\text{норм}}\} \rightarrow 1; \quad (3)$$

- непревышение потребностей инфраструктурных, путевых ресурсов и перевозочных средств $R_{\text{план}}^z$ относительно их наличного количества $R_{\text{нэл}}^z$ (с учетом горизонта планирования решаемой ЭЗ)

$$\{R_{\text{план}}^z\} \leq \{R_{\text{нэл}}^z\}. \quad (4)$$

При невозможности реализации эффективного УР с учетом накладываемых технических и технологических и иных ограничений, находится близкое к оптимальному УР, но для которого вышеуказанные условия выполняются.

Оперативное управление предполагает организацию функционирования системы в соответствии с заранее разработанным планом. При оперативном управлении оптимизация допускается только в рамках решения конкретной ЭЗ и в пределах объекта управления при условии, что оптимизированное УР не потребует изменения условий функционирования смежных подсистем и объектов.

Тогда функция эффективности оперативного управления может быть описана в общем виде выражением

$$F_i^{\text{опер}}(\bar{a}_i, \bar{b}_i, \bar{c}_i) = \{F_{i_1}(\bar{a}_i, \bar{b}_i, \bar{c}_i), \dots, F_{i_{W_i}}(\bar{a}_i, \bar{b}_i, \bar{c}_i), \dots, F_{i_j}(\bar{a}_i, \bar{b}_i, \bar{c}_i)\} \rightarrow F_i^{\text{план}}(\bar{a}_i, \bar{b}_i), \quad (5)$$

где $\bar{c}_i = \{\bar{c}_{i_1}, \dots, \bar{c}_{i_p}, \dots, \bar{c}_{i_W}\}$ – вектор неуправляемых параметров на i -м этапе принятия решения.

Множество параметров $\bar{a}_i, \bar{b}_i, \bar{c}_i$ можно представить как совокупность технических, технологических параметрических групп и неуправляемых параметров внешней объектной среды.

К группе технических параметров $\bar{a}_i = \{\bar{a}_{i_1}, \dots, \bar{a}_{i_p}, \dots, \bar{a}_{i_j}\}$ относятся:

- для поездной работы: количество путей на перегонах и промежуточных станциях, количество поездных локомотивов с детализацией по сериям и видам работы, количество локомотивных бригад и т. п.

– для стационарной работы: количество бригад ПТО и ПКО в подсистемах станций, количество путей в парках технических и грузовых станций, вместимость грузовых фронтов и др.

К группе технологических параметров $\bar{b}_i = \{\bar{b}_{i_1}, \dots, \bar{b}_{i_n}, \dots, \bar{b}_{i_k}\}$ относятся:

– для поездной работы: нормы массы поездов, нормы длины поездов; наличие технологических «окон» и их продолжительность; тип графика движения поездов, план формирования поездов, схемы развоза местного груза и т. п.;

– для стационарной работы: технология работы сортировочной горки (с одним, двумя или тремя локомотивами); специализация путей в сортировочной парке, специализация маневровых локомотивов, количество подач-уборок на пункты местной работы, допустимые отклонения по длине и массе формируемых составов и т. п.

К неуправляемым параметрам $\bar{c}_i = \{\bar{c}_{i_1}, \dots, \bar{c}_{i_n}, \dots, \bar{c}_{i_v}\}$ относятся: наличие неисправностей в вагоне, погодные условия, запреты на перемещение отдельных категорий вагонов в межгосударственном сообщении и др.

В зависимости от постановки задачи управления отдельные группы параметров могут рассматриваться и как технологические, и как неуправляемые. Например, размеры движения поездов при разработке ГДП являются технологическими, а при разработке плана работы станции – неуправляемыми. В дальнейшем будем считать, что параметр относится к техническим или технологическим (управляемым), если для хотя бы одной подсистемы ИСУПП он таковым является. Параметр относится к неуправляемым параметрам, если ни одна подсистема ИСУПП не может сформировать УР, обеспечивающее изменение параметра.

Управляемые и неуправляемые параметры могут быть описаны количественно (норма массы поезда), в виде логических отношений (схема развоза местного груза) или иметь нечеткое описание (плохой бегун, сложные погодные условия и т. п.). В ИСУПП должны присутствовать механизмы описания и последующего сравнения параметров.

Для различных подсистем ИСУПП, помимо экономических, могут устанавливаться технические и технологические критерии оптимальности. К таким критериям можно отнести, например, оборот вагона, маршрутную скорость, потребность в перевозочных ресурсах, пропускную способность элементов инфраструктуры, выполнение договорных обязательств, производительность труда, потребность в локомотивах и локомотивных бригадах, затраты на топливно-энергетические ресурсы и др. Перечень критериев в зависимости от решаемой ЭЗ может изменяться в широком диапазоне, при этом на эффективность принятия УР количество критериев оптимальности и их структура влияния не оказывают. В результирующей целевой функции результаты УР оцениваются через приведенные экономические результаты.

В ИСУПП множество управляемых параметров $\{\bar{a}_i, \bar{b}_i\}$ являются как исходными данными для формирования рациональных УР, так и результатами функционирования задач ИСУПП.

Многие неуправляемые параметры подлежат идентификации как описывающие условия внешней среды:

$$F_i(\bar{a}_i, \bar{b}_i, \bar{c}_i) = F_{i+1}(\bar{a}_{i+1}, \bar{b}_{i+1}), \quad (6)$$

то есть при каких параметрах окружающей среды было получено УР и насколько оно оказалось эффективным. Множество $\{c_i\}$ является одним из составляющих базы знаний ИСУПП.

Таким образом, при управлении в ИСУПП необходимо из допустимого множества управляемых параметров $\{\bar{a}_i, \bar{b}_i\}$ сформировать такие УР, которые обеспечат максимум функции цели F .

В зависимости от вида управления и типа используемой информации поиск эффективных УР в ИСУПП предлагается выполнять с использованием априорных и апостериорных моделей.

Априорные модели – математические модели, используемые в принятии многокритериальных решений, в которых структура и вид обобщенного критерия постулируются вначале, т. е. вся информация, позволяющая сформировать УР, содержится в формальной модели задачи [9]. В ИСУПП априорные модели характерны для решения ЭЗ планирования (годового, среднесрочного и оперативного), в условиях преимущественно алеаторной неопределенности (формирование УР происходит до начала реализации технологического процесса).

Априорные модели ИСУПП предполагают использование гибридного решателя задач (ГБРЗ), в котором формирование УР включает 3 основных этапа: аппроксимация исходных данных, разработка базового УР и оптимизация (рисунок 1).



Рисунок 1 – Этапность формирования УР в априорных моделях

Аппроксимация. Аппроксимация исходных данных включает процедуры измерения параметров, контроля и идентификации информации об объекте управления. Сложность построения априорной модели решения ЭЗ зависит от сложности объекта управления. При определенном уровне сложности не достаточно только решения задачи «идентификация» параметров объекта управления, и приходится выполнять интерпретацию результатов измерений и наблюдений.

Разработка базового УР. Фундаментальной особенностью применения априорных моделей является многовариантность использования методов и средств реализации, которая следует из многовариантности интерпретаций любых данных, в которых есть случайность и неопределенность. Поскольку любая аппроксимация дает приближенный результат, в условиях многовариантности нет смысла искать наилучшие решения в отношении выбора моделей и методов их параметрического доопределения. В этом случае может формироваться как базовый УР, так и массив допустимых УР (удовлетворяющих установленным критериям и ограничениям) исходя из принципа непротиворечивости результата целям функционирования ИСУПП.

Оптимизация. Задача выбора и обоснования вариантов УР при построении априорных моделей осложняется еще и многокритериальностью такого выбора. Априорные модели должны позволять оперировать несколькими критериями оптимальности, обеспечивать использование новых критериев и формирования из них комплекс-

ных критериев. Сформированные варианты УР, методы и средства их реализации должны быть согласованы с исходными данными, с априорной информацией и с достигаемыми целями.

Апостериорные модели управления ПП оперируют информацией, которая становится известной после наступления событий в системе управления «после опыта». Необходимость использования апостериорных моделей определяется следующими причинами [10]:

- сформированные в априорных моделях УР не могут быть реализованы, так как изменились условия функционирования;

- априорные модели не позволили получить УР с необходимым уровнем детализации;

- при разработке априорных планов использовалась информация со значительной величиной погрешности, в связи с чем разработанные УР требуют уточнений.

Преимущественной областью использование апостериорных моделей следует считать процессы регулирования и диспетчерского управления. Их целью является обеспечение соответствия поведения ОУ его плановым параметрам.

По итогам функционирования апостериорные модели обеспечивают разработку УР, направленных на повышение эффективности функционирования системы и снижение эксплуатационных рисков. Кроме того, в процессе функционирования апостериорных моделей могут быть выявлены последовательности событий, не принадлежащие исходному множеству сценариев априорных моделей.

Апостериорный анализ также может стать базой для последующего априорного анализа, т. к. субъект исследования делает выводы, выходящие за рамки единичного процесса, последствием которого стало неблагоприятное событие. При этом он одновременно анализирует различные события, которые могли бы привести к такому или подобным нежелательным событиям.

В апостериорных моделях, помимо задачи снижения *алеаторной* неопределенности, важное место занимает проблематика снижения и компенсации *эпистемологической* неопределенности. Для этих целей необходимо уделять особое внимание совершенствованию технологий сбора и обработки информации.

Формирование апостериорных моделей предлагается рассматривать с позиции теории ситуационного управления [11]. Процесс ситуационного управления предполагает наличие элементов, представленных на рисунке 2.



Рисунок 2 – Обобщенная схема реализации ситуационного управления в ИСУПП

Анализатор формирует информацию по конкретной сложившейся эксплуатационной обстановке и выдает сообщения о необходимости вмешательства в процесс управления.

Классификатор относит информацию о текущей эксплуатационной обстановке к одному или нескольким классам ЭЗ, решение которых позволит сформировать УР.

Коррелятор, в зависимости от поставленной ЭЗ, формирует УР, если от экстраполятора поступает единственное УР, или передает информацию на блок выбора, если экстраполятор формирует несколько вариантов УР.

Экстраполятор, обеспечивает хранение массива решающих правил и определение тех из них, которые должны быть использованы при формировании УР при текущей эксплуатационной обстановке.

Блок выбора выбирает определенным образом УР из предложенных коррелятором по информации экстраполятора.

Значительное количество ЭЗ предполагает не только поиск одного эффективного УР, но и постоянное формирование УР в зависимости от складывающейся эксплуатационной обстановки и получаемой апостериорной информации. Например:

- для ведения поезда по нитке графика необходимо выбирать рациональную позицию контроллера локомотива, а при отклонении от графика – изменять станции обгона и скрещения поездов;

- при роспуске вагонов с сортировочной горки необходимо управлять тормозными усилиями замедлителей в зависимости от большого количества видов априорной (масса отцепа, величина отцепа, путь назначения вагона и др.) и апостериорной (направление и сила ветра, сопротивление качению колесных пар вагонов отцепа, скорость впереди идущего отцепа и др.) информации.

В таких случаях целесообразно говорить не об УР, а об управляемом процессе. При этом задача управления процессом разбивается на 2 подзадачи.

- 1 Прогнозирование поведения объекта управления в зависимости от внешних и внутренних факторов;

- 2 Поиск эффективных УР для каждого момента поведения объекта в зависимости от его прогнозируемого состояния.

Эффективное сочетание априорных и апостериорных моделей при описании технологических процессов в ИСУПП позволит сформировать заверченный цикл управления перевозками и обеспечить адаптивность системы к изменениям эксплуатационной обстановки.

Список литературы

- 1 Автоматизированные диспетчерские центры управления эксплуатационной работой железных дорог / П. С. Грунтов [и др.]; под ред. П. С. Грунова. – М.: Транспорт, 1990. – 288 с.
- 2 Оперативное управление движением на железнодорожном транспорте / А. К. Угрюмов [и др.]. – М.: Транспорт, 1983. – 239 с.
- 3 Комплексная автоматизированная система управления железнодорожным транспортом (АСУЖТ): под общ. ред. А. П. Петрова. – М.: Транспорт, 1977. – 600 с.
- 4 Левин, Д. Ю. Теория оперативного управления перевозочным процессом / Д. Ю. Левин. – М.: ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2008. – 625 с.
- 5 Бородин, А. Ф. Эксплуатационная работа железнодорожных направлений / А. Ф. Бородин // Труды ВНИИАС. – Вып. 6. – М.: ВНИИАС, 2008. – 320 с.

6 **Ерофеев, А. А.** Влияние сбоя в информационных системах дорожного уровня на организацию перевозочного процесса / А. А. Ерофеев // Транспортный комплекс в регионах: опыт и перспективы организации движения: материалы Междунар. науч.-практ. конф. ; под ред. А. А. Платонова. – Воронеж : Руна, 2015. – № 1. – С. 11–15.

7 **Юдин, Д. Б.** Математические методы управления в условиях неполной информации / Д. Б. Юдин. – М. : Советское радио, 1974. – 400 с.

8 **Ерофеев, А. А.** Система интеллектуального управления перевозочным процессом: модели поведения / А. А. Ерофеев // Транспортные системы: тенденции развития : сб. трудов Междунар. науч.-практ. конф. 26–27 сентября 2016 года ; под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. Б. А. Лёвина. – М. : МИИТ, 2016. – С. 380–383.

9 Априорное моделирование : учеб. пособие / Л. Л. Кротова [и др.]. – 3-е изд., перераб. и доп. – Красноярск : СибГТУ, 2005. – 36 с.

10 **Ерофеев, А. А.** Принципы построения апостериорных моделей интеллектуального управления перевозочным процес-

сом / А. А. Ерофеев // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2020. – № 1 (40). – С. 31–36.

11 **Поспелов, Д. А.** Ситуационное управление: теория и практика / Д. А. Поспелов. – М. : Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986. – 288 с.

12 **Сотников, Е. А.** Интеллектуализация оперативного управления перевозочным процессом на уровне региональной дирекции управления движением / Е. А. Сотников // Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование (ИСУЖТ-2014) : третья науч.-техн. конф. с междунар. участием (18 ноября 2014 г., Москва, Россия). – М. : НИИАС, 2014. – С. 94–95.

13 **Бородин, А. Ф.** О гармонизации развития и использования железнодорожной инфраструктуры и перевозочных ресурсов / А. Ф. Бородин // Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование (ИСУЖТ-2015) : четвертая науч.-техн. конф. с междунар. участием (18 ноября 2015 г., Москва, Россия). – М. : НИИАС, 2015. – С. 135–139.

Получено 22.10.2020

A. A. Erofeev, A. F. Borodin. Models for description of search processes control decisions in ICSTP.

The types of management in the intelligent control system of transportation process are determined. It was found that under planned control information has mainly aleatory uncertainty, and under dispatch control – epistemological. The functions of assessing the effectiveness of control decisions in the planned and operational management of the transportation process are given. It is proposed, depending on the type of control and the type of information used, to search for effective control solutions using a priori and a posteriori models. The structures of the models and the composition of hybrid problem solvers are determined.

УДК 656.21.001.2

А. А. ГОРДИЕНКО, доцент технических наук, Уральский государственный университет путей сообщения, г. Екатеринбург, Х. Х. ДЖАЛИЛОВ, аспирант, Ш. Б. ДЖАББАРОВ, аспирант, Ташкентский государственный транспортный университет, С. Г. ИНАГАМОВ, аспирант, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

ОСОБЕННОСТИ ДВИЖЕНИЯ ВАГОНА ПО СПУСКНОЙ ЧАСТИ СОРТИРОВОЧНОЙ ГОРКИ ПРИ ПОПУТНОМ ВЕТРЕ

Приведены результаты исследований влияния уклона профиля и расположения на кривом участке пути третьей тормозной позиции сортировочной горки при воздействии силы попутного ветра. Расчетами доказано, что увеличение уклона профиля третьей тормозной позиции, а также ее размещение на кривом участке пути незначительно повышает скорость соударения вагонов в подгорочном парке. Доказано, что при размещении третьей тормозной позиции как на прямом, так и на кривом участках пути при воздействии попутного ветра на «очень плохой бегун», а также полном использовании мощностей тормозных позиций не обеспечивается соблюдение нормативной скорости подхода вагонов к группе вагонов в подгорочном парке. Обеспечение допустимых скоростей соударения при указанных условиях может быть достигнуто изменением профилей отдельных участков спускной части сортировочной горки или применением дополнительных вагонных замедлителей.

Введение. Рассмотрение работ по динамике скатывания вагонов с сортировочных горок и анализ действующих нормативных документов по проектированию сортировочных устройств позволяют сделать вывод, что в настоящее время отсутствует методика определения кинематических характеристик движения вагонов на спускных частях сортировочных горок.

Проблема аналитического определения рациональных параметров продольного профиля спускной части сортировочных горок до сих пор не решена и на протяжении многих лет остается актуальной. Однако вопросу повышения эффективности сортировочной работы при расформировании составов грузовых поездов на немеханизированных сортировочных горках, регулирования скорости скатывания отцепов на сортировочных горках посвящен ряд работ [1–14]. При этом действующей методика расчета скорости скатывания на каждом участке спускной части сортировочных горок нормируется, а затем рассчитывается время движения, но не учитываются характер движения, реальный смысл физических процессов.

Метод исследования. Для решения данной задачи авторами статьи в работах [15–23] была предложена уточненная методика расчета кинематических характеристик движения вагонов и отцепов на участках продольных профилей сортировочных горок, позволяющая объективно оценить параметры движения при различных режимах роспуска, климатических условиях, технических средствах и продольных профилях. Кроме того, предложенная методика позволяет определять рациональный режим роспуска и сочетание мощностей тормозных позиций, обеспечивающие соблюдение допустимых скоростей соударения вагонов в сортировочных парках, установленных правилами технической эксплуатации.

Разработанная и уточненная методика легла в основу созданной авторами автоматизированной программы расчета кинематических характеристик движения вагонов на участках продольных профилей сортировочных горок [18] и предназначена для расчета ускорений, скоростей, времени движения вагонов на участках про-

дольных профилей сортировочных горок. В качестве исходных данных для программы используются технико-эксплуатационные характеристики функционирующих сортировочных горок.

Программа адаптирована под реальные, сложившиеся в данный момент и в данном месте условия. Подразумевается, что любые геометрические параметры (уклон i_k , длина участка l_k) любого k участка горки легко настраиваемы, например, под конкретные погодные-климатические условия.

Экспериментальные данные и результаты. Приведем результаты исследования влияния уклона профиля и размещения в кривой третьей тормозной позиции на кинематические характеристики движения вагона с сортировочной горки с использованием вышеуказанной программы расчетов [18].

Рассмотрены следующие условия роспуска:

- движение «очень плохого бегуна» при воздействии попутного ветра;
- полное использование мощности тормозных позиций (1ТП, 2ТП и 3ТП);
- расположение третьей тормозной позиции (3ТП) на прямом или на кривом участках пути.

Вначале рассмотрим случай при соблюдении условия вогнутости профиля (например, на участке СК1 – 35 ‰, СК2 – 18 ‰, 1ТП – 13 ‰, ПР – 10 ‰, 2ТП – 10 ‰, СЗ – 1,2 ‰, СП1 – 1,0 ‰, СП2 – 0,6 ‰) и расположении третьей тормозной позиции на прямом участке пути.

Результаты расчетов сведены в таблицу 1 в виде, удобном для построения графических зависимостей ускорения a_k , времени t_k и скорости v_k движения вагона на каждом участке l_k спускной части горки, т. е. для $a_k = f(l_k)$, $t_k = f(l_k)$, и $v_k = f(l_k)$.

Анализ полученных результатов исследований при расположении третьей тормозной позиции (3ТП) на прямом участке позволяет сделать вывод, что при подходе вагона к расчетной точке (РТ) скорость вагона достигает $v_{кРТ} \approx 2,1$ м/с (или $\approx 7,5$ км/ч). Заметим, что при $v_{кРТ} \approx 2,1$ м/с средняя скорость движения вагона равна $v_{кРТср} \approx 1,53$ м/с, что меньше, чем допустимая средняя скорость движения вагона на участке второго сортировочного пути (СП2), равная $[v_{кРТ}] = 2,0$ м/с.

Таким образом, при заданном режиме роспуска не будет обеспечиваться нормативная скорость подхода вагонов к группе вагонов в подгорочном парке (5 км/ч) [8]. По данным таблицы 1 построены графические

зависимости изменения ускорения вагона a_k на протяжении всей длины пути l_k при воздействии силы попутного ветра малой величины F_{px} с учётом силы сопротивлений всякого рода F_c (рисунок 1).

Таблица 1 – Результаты расчета кинематических характеристик движения вагона по спускной части сортировочной горки при расположении третьей тормозной позиции на прямом участке пути

Участки спускной части горки	Элементы участков спускной части горки	l_k , м	i_k , ‰	h_k , м	a_k , м/с ²	t_k , с	v , км/ч	
							м/с	
							Вычисляемые величины	
	ВГ	–		–	–	–	1,7	6,12
СК1	СК1	39,924	35	1,396	0,372	10,779	5,708	20,55
	До С	54,935		1,666	0,205	13,294	6,224	22,41
СК2	После С	73,569	18	2,001	0,20	16,156	6,795	24,46
	КБ	81,87		2,109	0,156	17,361	6,983	26,18
1ТП	ЗТ	95,212	13	2,125	-2,037	20,761	0,057	0,205
	ОТ	102,57		2,239	0,156	30,98	1,652	5,95
	До С	122,571		2,439	0,127	39,98	2,792	10,05
ПР	После С	143,842	10	2,649	0,121	46,64	3,596	12,95
	КБ	154,243		2,753	0,127	49,398	3,945	14,2
2ТП	ЗТ	158,15	10	2,791	-2,067	51,298	0,019	0,067
	ОТ	174,843		2,959	0,127	67,456	2,065	7,435
	До С1	190,843		2,978	0,04	74,692	2,357	8,49
С3	С1	216,533	1,2	3,009	0,033	84,858	2,697	9,71
	С2	237,533		3,034	0,033	92,305	2,943	10,6
	С3	261,533		3,063	0,033	100,115	3,2	11,53
СП1	СП1	320,713	1,0	3,122	0,038	116,926	3,837	13,81
3ТП	ЗТ	326,963	1,5 прямой участок	3,127	-2,15	118,626	0,182	0,657
	ОТ	330,977		3,144	0,041	137,884	0,969	3,487
СП2	СП2	385,213	0,6	3,173	0,034	170,539	2,094	7,537

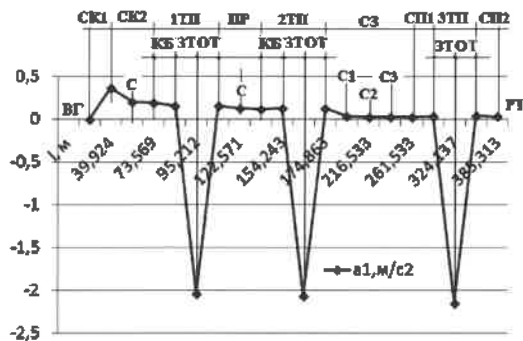


Рисунок 1 – График изменения ускорения вагона на спускной части сортировочной горки при расположении третьей тормозной позиции на прямом участке пути.

Обозначения на рисунке 1 аналогичны приведенным в таблице 1.

Из рисунка 1 видно, что на участках торможения 1ТП, 2ТП и 3ТП вагон движется равнозамедленно с ускорениями, имеющими отрицательные значения, т. е. $a_{1т} < 0$, $a_{2т} < 0$ и $a_{3т} < 0$ (где $|a_{1т}| = -a_{1т}$, $|a_{2т}| = -a_{2т}$ и $|a_{3т}| = -a_{3т}$).

Изменение ускорения движения вагона при его затормаживании (ЗТ) на примере участка первой тормозной позиции (1ТП) в случае полного использования мощности тормозных позиций может быть представлено в следующем виде:

$$a_{1т}(t) = f(t) = \begin{cases} f(\tau_5) = a_{КБ} & \text{при } t < \tau_5, \\ f(t) = f(\tau_5) = -a_{1т} & \text{при } \tau_5 \leq t \leq \tau_6, \\ f(\tau_6) = a_6 & \text{при } t > \tau_6. \end{cases} \quad (1)$$

Аналогично зависимости $a_k = f(l_k)$ построены зависимости $t_k = f(l_k)$ (рисунок 2), $v_k = f(l_k)$ (рисунок 3) с использованием данных таблицы 1.

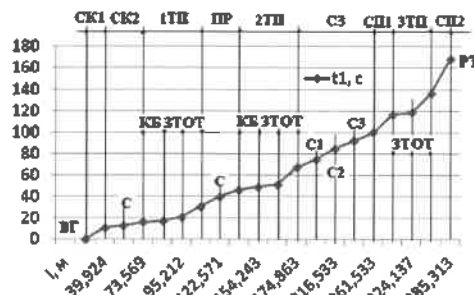


Рисунок 2 – График изменения времени движения вагона на спускной части сортировочной горки

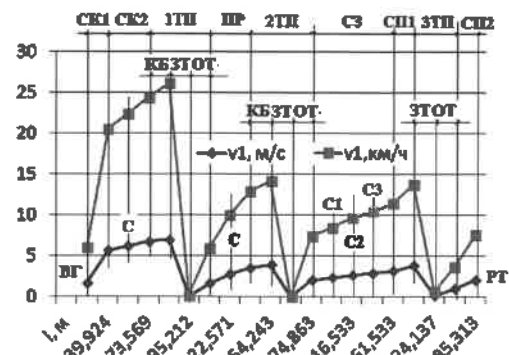


Рисунок 3 – Графики изменения скорости движения вагона на спускной части сортировочной горки

Из рисунка 3 видно, что в зонах торможения, где значения линейных ускорений имеют отрицательные значения (рисунок 1), происходят снижения скорости движения вагонов практически до нуля, что связано с полным использованием мощности всех тормозных по-

зиций. Представим результаты расчета кинематических характеристик движения вагона по спускной части сортировочной горки при расположении третьей тормозной позиции на кривом участке пути с увеличением уклона до 2 ‰ в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты расчета кинематических характеристик движения вагона по спускной части сортировочной горки при расположении третьей тормозной позиции в кривом участке пути

Участки спускной части горки	Элементы участков спускной части горки	$l_k, м$	$i_k, ‰$	$h_k, м$	$a_k, м/с^2$	$t_k, с$	$v, к$	
							м/с	км/ч
		Задаваемые величины			Вычисляемые величины			
	ВГ	–		–	–	–	1,7	6,12
СК1	СК1	39,924	35	1,396	0,372	10,779	5,708	20,55
СК2	До С	54,935	18	1,666	0,205	13,294	6,224	22,41
	После С	73,569		2,001	0,20	16,156	6,795	24,46
1ТП	КБ	81,87	13	2,109	0,156	17,361	6,983	26,18
	ЗТ	95,212		2,125	-2,037	20,761	0,057	0,205
	ОТ	102,57		2,239	0,156	30,98	1,652	5,95
ПР	До С	122,571	10	2,439	0,127	39,98	2,792	10,05
	После С	143,842		2,649	0,121	46,64	3,596	12,95
2ТП	КБ	154,243	10	2,753	0,127	49,398	3,945	14,2
	ЗТ	158,15		2,791	-2,067	51,298	0,019	0,067
	ОТ	174,843		2,959	0,127	67,456	2,065	7,435
СЗ	До С1	190,843	1,2	2,978	0,04	74,692	2,357	8,49
	С1	216,533		3,009	0,033	84,858	2,697	9,71
	С2	237,533		3,034	0,033	92,305	2,943	10,6
	С3	261,533		3,063	0,033	100,115	3,2	11,53
СП1	СП1	320,713	1,0	3,122	0,038	116,926	3,837	13,81
ЗТП	ЗТ	324,137	2,0 кривой участок	3,129	-2,145	118,626	0,191	0,687
	ОТ	335,313		3,350	0,046	136,856	1,024	3,69
СП2	СП2	385,313	0,6	3,650	0,034	168,658	2,12	7,63

Выполненные расчеты доказывают, что при расположении третьей тормозной позиции (ЗТП) в кривом участке пути, скорость вагона при подходе к расчётной точке (РТ) достигает $v_{кРТ} \approx 2,12$ м/с (или $\approx 7,63$ км/ч). Заметим, что при $v_{кРТ} \approx 2,12$ м/с средняя скорость движения вагона равна $v_{кРТср} \approx 1,57$ м/с, что меньше допустимой средней скорости движения вагона на участке второго сортировочного пути (СП2) [$v_{кРТ}$] = = 2,0 м/с. Сопоставляя данные таблиц 1 и 2, можно утверждать, что увеличение уклона третьей тормозной позиции, а также ее размещение на кривом участке пути незначительно влияет на скорость соударения вагонов в подгорочном парке (7,537 и 7,63 км/ч). Общая длина спускной части горки от вершины (ВГ) до расчётной точки (РТ) в случае, когда третья тормозная позиция расположена на кривом участке пути, $L_{кр} \approx 385,31$ м (в то время как $L_{пр} \approx 385,21$ м), а общее время движения вагона $t_{общ.кр} \approx 168,7$ с (в то время как $t_{общ.пр} \approx 170,6$ с), что сопоставимо с данными, приведенными в таблице 1. Графические зависимости $a_k = f(i_k)$, $t_k = f(i_k)$ и $v_k = f(i_k)$, построенные по данным таблицы 2, имеют вид, аналогичный приведенным на рисунках 1–3. Кроме того, рассмотренные режимы роспуска не обеспечивают соблюдение нормативной скорости подхода вагонов к группе вагонов в подгорочном парке [8]. Обеспечение допустимых скоростей соударения при указанных условиях может быть достигнуто либо изменением профиля отдельных участков спускной части сортировочной горки, либо применением дополнительных вагонных замедлителей.

Заключение. Предложенная авторами уточненная методика расчета кинематических характеристик движения вагонов на участках продольных профилей сортировочных очных горок и автоматизированная программа позволяют определять рациональный режим роспуска и сочетание мощностей тормозных позиций и обеспечивать соблюдение допустимых скоростей соударения вагонов в сортировочных парках, установленных Правилами технической эксплуатации.

Таким образом, приведены результаты исследований влияния уклона профиля и плана участка третьей тормозной позиции на кинематические характеристики движения вагонов на участках продольных профилей сортировочных горок, полученные при помощи автоматизированной программы расчетов.

Показано, что увеличение уклона третьей тормозной позиции, а также ее размещение на кривом участке пути незначительно повышает скорость соударения вагонов в подгорочном парке.

При размещении третьей тормозной позиции как на прямом, так и на кривом участках пути не обеспечивается соблюдение нормативной скорости подхода вагонов к группе вагонов в подгорочном парке. Обеспечение допустимых скоростей соударения при указанных условиях может быть достигнуто изменением профилей отдельных участков спускной части сортировочной горки или использованием дополнительных вагонных замедлителей.

Список литературы

1 Огар, О. М. Удосконалення наукового підходу до розрахунку раціональних параметрів позовного профілю спускної частини сортувальних гірок / О. М. Огар // *Всхідно-Європейський журнал передових технологій*. – 2009. – № 3 (41). – С. 11–15.

2 Поджидаев, С. А. Повышение эффективности сортировочной работы при расформировании составов грузовых поездов на немеханизированных сортировочных горках / С. А. Поджидаев, Ю. Д. Рослякова // *Всхідно-Європейський журнал передових технологій*. – 2013. – С. 76–81.

3 Журавель, В. В. Проблеми регулювання швидкості скочування відцепів на сортувальних гірках / В. В. Журавель // *Всхідно-Європейський журнал передових технологій*. – 2014. – № 8. – С. 45–50.

4 Журавель, В. В. Вплив наявності вагонів, які заборонено спускати з гірки, на процес розпуску составів / В. В. Журавель // *Всхідно-Європейський журнал передових технологій*. – 2012. – № 3 (58). – С. 38–43.

5 Бессоненко, С. А. Теория расчета сортировочных горок для различных климатических зон : автореф. дис. ... д-ра техн. наук / С. А. Бессоненко. – М. : МИИТ, 2011. – 37 с.

6 Рудановский, В. М. О попытке критики теоретических положений динамики скатывания вагона по уклону сортировочной горки / В. М. Рудановский, И. П. Старшов, В. А. Кобзев // *Бюллетень транспортной информации*. – 2016. – № 6 (252). – С. 19–28.

7 К вопросу движения вагона по уклону железнодорожного пути / Ю. О. Позойский [и др.] // *Бюллетень транспортной информации*. – 2018. – № 2 (272). – С. 35–38.

8 Правила и нормы проектирования сортировочных устройств на железных дорогах колеи 1520 мм. – М. : ТЕХИНФОРМ, 2003. – 168 с.

9 Образцов, В. Н. Станции и узлы. Ч. II / В. Н. Образцов. – М. : Трансжелдориздат, 1938. – 492 с.

10 Шмаль, С. Н. Попытка заново рассчитать брахистохрону / С. Н. Шмаль // *Мир транспорта*. – 2011. – № 3. – С. 34–38.

11 Кобзев, В. А. Особенности расчёта спускной части сортировочных горок методом покоординатного спуска / В. А. Кобзев // *Наука и техника транспорта*. – 2014. – № 1. – С. 17–20.

12 Долженко, А. М. Problems of optimization control of trains formation / А. М. Долженко // *Наука и образование в*

жизни современного общества : сб. науч. трудов по материалам междунар. науч.-практ. конф. : в 18 ч. – 2013. – С. 53–54.

13 Долженко, А. М. Оптимальное управление роспуском поездов на сортировочных горках малой мощности / А. М. Долженко // *Вестник транспорта Поволжья*. – 2014. – № 1 (43). – С. 56–60.

14 Железнодорожные станции и узлы / В. И. Алатцев [и др.]. – М. : ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2014. – 332 с.

15 Turanov, Kh. T. Analytical investigation of wagon speed and traversed distance during wagon hump rolling under the impact of gravity forces and head wind / Kh. T. Turanov // *Global Journal of Researches in Engineering: A. Mechanical and Mechanical Engineering*. – 2014. – Vol. 14. – Is. 1. Version 1.0 Year 2014. – New York. – P. 1–9.

16 Turanov, Kh. T. Analytical Determination of Conditions of Wagon Rolling Down Marshalling Hump Profiles / Kh. T. Turanov, A. A. Gordienko // *Open Access Library Journal*. – 2003. – No. 2, e1912.

17 Туранов, Х. Т. Движения вагона на сортировочной горке при попутном ветре / Х. Т. Туранов, А. А. Гордиенко // *Мир транспорта*. – 2015. – Т. 13. – № 6 (61). – С. 36–48.

18 Джаббаров, Ш. Б. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ DGU №09078 от 08.09.20 / Ш. Б. Джаббаров, Ш. У. Саидвалиев. – 2020.

19 Turanov, Kh. Designing the height of the first profile of the marshalling hump / Kh. T. Turanov, A. A. Gordienko // *E3S Web of Conferences*. – Vol. 164, 03038. – 2020.

20 Movement of the wagon on the marshalling hump under the impact of air environment and tailwind / Kh. T. Turanov [et al.] // *E3S Web of Conferences*. – Vol. 164, 03041. – 2020.

21 Туранов, Х. Т. Ореление кинематических параметров движения вагона на участках тормозных позиций сортировочной горки / Х. Т. Туранов, Ш. У. Саидвалиев // *Современные проблемы транспортного комплекса России*. – 2019. – Т. 9. – № 1. – С. 21–26.

22 Туранов, Х. Т. Кинематические характеристики вагона на протяжении всей длины профиля сортировочной горки / Х. Т. Туранов, Х. Х. Джалилов // *Modern scientific challenges and trends*. – 2020. – № 6 (28). – С. 107–123.

23 Джалилов, Х. Х. Расчет скорости движения вагона на всей протяженности профиля пути с различными уклонами сортировочной горки / Х. Х. Джалилов // *Вестник ТашиИТ*. – 2019. – № 2. – С. 58–67.

Получено 02.11.2020

A. A. Gordienko, Kh. Kh. Djalilov, Sh. B. Djabbarov, S. G. Inagamov. About movement of the freight wagon on a descent part of a sorting hill at a fair wind.

In article results of researches of influence of slope profile and location on a curved section of track the third brake positions at hump effect of wind. Calculations have proved that increasing the slope of the profile of the third brake position, as well as its placement on a curved section of the track, slightly increases the speed of collision of cars in the sub-road park. It is proved that when placing the third brake position on both straight and curved sections of the track, when a tailwind affects a "very bad runner", as well as when the full capacity of the brake positions is used, the standard speed of the approach of cars to a group of cars in the podhorochny Park is not met. Ensuring acceptable collision speeds under these conditions can be achieved by changing the profiles of individual sections of the descent part of the sorting slide or by using additional car decelerators.

УДК 656.025.2

П. В. КОВТУН, кандидат технических наук, И. Н. КРАВЧЕНЯ, кандидат технических наук, Т. А. ДУБРОВСКАЯ, старший преподаватель, А. В. КЫТИН, инженер, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

ОСНОВНЫЕ РЕШЕНИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ РАЗВЯЗКИ ГОРОДСКОГО КОЛЬЦА СО СТАЦИОННЫМИ ПУТЯМИ СТ. МИНСК-ПАССАЖИРСКИЙ

Рассматривается вариант пересечения железной и автомобильной дорог в различных уровнях путем строительства железнодорожного путепровода. Данное решение обусловлено, кроме современных требований безопасности движения, еще и инженерно-геодезическими исследованиями: железнодорожные пути находятся на более высоких отметках земли. В проект входят смещение оси путей во временное и окончательное местоположение в плане, расчет продолжительности строительства по двум вариантам.

Основные проектные решения предусматриваются исходя из оптимальных затрат при строительстве и возможности дальнейшей эффективной и безопасной эксплуатации объектов железнодорожного транспорта.

Для бесперебойного пропуски поездов, обеспечения безопасности движения поездов и учитывая круглосуточный режим работы железнодорожного транспорта при проектировании железнодорожного путепровода через проектируемую ул. 1-е Кольцо и в связи с этим реконструкции железнодорожных путей Vнп и VIнп между станциями Минск-Пассажирский и Минск-Сортировочный предусматривается:

- демонтаж подъездного пути СМП № 738 ОАО «Трест Белтрансстрой» № 60, демонтаж предохранительного тупика № 59, демонтаж стрелочных переводов № 8, 10 с временным восстановлением пути Vнп (укладка участка пути вместо разобранного стрелочного перевода СП10);

- переустройство железнодорожных путей Vнп и VIнп по временной схеме на период строительства путепровода через проектируемую ул. 1-е Кольцо с переукладкой участка пути III направления Минск-Пассажирский – Минск-Северный с заменой симметричного стрелочного перевода СП28 на обыкновенный стрелочный перевод (Р65 М1/11) в четной горловине ст. Минск-Пассажирский;

- работы по устройству земляного полотна временных путей на период строительства путепровода с последующей его разборкой;

- работы по укреплению откосов земляного полотна временных путей посевом трав с подсыпкой растительного слоя земли;

- планировка откосов существующего земляного полотна путей Vнп, VIнп в местах разборки существующих подпорных стен склада щебня СМП-738 ОАО «Трест Белтрансстрой» и автостоянки Минской дистанции электроснабжения ЭЧ-1, укрепление откосов посевом трав;

- строительство нового железнодорожного путепровода под три пути (с учетом перспективного) над проектируемой ул. 1-е Кольцо с подпорной стенкой вдоль пути VIнп;

- укладка реконструируемых путей Vнп, VIнп Минск-Пассажирский – Минск-Сортировочный на путепроводе по постоянной схеме с переукладкой участка пути III направления Минск-Пассажирский – Минск-Северный с укладкой нового стрелочного перевода СП28 (Р65 М1/11) на новой ординате в четной горловине ст. Минск-Пассажирский;

- вынос и защита подземных коммуникаций Белорусской железной дороги, попадающих в зону строительства путей и путепровода;

- реконструкция действующих устройств электрической централизации (ЭЦ) ст. Минск-Пассажирский;

- реконструкция контактной сети ст. Минск-Пассажирский в соответствии с путевым развитием в зоне производства работ;

- реконструкция дистанционного управления разъединителями контактной сети в зоне производства работ;

- реконструкция наружного освещения четной горловины ст. Минск-Пассажирский в зоне производства работ;

- переустройство кабельной канализации для выноса кабелей, попадающих в зону производства работ на участке Минск-Сортировочный – Минск-Пассажирский;

- переустройство существующих медных и оптических кабелей связи, попадающих в зону производства работ на участке Минск-Сортировочный – Минск-Пассажирский;

- переустройство волноводной линии поездной радиосвязи ст. Минск-Пассажирский.

Переустройство III главного пути участка ст. Минск-Пассажирский – ст. Минск-Северный осуществляется по нормам I категории. Реконструкция железнодорожных путей Vнп, VIнп Минск-Пассажирский – Минск-Сортировочный осуществляется по нормам III категории (рисунок 1).

В I этапе производится демонтаж существующего подъездного пути СМП № 738 ОАО «Трест Белтрансстрой» № 60, предохранительного тупика № 59, демонтаж стрелочных переводов № 8, 10 восстановления пути Vнп.

Во II этапе на период строительства железнодорожного путепровода выполняется укладка путей Vнп, VIнп в новом плановом положении в обход площадки строительства путепровода со строительством земляного полотна временных путей.

Положение временных путей в плане обусловлено путевым развитием станции Минск-Пассажирский, расположением площадки строительства железнодорожного путепровода в месте пересечения реконструируемых путей Vнп, VIнп с проектируемой ул. 1-е Кольцо, расположением существующих путей Vнп, VIнп участка Минск-Пассажирский – Минск-Сортировочный и Минск-Северный – Минск-Сортировочный.

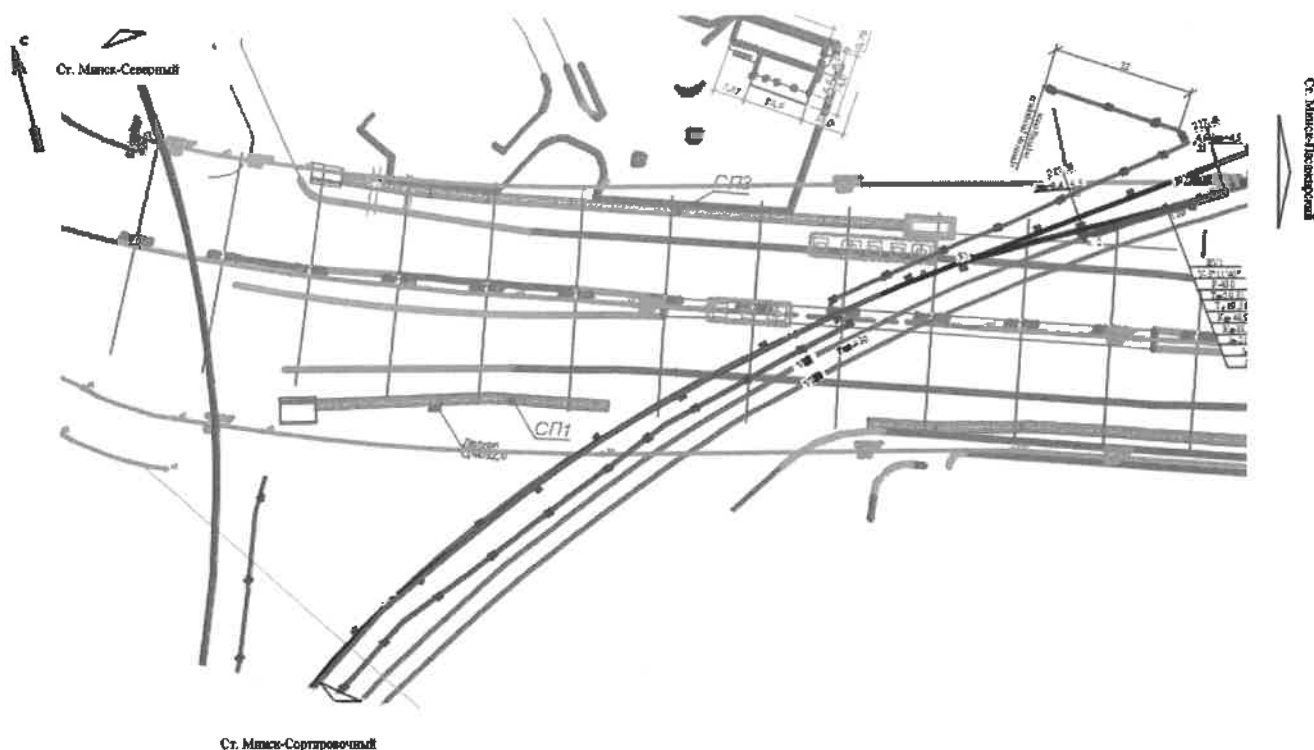


Рисунок 1 – План железнодорожных путей. Исходное положение

Положение реконструируемых железнодорожных путей Vмп, VIмп Минск-Пассажирский – Минск-Сортировочный в плане обусловлено существующим путевым развитием станции Минск-Пассажирский, расположением существующих путей Vмп, VIмп участка Минск-Пассажирский – Минск-Сортировочный и Минск-Северный – Минск-Сортировочный, расположением сохраняемых при строительстве ул. 1-е Кольцо зданий, необходимостью предусмотреть перспективное строительство третьего главного пути на участке Минск-Пассажирский – Минск-Сортировочный, а также плановым положением проектируемой ул. 1-е Кольцо.

Проектируемый большой железнодорожный путепровод пересекает проектируемую городскую улицу (1-е Кольцо) категории I-а, количество полос движения – 6, габарит проезжей части – $3 \times 3,75 + 6,0 + 3 \times 3,75$ м. С левой стороны проезжей части тротуар шириной 4,0 м, с правой стороны проезжей части тротуар совместный с велосипедной дорожкой общей шириной 5,5 м. Габарит приближения конструкций под путепроводом по высоте – 5,0 м. Угол пересечения касательной к оси железнодорожного пути VIмп и оси ул. 1-е Кольцо составляет $34^{\circ}41'$.

Железнодорожный путепровод находится на уклоне 7‰ в профиле, в кривой радиусом от 350 до 360 м в плане. Проектное положение железнодорожных путей в плане и профиле принято в соответствии с планом реконструируемых путей.

Авторами статьи был произведен поиск оптимального решения организации строительства с целью своевременного ввода рассматриваемого объекта в эксплуатацию.

При расчете продолжительности строительства используется программа Microsoft Excel. Основываясь на данных о трудозатратах, стоимости одного человеко-часа и количества рабочих ведется расчет фонда зара-

ботной платы и продолжительности строительства. Представлен базовый и один конкурирующий варианты строительства. Конкурирующий вариант основан на производстве работ не на двухсменном графике, а на трехсменном. Трехсменный график строительства позволит сократить продолжительность строительства объекта при минимальных затратах на производство работ в ночное время.

Расчет продолжительности строительства по базовому варианту основан на двухсменном графике, продолжительностью смены 8 часов.

Продолжительность строительства определяется по видам работ по трудозатратам, полученным при выполнении сметных расчетов по формуле

$$T = T_{\text{труд}} / (8n \cdot 21P),$$

где $T_{\text{труд}}$ – трудозатраты, чел.ч; 8 – продолжительность рабочего дня, ч; T – продолжительность строительства, мес.; 21 – количество рабочих дней в месяце; n – количество смен.

Все работы при строительстве путепровода ведутся в три этапа. Общая продолжительность строительства при двухсменном варианте составляет 19,56 месяца.

При рассмотрении конкурирующего варианта работы также ведутся в три этапа, а общая продолжительность строительства при трехсменном графике составила 14,37 месяца.

В программе Microsoft Project, на основе расчетов, полученных в Microsoft Excel, составляется календарный график производства работ. В программе указываются названия, даты начала и продолжительности работ, а также взаимосвязи, для упрощения расчета дат начала и/или окончания работ, в зависимости от сроков выполнения и требований одновременного начала работ и/или одновременного завершения работ различной продолжительности (рисунки 2, 3).

Наименование задачи	Длительность	Начало	Окончание	Наименование ресурса
Строительство объекта	19,56 мес	Пн 03.02.20	Пн 30.08.21	
I этап строительства	2,5 мес	Пн 03.02.20	Пн 19.06.20	
Подготовительные работы	0,4 мес	Пн 03.02.20	Вт 25.02.20	Подготовительные работы
Верхнее строение пути	0,1 мес	Пн 03.02.20	Ср 19.02.20	Верхнее строение пути
Подпорные стены. Работы выполняемые до перестройки жд путей	5 мес	Пн 03.02.20	Пн 29.06.20	Подпорные стены. Работы выполняемые до перестройки железнодорожных путей
Железнодорожный путепровод. Работы выполняемые до перестройки жд путей	3 мес	Ср 01.04.20	Пн 29.06.20	Железнодорожный путепровод. Работы выполняемые до перестройки жд путей
Устройства СЦБ	0,2 мес	Пн 03.02.20	Чт 13.02.20	Устройство СЦБ
Системы связи	2 мес	Пн 03.02.20	Ср 01.04.20	Система связи
II этап строительства	17,57 мес	Ср 01.04.20	Пн 30.08.21	
Подготовительные работы	0,1 мес	Ср 01.04.20	Ср 15.04.20	Подготовительные работы
Сооружение земляного полотна	0,3 мес	Пн 01.06.20	Вт 23.06.20	Сооружение земляного полотна
Верхнее строение пути	3 мес	Ср 01.04.20	Пн 26.06.20	Верхнее строение пути
Подпорные стены. Работы выполняемые после перестройки железнодорожных путей	4 мес	Ср 01.07.20	Пн 26.10.20	Подпорные стены. Работы выполняемые после перестройки жд путей
Железнодорожный путепровод. Работы выполняемые после перестройки жд путей	14 мес	Ср 01.07.20	Пн 16.08.21	Железнодорожный путепровод. Работы выполняемые после перестройки железнодорожных путей
Отделочные работы путепровода и подпорных стен	2 мес	Пн 02.08.21	Пн 30.08.21	Отделочные работы путепровода и подпорных стен
Системы связи	0,3 мес	Пн 01.06.20	Вт 23.06.20	Системы связи
Контактная сеть	2 мес	Пн 04.02.20	Вт 30.06.20	Контактная сеть
Электроснабжение и освещение	0,3 мес	Пн 01.06.20	Вт 23.06.20	Электроснабжение и освещение
Устройства СЦБ	1 мес	Пн 01.06.20	Пн 29.06.20	Устройства СЦБ
III этап строительства	3,05 мес	Вт 01.06.21	Пн 27.08.21	
Подготовительные работы	0,1 мес	Вт 01.06.21	Чт 03.06.21	Подготовительные работы
Сооружение земляного полотна	0,3 мес	Вт 01.06.21	Ср 09.06.21	Сооружение земляного полотна
Верхнее строение пути	3 мес	Вт 01.06.21	Чт 26.08.21	Верхнее строение пути
Системы связи	0,5 мес	Пн 02.08.21	Пн 16.08.21	Системы связи
Контактная сеть	2 мес	Вт 01.07.21	Пн 27.08.21	Контактная сеть
Электроснабжение и освещение	0,3 мес	Пн 02.08.21	Вт 10.08.21	Электроснабжение и освещение
Устройства СЦБ	0,5 мес	Пн 02.08.21	Пн 16.08.21	Устройства СЦБ
Устройство ограждения	0,3 мес	Пн 02.08.21	Вт 10.08.21	Устройство ограждения

Рисунок 2 – Календарный план строительства, базовый вариант

Таким образом, общая продолжительность строительства при двухсменном варианте составляет 19,56 месяца, а при трехсменном графике – 14,37. Так как трудозатраты одни и те же, то введение объекта в эксплуатацию раньше срока на 5,19 месяца и принятие коэффициента, учитывающего применение прогнозного индекса цен в строительстве, позволят получить экономический эффект от досрочного ввода объекта в эксплуатацию. До мая коэффициент равнялся 1,0067, с мая – 1,0049.

На период строительства железнодорожного путепровода выполняется укладка путей Vнп, VIнп в новом плановом положении в обход площадки строительства (рисунок 4). Земляное полотно временных путей Vнп, VIнп ст. Минск-Пассажирский запроектировано в соответствии с требованиями [2, 5].

Проектирование земляного полотна временных путей Vнп, VIнп ст. Минск-Пассажирский обуславливается местом примыкания временных путей к существующим путям ст. Минск-Пассажирский, существующим расположением реконструируемых путей Vнп, VIнп ст. Минск-Пас-сажирский и площадки строительства путепровода, расположением временных путей Vнп, VIнп в плане, рельефом местности, продольным профилем существующих железнодорожных путей.

Учитывая вышесказанное, земляное полотно временных путей Vнп, VIнп ст. Минск-Пассажирский запрое-

Наименование задачи	Длительность	Начало	Окончание	Наименование ресурса
Строительство объекта	14,37 мес	Пн 03.02.20	Вт 06.03.21	
I этап строительства	1,66 мес	Пн 03.02.20	Вт 08.05.20	
Подготовительные работы	0,3 мес	Пн 03.02.20	Ср 19.02.20	Подготовительные работы
Верхнее строение пути	0,2 мес	Пн 03.02.20	Чт 13.02.20	Верхнее строение пути
Подпорные стены. Работы выполняемые до перестройки жд путей	3,3 мес	Пн 03.02.20	Пн 06.05.20	Подпорные стены. Работы выполняемые до перестройки жд путей
Железнодорожный путепровод. Работы выполняемые до перестройки жд путей	1,9 мес	Пн 13.05.20	Пн 08.06.20	Железнодорожный путепровод. Работы выполняемые до перестройки жд путей
Устройства СЦБ	0,1 мес	Пн 03.02.20	Пн 07.02.20	Устройство СЦБ
Системы связи	1,2 мес	Пн 03.02.20	Пн 09.03.20	Система связи
II этап строительства	13,3 мес	Ср 01.04.20	Пн 25.03.21	
Подготовительные работы	0,5 мес	Ср 01.04.20	Чт 09.04.20	Подготовительные работы
Сооружение земляного полотна	0,5 мес	Пн 01.06.20	Пн 15.06.20	Сооружение земляного полотна
Верхнее строение пути	1,9 мес	Ср 01.04.20	Вт 26.03.20	Верхнее строение пути
Подпорные стены. Работы выполняемые после перестройки железнодорожных путей	2,6 мес	Ср 01.07.20	Вт 15.09.20	Подпорные стены. Работы выполняемые после перестройки жд путей
Железнодорожный путепровод. Работы выполняемые после перестройки железнодорожных путей	0,2 мес	Ср 01.07.20	Пн 29.03.21	Железнодорожный путепровод. Работы выполняемые после перестройки жд путей
Отделочные работы путепровода и подпорных стен	2,6 мес	Пн 01.03.21	Ср 17.03.21	Отделочные работы путепровода и подпорных стен
Системы связи	0,5 мес	Пн 01.06.20	Пн 15.06.20	Система связи
Контактная сеть	1,3 мес	Пн 04.05.20	Ср 10.04.20	Контактная сеть
Электроснабжение и освещение	0,5 мес	Пн 01.06.20	Пн 15.06.20	Электроснабжение и освещение
Устройства СЦБ	0,7 мес	Пн 01.06.20	Пн 19.06.20	Устройства СЦБ
III этап строительства	3 мес	Вт 01.01.21	Вт 30.03.21	
Подготовительные работы	0,1 мес	Пн 01.01.21	Вт 05.01.21	Подготовительные работы
Сооружение земляного полотна	0,2 мес	Пн 01.01.21	Чт 07.01.21	Сооружение земляного полотна
Верхнее строение пути	2 мес	Пн 01.02.21	Вт 30.03.21	Верхнее строение пути
Системы связи	0,3 мес	Пн 01.03.21	Вт 09.03.21	Система связи
Контактная сеть	1,3 мес	Пн 01.02.21	Ср 10.03.21	Контактная сеть
Электроснабжение и освещение	0,2 мес	Пн 01.03.21	Пн 05.03.21	Электроснабжение и освещение
Устройства СЦБ	0,5 мес	Пн 01.03.21	Вт 09.03.21	Устройства СЦБ
Устройство ограждения	0,2 мес	Пн 01.03.21	Вт 05.03.21	Устройство ограждения

Рисунок 3 – Календарный план строительства, конкурирующий вариант

ктировано в насыпи и с заглубленным и полузаглубленным балластом. Для путей Vнп, VIнп на период строительства путепровода ширина земляного полотна с заглубленным и полузаглубленным балластом при принятой толщине балластного слоя под шпалой (20 см – песчаная подушка, 25 см – щебеночный балласт на деревянных шпалах) принимается 3,6 м.

Ширина основной площадки земляного полотна путей Vнп, VIнп ст. Минск-Пассажирский принята 7,30 м. Поперечное очертание основной площадки двухпутного земляного полотна принимается в виде треугольника высотой 0,2 м с основанием, равным ширине основной площадки земляного полотна. Предусматривается уширение основной площадки земляного полотна в кривых участках пути с наружной стороны кривой на 0,5 м при радиусе кривых 600 м и менее. Растительный слой согласно данным инженерно-геологических изысканий в пределах производства земляных работ в основании насыпи (выемки) отсутствует. Откосы проектируемых земляных сооружений укрепляются посевом трав с подсыпкой растительного слоя земли толщиной 0,10 м. Крутизна откосов насыпи в верхней части высотой до 6 м – 1:1,5, в нижней части свыше 6 до 12 м – 1:1,75. Доставка грунта для отсыпки насыпи земляного полотна железнодорожных путей предусматривается автомобильной возкой.

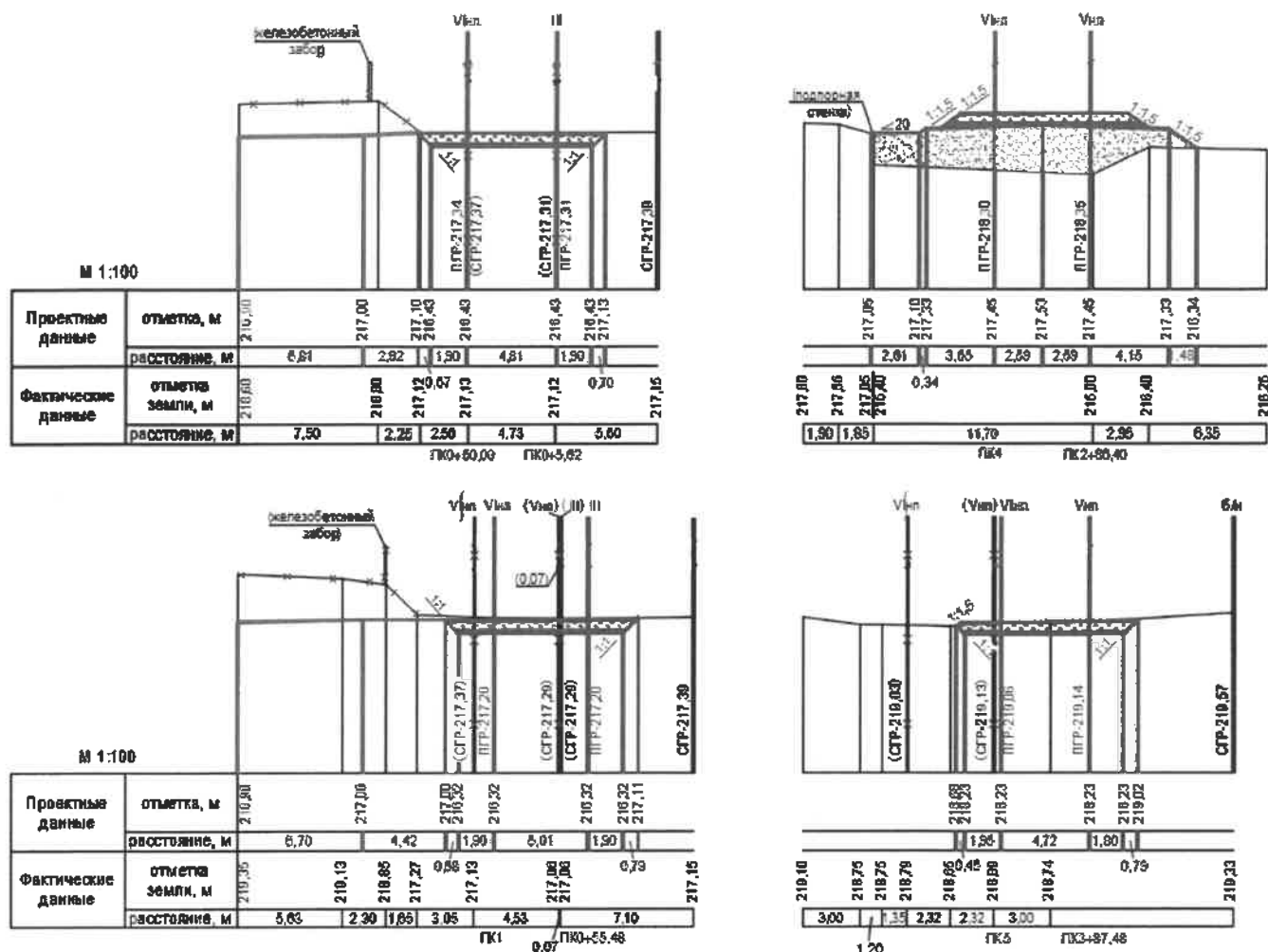


Рисунок 4 – Поперечные профили земляного полотна

Коэффициент уплотнения в железнодорожной насыпи проектируемых временных железнодорожных путей V_{нп}, V_{нпв} в верхней части насыпи до 0,5 м включительно составляет – 0,95, в нижней части насыпи – 0,90 и обеспечивается посредством:

- назначения необходимого числа проходов уплотняющих машин, устанавливаемых на основе предварительного пробного уплотнения;
- ограничения толщины отсыпаемых слоёв и размеров отдельных камней;
- создания запаса на осадку. При коэффициенте уплотнения 0,95 величина запаса от проектной высоты насыпи составляет 0,5 %.

Ширина земляного полотна реконструируемых путей V_{нп}, V_{нпв}, укладываемых по постоянной схеме, с заглубленным и полуглубленным балластом при принятой толщине балластного слоя под шпалой (20 см песчаная подушка, 30 см щебеночный балласт на участках с железобетонными шпалами) принимается 3,8 м.

Откосы существующего земляного полотна железнодорожных путей V_{нп}, V_{нпв} в местах разборки насыпи временных железнодорожных путей, а также ранее разобранных подпорной стенки склада щебня СМП-738 «Трест Белтрансстрой» и подпорной стенки вдоль авто-

стоянки Минской дистанции электроснабжения планируются с крутизной откоса 1:1,5 и укрепляются посевом трав.

Водоотвод от земляного полотна реконструируемых путей V_{нп}, V_{нпв} Минск-Пассажирский – Минск-Сортировочный решается вертикальной планировкой. В местах укладки реконструируемых путей V_{нп}, V_{нпв} на существующем земляном полотне схема отвода поверхностного стока вод при переустройстве не изменяется.

Верхнее строение пути. Конструкция верхнего строения пути временных путей на период строительства и укладываемых по постоянной схеме принята в соответствии с требованиями СНБ 3.03.01–98 «Железные дороги колеи 1520 мм», ТКП 493–013 «Верхнее строение железнодорожного пути. Правила устройства» и СТП БЧ 56.269–2013 «Бесстыковой путь. Устройство, укладка, содержание и ремонт».

Верхнее строение временных путей V_{нп}, V_{нпв} ст. Минск-Пассажирский, а также III главного пути Минск-Пассажирский – Минск-Северный на период строительства путепровода запроектировано из старогонных рельсов Р65 (1 группы годности) на деревянных шпалах I типа. Эпора шпал – 1840 шт./км на прямых и в кривых радиусом более 1200 м или 2000 шт./км при

укладке в кривой радиусом 1200 м и менее. Тип скрепления – костыльное.

Верхнее строение реконструируемых путей Vнп, Vнп ст. Минск-Пассажирский, а также III главного пути Минск-Пассажирский – Минск-Северный, укладываемых по постоянной схеме, запроектировано из новых рельсов Р65 на железобетонных шпалах с укладкой плетей бесстыкового пути. Эпора шпал – 1840 шт./км на прямых и в кривых радиусом более 1200 м или 2000 шт./км при укладке в кривой радиусом 1200 м и менее. Тип скрепления – СБ-3.

Вид балласта – двухслойный (щебеночный балласт на песчаной подушке) с толщиной балластного слоя под шпалой 35/20 см (щебеночный балласт – 35 см, песчаная подушка – 20 см) для путей на железобетонных шпалах и 25/20 для путей на деревянных шпалах.

В кривых участках пути возвышение наружного рельса устраивается в соответствии с действующими нормами.

Ширина балластной призмы поверху на прямых участках III главного пути Минск-Пассажирский – Минск-Северный должна быть не менее 3,85 м, путей Vнп, Vнп Минск-Пассажирский – Минск-Сортировочный – не менее 3,65 м. В кривых участках путей при $R < 600$ м ширину балластной призмы необходимо увеличивать с наружной стороны кривой на 0,10 м.

Проектируемый стрелочный перевод СП28 на период строительства путепровода – левосторонний, марки I/11, укладывается из новых рельсов Р65 на деревянных брусках и щебеночном балласте.

Проектируемый стрелочный перевод СП28, укладываемый по постоянной схеме – левосторонний, марки I/11, укладывается из новых рельсов Р65 на железобетонных брусках.

Для уменьшения износа рельсов и ходовой части подвижного состава, шума при движении поездов в кривых малых радиусов применяются рельсосмазыватели циклического действия СР-1 (напряжение ~380 В, мощность 1 кВт). Установка рельсосмазывателей на период строительства путепровода осуществляется на ПК0+74,00 проектируемого условного пикетажа пути Vнп и на ПК8+63,00 проектируемого условного пикетажа пути Vнп. По постоянной схеме установка рельсосмазывателей осуществляется на ПК0+68,00 проектируемого условного пикетажа пути Vнп и на ПК8+20,00 проектируемого условного пикетажа пути Vнп (соответствует ПК8+63,00 проектируемого условного пикетажа пути Vнп на период строительства).

Таким образом, разработанные решения по проектированию развязки городского кольца со станционными путями станции Минск-Пассажирский позволяют:

- увеличить пропускную способность автодороги;

Получено 28.07.2020

P. V. Kovtun, I. N. Kravchenya, T. A. Dubrovskaya, A. V. Kytin. Basic solutions for designing the unit of the city ring with station ways st. Minsk-Passenger.

For the development of the project, an option is being considered for the intersection of railways and roads at various levels by building a railway overpass. This decision is due, in addition to modern traffic safety requirements, also by engineering and geodetic studies: the railway tracks are located at higher elevations of the earth. The project includes the displacement of the track axis to the temporary and final location in the plan, the calculation of the construction duration according to two options.

– повысить скорость движения и уровень безопасности транспортных средств;

– улучшить организацию движения между логистическими центрами с различной транспортной инфраструктурой и видами транспорта.

Список литературы

1 ТР ТС 003/2011. О безопасности инфраструктуры железнодорожного транспорта; введ. 15.07.2011. – М. : Росстандарт, 2011. – 66 с.

2 СНБ 3.03.01–98. Железные дороги колеи 1520 мм. – Взамен СНиП II-39–76, СНиП III-38–75 и СН 468–74; введ. 01.07.1998. – Минск : М-во архит. и стр-ва Респ. Беларусь, 1998. – 39 с.

3 Правила технической эксплуатации Белорусской железной дороги. – Введ. 01.07.2016. – Минск : М-во архит. и стр-ва Респ. Беларусь, 2016. – 300 с.

4 ГОСТ 9238–2013. Габариты железнодорожного подвижного состава и приближения строений. – Взамен ГОСТ 9238–83; введ. 01.07.2014. – М. : Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2014. – 177 с.

5 ТКП 493–2013 (02190). Верхнее строение железнодорожного пути. Правила устройства. – Введ. 16.09.2013. – Минск : М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, 2013. – 48 с.

6 ТКП 45-3.03-163–2009. Железные дороги. Земляное полотно. Правила проектирования. – Введ. 07.12.2009. – Минск : М-во архит. и стр-ва Респ. Беларусь, 2009. – 103 с.

7 ТКП 45-3.03-232–2018. (33020) Мосты и трубы. Строительные нормы проектирования. – Взамен ТКП 45-3.03-232–2011 (02250); введ. 01.03.2019. – Минск : М-во архит. и стр-ва Респ. Беларусь, 2019. – 288 с.

8 СТП 09150.56.010–2005. Текущее содержание железнодорожного пути. Технические требования и организация работ. – Взамен РД РБ 02100.3.078–2008; введ. 01.03.2019. – Минск : М-во архит. и стр-ва Респ. Беларусь, 2019. – 21 с.

9 СТП БЧ 56.269–2013. Бесстыковой путь. Устройство, укладка, содержание и ремонт. – Введ. 05.07.2013. – Минск : М-во архит. и стр-ва Респ. Беларусь, 2013. – 38 с.

10 СН 3.03.04–2019. Автомобильные дороги. Нормы проектирования. – Взамен ТКП 45-3.03-19–2006; введ. 21.06.2020. – Минск : М-во архит. и стр-ва Респ. Беларусь, 2020. – 64 с.

11 ТКП 45-3.03-227–2010. Улицы и дороги городов, поселков и сельских населенных пунктов. – Введ. 17.12.2010. – Минск : М-во архит. и стр-ва Респ. Беларусь, 2020. – 49 с.

12 ТКП 45-5.01-237–2011. Основания и фундаменты зданий и сооружений. Подпорные стены и крепления котлованов. Правила проектирования и устройства. – Введ. 01.07.2011. – Минск : М-во архит. и стр-ва Респ. Беларусь, 2011. – 110 с.

13 ТКП 45-5.01-254–2012. Основания и фундаменты зданий и сооружений. – Введ. 01.07.2012. – Минск : М-во архит. и стр-ва Респ. Беларусь, 2012. – 118 с.

14 ТКП 45-3.03-188–2010. Мосты и трубы. Строительные нормы проектирования фундаментов. – Введ. 01.07.2010. – Минск : М-во архит. и стр-ва Респ. Беларусь, 2010. – 90 с.

15 СНБ 2.04.022000. Строительная климатология. – Введ. 07.12.2000. – Минск : М-во архит. и стр-ва Респ. Беларусь, 2000. – 37 с.

16 ТКП 491–2013. Искусственные сооружения на железной дороге. Правила эксплуатации. – Введ. 18.06.2013. – Минск : Минсктранс, 2013. – 58 с.

УДК 656.224:519.711

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

ФОРМИРОВАНИЕ ОБЛАСТИ АТТРАКТОРА КАК ЗОНЫ ОТНОСИТЕЛЬНО УСТОЙЧИВОГО СОСТОЯНИЯ ПАССАЖИРОПОТОКА НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

Понятие «аттрактор» (от англ. *attract* – привлекать, притягивать) в настоящее время имеет широкое применение в различных сферах жизнедеятельности человека, в том числе и на железнодорожном транспорте как основа для формирования относительно устойчивого состояния пассажиропотока. При этом следует иметь в виду, что аттракции способствуют совершенствованию взаимодействия различных видов транспорта по обслуживанию населения в агломерации, которое должно осуществляться на основе всестороннего исследования схем пассажиропотоков, плана перспективной застройки городов и т. д. Поиск и нахождение новых аттракторов позволит обеспечить развитие пассажирских перевозок на железнодорожном транспорте и увеличить его пассажиропоток.

В зависимости от предпочтений, отдаваемых пассажирами при выборе вида транспорта возможны различные варианты в интервале от бифуркации до следующей бифуркации, когда пассажиропоток возвращается в исходное или близкое к нему состояние. При этом точкой бифуркации может выступать центр зарождения или погашения пассажиропотока, например, вокзал (железнодорожный, автовокзал, пункт пересадки и т. п.), где появляются новые варианты для выбора, (отличающиеся от других относительной устойчивостью и более реальными) и который далее, после точки бифуркации, именуется как аттрактор. Например, если выбор пассажира приходится на вид транспорта, соответствующий его требованиям относительно скорости и продолжительности поездки, то можно сказать, что он находится в области аттрактора, где будет наблюдаться эффект формирования относительно устойчивого состояния пассажиропотока (рисунок 1) [2].

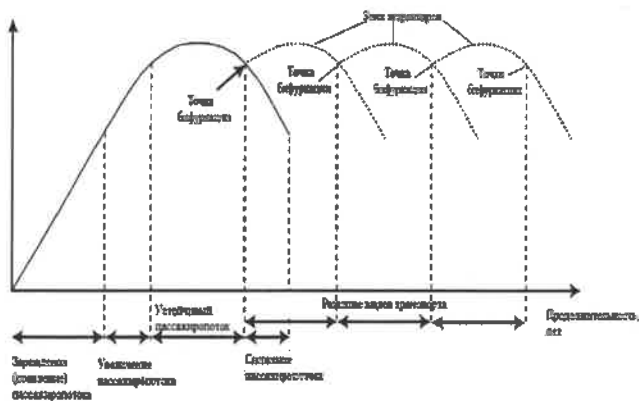


Рисунок 1 – Взаимосвязь зоны аттракторов

Таким образом, аттрактор – это относительно устойчивое состояние пассажиропотока, являющееся основой для развития множества направлений после точки бифуркации [2, 5]. На этом этапе возможно достаточно точное прогнозирование направления дальнейшего выбора пассажиром вида транспорта. Особо следует выделить путь развития, при котором бифуркация под действием какого-либо, даже незначительного события, «скачком» переводит пассажиропоток в новое, заранее непредсказуемое, качественное состояние, имеющее иногда полное видоизменение, например, при появлении новых видов транспорта (рисунок 2).

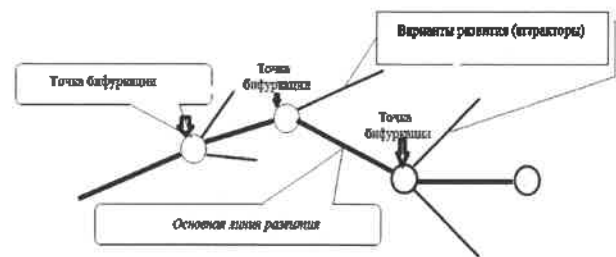


Рисунок 2 – Схема бифуркации и последующего развития аттракторов

Как видно из рисунка 2, аттракторы различной природы и порядка могут возникать последовательно, имея большую или меньшую значимость при формировании пассажиропотока. При этом важна не последовательность возникновения аттракторов, а их последовательно формирующаяся устойчивая связь и закономерность переноса определяющей информационной функции от одних аттракторов к другим. Так, возвращение пассажиропотока в область устойчивого состояния (аттрактора) происходит в результате сочетания управляющих параметров (преднамеренных и необходимых, например, достаточного количества свободных мест в региональных поездках) и случайных событий, таких как рост миграции населения, что приводит к усложнению структуры пассажиропотока, увеличению его численности, т. е. появлению новых свойств. Поэтому для ситуации, при которой требуется повысить конкурентоспособность железнодорожного транспорта, аттракторами могут выступать различные типы структур, имеющих «симметричную», правильную форму, такие как расписание движения поездов, тип подвижного состава и др. При этом необходимо учитывать, что аттракторы в традиционном понимании, обладают особенностью возвращаться в первоначальное состояние через некоторое время, что определяется как их асимптотическая устойчивость [1–5, 8].

Случайное событие вызывает неустойчивость, которая служит толчком для возникновения новых конфигураций. Так, при изменении управляющих параметров в пассажиропотоке могут наблюдаться разнообразные переходные явления. Вблизи равновесия стационарное состояние асимптотически устойчиво, поэтому в силу непрерывности эта динамика распространяется до критической области, и при достижении критического значения процесс может стать неустойчивым. Поэтому даже небольшое изменение переводит систему в новое

устойчивое состояние, которое может быть упорядоченным, и процесс может быть построен по схеме, приведенной на рисунке 3.

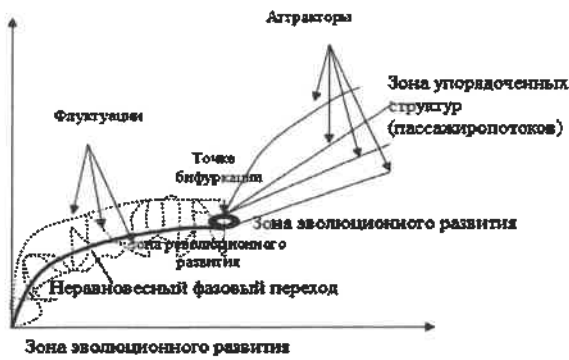


Рисунок 3 – Формирование зон развития флуктуации и бифуркации

Любой пассажиропоток, претерпевший бифуркацию, следует рассматривать, как одно из вероятностных представлений, так и классического лапласовского детерминизма (линейного и однозначного), так как находясь между двумя точками бифуркации (см. рисунок 3), пассажиропоток закономерно следует на определенный вид транспорта, тогда как вблизи точек бифуркации значимыми становятся флуктуации, которые и определяют, какой из вариантов выберет пассажир. Зоны развития флуктуации и бифуркации, представленные на рисунке 3, приводят к значительным изменениям значений различных параметров в разные периоды времени [3–7]. Тогда вокзал или остановочный пункт может быть представлен как специально выделенная точка, которая согласно математическому моделированию элементов сложных систем является зоной тяготения пассажиропотока.

Определим стационарные точки (аттракторы) через систему уравнений:

$$\begin{cases} r_1, Ж \left(1 - \frac{Ж}{n_1} \right) = 0; \\ r_2, A \left(1 - \frac{A}{n_2 + a_{21}Ж} \right) = 0. \end{cases} \quad (1)$$

где $Ж$ и A – пассажиропоток на железнодорожном и автомобильном транспорте; r_1, r_2 – коэффициенты увеличения пассажиропотока на железнодорожном и автомобильном транспорте в зависимости от спроса на пассажирские перевозки; n_1, n_2 – пропускная способность железнодорожного и автомобильного транспорта; a_{21} – коэффициент взаимодействия видов транспорта между собой, который показывает, насколько уменьшается плотность сети при увеличении плотности первого вида на единицу. При $n_1 / n_2 > a_{21}$ существует единственное устойчивое стационарное состояние [2].

Аттракторы в данном примере являются стационарными точками равновесия и могут быть определены из условия

$$\frac{dЖ}{dt} = \frac{dA}{dt} = 0. \quad (2)$$

Тогда система уравнений (1) имеет четыре пары корней:

$$\begin{aligned} Ж^{(1)} = 0; A^{(1)} = 0; Ж^{(2)} = 0; A^{(2)} = n_2; Ж^{(3)} = n_1; A^{(3)} = 0; \\ Ж^{(4)} = n_1; A^{(4)} = n_2 + a_{21} n_1. \end{aligned} \quad (3)$$

Если аттракторы устойчивы, то величины $Ж$ и A будут стремиться к ним, и наоборот, если не устойчивы, то $Ж$ и A будут удаляться от них и выбор того или иного вида транспорта может быть основан на определении вероятности информации по Шеннону. Это позволяет рассчитать среднее количество информации, которое реализуется в каждом выборе из двух альтернатив ($Z = 2$), т. е. из имеющихся возможностей отбираются и реализуются лишь те варианты, которые удовлетворяют критериям целенаправленного выбора, являющегося по своей сути «фильтром», и который из множества возможных вариантов, «пропускает» только имеющие соответствие требованиям. Однако он не является конечным этапом и итогом перехода пассажиропотока через точки бифуркации [2, 5].

Следовательно, выбор формирует и из них допускает множество различных вариантов, но какой из них будет осуществляться, зависит от тех случайных флуктуаций в момент, когда пороговое состояние достигнет критического значения (см. рисунок 3). Данный тезис подтверждается основными концепциями самоорганизации профессора Г. Хакена, который отметил, что «в зависимости от флуктуации, внутри самой системы последняя может переходить в одну из двух устойчивых точек (в один из двух аттракторов). В этом случае входящий сигнал содержит информацию в обычном смысле слова, который неоднозначен, и эта неоднозначность снимается флуктуацией системы. Если говорить не строго, то можно сказать, что исходная информация удваивается, так как после получения сигнала система может перейти в любой из двух аттракторов» [9].

Флуктуации, т. е. колебания пассажиропотока, которые готовят его к «раздвоению» могут быть по отношению к нему нейтральными или, наоборот, способствовать ускоренному выбору и т. д. (таблица 1).

Таблица 1 – Краткая характеристика типов флуктуации

Тип флуктуации	Направление проявления	Краткая характеристика
Скрытая	Нейтральное	Взаимно уравновешенное состояние
Очаговая	Появление «очагов» неоднородности	Закрепление измененного состояния «внутри» пассажиропотока

Необходимо также отметить, что флуктуация может быть «спусковым крючком», когда в пассажиропотоке, достигшем высокой степени нестабильности, мгновенно инициируется возникшее изменение [2, 3].

Количественные характеристики флуктуации основаны на методах математической статистики и теории вероятностей. Простейшей мерой ее случайной величины служит дисперсия. Эквивалентной мерой флуктуации является среднеквадратичное отклонение, равное корню квадратному из дисперсии, или его относительная величина [3].

Представленный анализ позволяет исследовать структуру регионального пассажиропотока, что в дальнейшем может определять выбор железнодорожного транспорта, который меняется по определенным интервалам времени с различной интенсивностью. Помимо этого, приведенный анализ особенно важен для железнодорожных региональных перевозок, которые продолжаются в пределах города, где железнодорожный транспорт является его городским видом. В связи с этим, учет потребностей основных сегментов пассажиропотока в удобное время отправления и прибытия региональных (пригородных) поездов по начальным и конечным станциям, в рабочие, выходные и праздничные дни должен производиться при прокладке ниток графика движения поездов. Это обеспечивает адресность назначаемых поездов и их заполняемость при прочих равных условиях эксплуатации. Неучет целей поездки, режима работы (учебы) и других побудительных факторов в значимых сегментах ведет к неостребованности проложенных ниток графика движения поездов, неоправданному ожиданию их отправления пассажирами и переходу части из них на автомобильный транспорт. Однако вышеприведенные факторы могут быть антагонистически связаны, например, для пассажиров более комфортной является поездка при минимальном их количестве в вагоне, а для железной дороги с экономической точки зрения – наоборот. Следовательно, после коротких периодов псевдоустойчивости пассажиропоток под воздействием указанных факторов может опять возвращаться в бифуркационные отрезки повышенной неустойчивости с эффектом «выбора пути» и повышенной чувствительностью к малым, точечным воздействиям. При этом наиболее эффективными оказываются те воздействия, которые приближают пассажиропоток к его будущему устойчивому состоянию. Бифуркационный процесс заканчивается, когда заканчиваются попытки ввода пассажиропотока в неустойчивое состояние.

Таким образом, на краткосрочном выборе каждого пассажира основано равновесие транспортных предпочтений, недостаточно изученных в современных условиях и в которых приоритет отдается автомобильному транспорту, что приводит к возникновению множества социальных и экологических издержек. Например, рост числа автостоянок и, как следствие, отчуждение земель приводит к территориальному «расползанию» городов при снижении численности населения в них.

Следовательно, развитие представленного направления закладывает единые методологические основы организации транспортного обслуживания на различных видах транспорта, обеспечивая при этом приемлемую конкуренцию между ними, и создает стимул для поиска новых технологий, повышения качества обслуживания населения.

Таким образом, пассажиропотоки на различных видах транспорта как сложные системы, отличающиеся разно-

образием состояний, требуют нового подхода к их анализу и управлению. Следует подчеркнуть, что высокая степень потенциальных возможностей транспорта и низкая степень их реализации в случае неэффективной организации транспортной схемы обслуживания будет формировать опасные тенденции его развития, что приводит к приоритету одного вида по отношению к другому.

Подводя итог вышесказанному, можно выдвинуть ряд новых положений при взаимодействии видов транспорта.

1 Фундаментальным источником неустойчивости пассажиропотока является имманентно воспроизводящееся противоречие между возможностями транспортных средств, имеющих, например, ограничения по скорости передвижения, комфорта поездки и т. п., что не всегда соответствует потребностям пассажиров.

2 Содержание и направленность диссипативных процессов, происходящих в пассажиропотоках, сводится к прогрессирующему процессу творчества социума, выражающемуся как в познании естественных законов природы, так и в создании всё более совершенных искусственных систем, их эволюция развития «направляется» специфическим аттрактором, представляющим собой набор целей, к которым они тяготеют.

3 Применение представлений об аттракторе при изучении систем расселения в агломерации позволят рассмотреть дальнейшие пути развития пассажирских перевозок на различных видах транспорта.

Список литературы

- 1 Теория бифуркаций / В. И. Арнольд [и др.]. – М. : Наука, 1990. – 128 с.
- 2 Власюк, Т. А. Железнодорожный пассажирский транспорт в территориальной структуре городов-центров и их спутников в Республике Беларусь (ретроспективный анализ и перспектива развития): [монография] / Т. А. Власюк. – М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус, гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2020. – 230 с.
- 3 Паташинский А. З. Флуктуационная теория фазовых переходов / А. З. Паташинский, В. Л. Покровский. – 2-е изд. – М., 1982. – 381 с.
- 4 Базыкин, А. Д. Портреты бифуркаций / А. Д. Базыкин, Ю. А. Кузнецов, А. И. Хибник. – М. : Знание, 1989. – 45 с.
- 5 Ильяшенко, Ю. С. Аттракторы и их фрактальная размерность / Ю. С. Ильяшенко. – М. : МЦНМО, 2005. – 16 с.
- 6 Йосс, Ж. Элементарная теория устойчивости и бифуркаций / Ж. Йосс, Д. Джоузеф. – М. : Мир, 1983. – 301 с.
- 7 Кузнецов, А. П. Динамические системы и бифуркации / А. П. Кузнецов. – Саратов, 2015. – 168 с.
- 8 Постнов, Д. Э. Бифуркации регулярных аттракторов: учеб. пособие / Д. Э. Постнов. – Саратов : Колледж, 1996. – 102 с.
- 9 Хакен, Г. Информация и самоорганизация: Макроскопический подход к сложным системам / Г. Хакен ; пер. с англ. Ю. А. Данилова. – М. : Мир, 1991. – 240 с.

Получено 25.09.2020

T. A. Vlasuk. Formation of the attractor area as a zone of relatively stable passenger traffic on railway transport.

The concept of "Attractor" is currently widely used in various spheres of human life, including can be used in railway transport, as a basis for the formation of a relatively stable state of passenger traffic. At the same time, it should be borne in mind that attractions contribute to improving the interaction of various modes of transport to serve the population in the agglomeration, which should be carried out on the basis of a comprehensive study of passenger traffic patterns, a plan for future urban development, etc. The search and finding of new attractors will ensure the development of passenger transport on the railway and increase its passenger traffic.

УДК 656.222.4

В. Г. КОЗЛОВ, заведующий НИЛ УПП, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОПУСКА И РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ КОРРЕСПОНДЕНЦИЙ ВАГОНОПОТОКОВ НА ОБЪЕКТАХ ИНФРАСТРУКТУРЫ ТРАНСПОРТНОЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ СЕТИ

Одной из основных задач управления перевозочным процессом на железнодорожном транспорте является организация вагонопотоков в поезда различной категории и пропуск их по направлениям железнодорожной сети. На Белорусской железной дороге, а также на железнодорожных администрациях стран СНГ и Балтии организация множества корреспонденций вагонопотоков осуществляется посредством разработки плана формирования грузовых поездов (ПФП). От выбора варианта реализации ПФП зависят эксплуатационные расходы всех участников перевозочного процесса. Для повышения эффективности перевозочного процесса за счет улучшения системы прогнозирования и планирования перевозок грузов, а также повышения точности и достоверности определения оптимального ПФП разработана технология моделирования пропуска и расчета параметров корреспонденций вагонопотоков на объектах инфраструктуры транспортной железнодорожной сети.

Эффективность перевозок грузов на железнодорожном транспорте находится в зависимости от реализуемой системы организации вагонопотоков в поезда, которая должна обеспечивать минимум суммарных затрат на пропуск заявленного клиентами вагонопотока по инфраструктуре железной дороги. Это может быть достигнуто на основе выполнения оптимального ПФП.

Процедура разработки ПФП на полигоне железной сети предполагает следующую этапность:

- разработка детального плана перевозок грузов;
- выбор расчетного направления (полигона) железнодорожной сети и формирование исходных параметров технического состояния расчетного направления;
- моделирование пропуска и расчет параметров корреспонденций вагонопотоков на объектах инфраструктуры рассматриваемого направления с учетом применения адаптивной системы их оценки при расчете ПФП;
- формирование расчетных таблиц корреспонденций: вагонопотоков специальных маршрутных отправок, вагонопотоков, следующих в грузовых поездах и вагонопотоков, следующих в местных поездах;
- разработка агрегированного графика корреспонденций вагонопотоков между техническими станциями расчетного направления;
- выбор критерия оценки и методики расчета ПФП в зависимости от количества технических станций на расчетном полигоне;
- расчет плана формирования отправительских маршрутов, одногруппных (групповых) поездов, порожних маршрутов, местных поездов;
- анализ выполнения ПФП и его корректировка.

Одновременно с разработкой ПФП осуществляется его согласование с ГДП: выделение корреспонденций вагонопотоков, следующих в поездах по постоянному расписанию, согласование размеров движения поездов с соседними ЖДА, разработка мер по согласованию ниток грузовых поездов различных категорий в ГДП для выполнения ПФП и т. д.

Предложенная технология моделирования пропуска и расчета параметров корреспонденций вагонопотоков на объектах инфраструктуры затрагивает изменение следующих этапов разработки ПФП: детального плана перевозок грузов и расчетных корреспонденций вагонопотоков.

Методика разработки плана перевозок грузов предполагает изменение структуры таблиц плана погрузки с расширением перечня исходных параметров. Существующая структура данных плана погрузки дополняется информацией необходимой для идентификации станции зарождения и погашения планируемого грузопотока. Для разработки общего плана погрузки дороги используется информация о плане погрузки от каждого грузоотправителя, а также отчетные данные о выполненных грузопотоках и вагонопотоках за предыдущий период. На основании отчетных данных определяются (уточняются) станции назначения планируемых корреспонденций грузопотоков, колебания их фактических размеров в течение расчетного периода и выявляются наиболее устойчивые корреспонденции. Далее разрабатываются соответствующие таблицы плана перевозок грузов в вагонах с детализацией по роду подвижного состава и станциям назначения.

Необходимо отметить, что для более наглядного примера приведены расчеты, основанные на трех основных характеристиках корреспонденций вагонопотока: станция зарождения, станция назначения и мощность назначения. В существующей практике и в предложенной методике структура таблицы плана перевозок грузов более развернутая, и каждая корреспонденция вагонопотока характеризуется рядом параметров: мощностью назначения, РПС, грузоподъемность вагона, видом собственности, видом сообщения и др. В зависимости от решаемой задачи план перевозок может состоять из нескольких отдельных таблиц. Например, для агрегирования параметров корреспонденций вагонопотоков с детализацией по РПС, план перевозок грузов состоит из ряда одинаковых по структуре таблиц: крытые, полувагоны, цистерны и др.

После разработки плана перевозок грузов и выбора расчетных направлений осуществляется моделирование пропуска и расчет технологических параметров корреспонденций вагонопотоков на объектах инфраструктуры рассматриваемого железнодорожного направления. Для этого согласно методике [2] определяются маршруты следования корреспонденций вагонопотоков, установленные планом перевозок, и формируется соответствующая таблица векторов оптимальных маршрутов (рисунок 1).

	Минск-Сорт.	Молодечно	Орша	Барановичи-Ц.	Лунинец	Лида	Волковыск	Гродно	Брест-В.	Гомель	Жлобин	Калинковичи	Барбаров	Могилев-2	Осиповичи-1	Слуцк	Кричев-1	Витебск	Полоцк	Новополоцк	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
Минск-Сорт.	1		1	1	4	2	4	21	4	11	15	11	12	15	1	15	14	3	2	19	
Молодечно	2	2		1	1	4	2	21	21	4	11	15	11	12	15	1	15	14	19	2	19
Орша	3	3	1		1	4	2	4	21	4	11	14	11	12	3	14	15	3	3	18	19
Барановичи-Ц.	4	4	1	1		4	4	4	21	4	11	15	5	12	15	16	4	14	3	2	19
Лунинец	5	4	1	1	5		4	4	21	5	12	12	5	12	11	16	4	14	3	2	19
Лида	6	2	6	1	6	4		21	21	4	11	15	5	12	15	1	4	14	19	2	19
Волковыск	7	4	6	1	7	4	21		21	4	11	15	5	12	15	16	4	14	19	2	19
Гродно	8	2	6	1	7	4	21	21		4	11	15	5	12	15	16	4	14	19	2	19
Брест-В.	9	4	1	1	9	9	4	4	21		12	12	5	12	15	16	4	14	3	2	19
Гомель	10	15	1	14	16	12	2	4	21	5		10	10	12	11	11	15	14	3	18	19
Жлобин	11	15	1	14	16	12	2	4	21	5	11		11	12	11	11	15	14	3	18	19
Калинковичи	12	15	1	14	5	12	4	4	21	5	12	12		12	11	11	15	14	3	18	19
Барбаров	13	15	1	14	5	12	4	4	21	5	12	12	13		11	11	15	14	3	18	19
Могилев-2	14	15	1	14	16	12	2	4	21	4	11	14	11	12		14	15	14	3	18	19
Осиповичи-1	15	15	1	14	16	4	2	4	21	4	11	15	11	12	15		15	14	3	2	19
Слуцк	16	15	1	14	16	4	4	4	21	4	11	15	11	12	15	16		14	3	2	19
Кричев-1	17	15	1	17	16	12	2	4	21	4	11	14	11	12	17	14	15		3	18	19
Витебск	18	3	19	18	1	4	2	21	21	4	11	14	11	12	3	14	15	3		18	19
Полоцк	19	2	19	18	1	4	2	21	21	4	11	14	11	12	3	1	15	3	19		19
Новополоцк	20	2	19	18	1	4	2	21	21	4	11	14	11	12	3	1	15	3	19	20	

Примечание – Значения ячеек содержат порядковый номер предшествующей станции (столбца) на маршруте следования между соответствующими станциями, указанными в строке и столбце таблицы.

Рисунок 1 – Векторы маршрутов следования корреспонденций вагонопотоков по направлениям железнодорожной сети Белорусской железной дороги

На основании данных рисунка 1 определяется маршрут следования каждой отдельной корреспонденции вагонопотока плана перевозок в виде кортежа станций.

Методика формирования кортежа станций, входящих в маршрут между станциями p и q , на основании таблицы векторов маршрутов R осуществляется в следующем порядке (рисунок 2):

1) в таблице векторов маршрутов R выделяется вектор (r) от станции зарождения корреспонденции, который соответствует строке p таблицы ($r = R_p$);

2) номер конечной станции на маршруте следования корреспонденции q заносится в кортеж станций и выделяется для дальнейшего расчета ($s = q$);

3) определяется номер станции, предшествующий выделенной станции на искомом маршруте следования корреспонденции между станциями p и q , которой соответствует значению ячейки под порядковым номером s вектора маршрутов r (r_s);

4) номер станции r_s добавляется в кортеж станций и выделяется для дальнейшего расчета $s = r_s$;

5) осуществляется проверка на соответствие выделенной для расчета станции s со станцией начала маршрута p , если условие не выполняется, то повторяются все действия алгоритма с третьего пункта;

6) из выделенных в кортеж станций формируется маршрут следования корреспонденции между станциями p и q .

R	1	2	...	q	...	m
1						
2						
:						
p	r_1	r_2		r_q		r_m
:						
n						

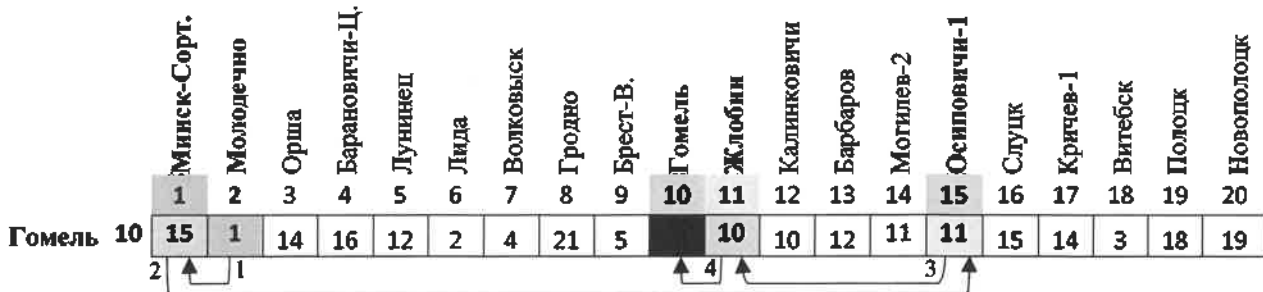
$r = R_p$

R – таблица векторов маршрутов; p – номер станции начала маршрута; q – номер станции окончания маршрута; n – количество станций зарождения вагонопотока (станции погрузки, МГСП); m – количество станций погашения вагонопотока (станции выгрузки, МГСП); r – вектор маршрутов от станции p ; r_q – номер станции, предшествующей станции q , в маршруте до станции p .

Рисунок 2 – Формализация задачи построения кортежа станций с использованием таблицы векторов оптимальных маршрутов

Указанная форма представления оптимальных маршрутов и методика формирования кортежа станций позволяют идентифицировать и агрегировать исходные корреспонденции вагонопотоков на объектах инфраструктуры, а также осуществлять моделирование пропускса и расчет параметров транспортного потока для решения задач ПФП.

Пример формирования кортежа станций маршрута следования корреспонденций вагонопотока между станциями Гомель и Осиповичи приведен на рисунке 3.



Кортеж станций на маршруте Гомель – Молодечно: 2 Молодечно, 1 Минск-Сортировочный, 15 Осиповичи, 11 Жлобин, 10 Гомель.

Рисунок 3 – Пример формирования кортежа станций следования корреспонденции вагонопотока на маршруте Гомель – Молодечно

На рисунке 3 стрелками указана последовательность четырех действий по определению кортежа станций на указанном маршруте следования корреспонденций вагонопотоков.

Для проведения процедуры идентификации и последующего расчета параметров корреспонденций вагонопотоков на отдельном железнодорожном направлении ограниченного станциями S_i и S_j , корреспонденции вагонопотоков условно делятся на 4 категории:

а) корреспонденции вагонопотоков, которые зарождаются на станции S_i и погашаются на станции S_j ,

$$n_a = \{n_{ij}\};$$

б) корреспонденции вагонопотоков, которые следуют из-за станции S_i и погашаются на станции S_j ,

$$n_b = \{n_{pi} : p = \overline{1, \dots, i-1, i+1, \dots, K_s}, r_{pi} = i\};$$

в) корреспонденции вагонопотоков, которые зарождаются на станции S_i и следуют за станцию S_j ,

$$n_c = \{n_{pj} : p = \overline{1, \dots, j-1, j+1, \dots, K_s}, r_{pj} = j\};$$

г) корреспонденции вагонопотоков, которые следуют транзитом по железнодорожному участку, ограниченного станциями S_i и S_j ,

$$n_d = \{n_{pz} : z = \overline{1, \dots, i-1, i+1, \dots, K_s}, p = \overline{1, \dots, p-1, p+1, \dots, K_s}, r_{pz} = j\}.$$

Приведенные категории корреспонденций вагонопотоков делят таблицу плана перевозок на 4 соответствующие области. Представление категорий корреспонденций вагонопотоков между станциями S_i и S_j и их области определения в таблице плана перевозок приведены на рисунке 4.

	S_j			
	г	б	г	г
S_i	в	а	в	в
	г	б	г	г
	г	б	г	г

Рисунок 4 – Структура таблицы плана перевозок с выделенными областями категорий корреспонденций вагонопотоков между станциями S_i и S_j

Необходимо подчеркнуть, что область «а» таблицы плана перевозок однозначно определяет соответствующую категорию вагонопотока, а остальные области «б», «в» и «г» только указывают на потенциально возможные категории корреспонденций вагонопотоков, т. е. определяют область таблицы, в которой может находиться информация о соответствующих корреспонденциях вагонопотоков, но не указывают на них однозначно.

Идентификации категорий корреспонденций вагонопотоков на транспортной сети имеют свою специфику. Каждой категории характерна своя процедура идентификации и методика агрегирования параметров корреспонденций вагонопотоков. Данные методики объединены в общий информационный блок по определению параметров транспортной нагрузки на железнодорожном направлении.

Агрегирование корреспонденций вагонопотоков расчетного железнодорожного направления, ограниченного станциями S_i и S_j в соответствии с выделенными категориями корреспонденций, требует следующих действий:

а) вагонопотоки, следующие из-за станции S_i и погашающиеся на станции S_j :

- выделяются все ячейки в столбце j таблицы векторов маршрутов, значение которых равно i (исключая ячейку в строке i);

- суммируются значения всех ячеек таблицы плана погрузки с соответствующими координатами выделенных ячеек таблицы векторов маршрутов;

б) вагонопотоки, зарождающиеся на станции S_i и следующие за станцию S_j :

- выделяются все ячейки в строке i таблицы векторов маршрутов, значение которых равно j (исключая ячейку в столбце j);

- суммируются значения всех ячеек таблицы плана перевозок с соответствующими координатами выделенных ячеек таблицы векторов маршрутов;

в) вагонопотоки, следующие по участку между станциями S_i и S_j транзитом:

- выделяется строка (вектор) j таблицы векторов маршрутов, в которой есть ячейка со значением i ;

- заносится в регистр номер строки j ;

- выделяются ячейки в соответствующей строке таблицы векторов маршрутов, значение которых равно значению регистра (исключая ячейки строки i и столбца j);

- суммируются значения всех ячеек таблицы плана перевозок с соответствующими координатами выделенных ячеек таблицы векторов маршрутов;

- поочередно заносятся значения выделенных ячеек в регистр, и действия с третьей позиции повторяются;
- повторяются все перечисленные действия, пока есть строка (вектор), удовлетворяющая условию первого пункта.

Расчет параметров корреспонденций вагонопотоков на железнодорожных станциях расчетного полигона осуществляется методом их идентификации и агрегирования исходных корреспонденций вагонопотоков. Процедура агрегирования исходных корреспонденций вагонопотоков, следующих через станцию S_i транзитом, состоит из шести последовательных этапов:

- выделяется вектор R в таблице маршрутов, в котором содержится станция S_i (определяется номер строки таблицы, содержащий ячейку со значением, равным i);
- заносится в регистр порядковый номер столбца ячейки, удовлетворяющей условию первого пункта последовательности, исключая столбец i ;
- выделяются ячейки в векторе маршрутов R , значения которых равно значению регистра;
- суммируются значения ячеек таблицы плана перевозок, соответствующие выделенным ячейкам таблицы векторов маршрутов;
- поочередно заносятся в регистр номера столбцов выделенных ячеек и действия с третьего пункта последовательности повторяются;
- все действия повторяются пока есть вектор, удовлетворяющий условию первого пункта, исключая вектор от станции S_i .

Предложенная технология моделирования пропуска и расчета параметров транспортного потока на объектах инфраструктуры является универсальной и может быть использована для решения ряда задач управления перевозочным процессом. Например, на основании предложенной научно-исследовательской лабораторией «Управление перевозочным процессом» технологии была раз-

работана методика оценки перевозочного потенциала Белорусской железной дороги, которая позволяет на основании прогнозных значений плана перевозок как отдельных грузоотправителей, перевозчиков, так и в целом по дороге осуществлять моделирование пропуска транспортного потока по объектам железнодорожной инфраструктуры.

Список литературы

- 1 Ерофеев, А. А. Интеллектуальное управление перевозочным процессом / А. А. Ерофеев // Железнодорожный транспорт. – 2017. – № 4. – С. 74–77.
- 2 Автоматизация процедуры идентификации сети железнодорожных станций и назначений плана формирования / В. Г. Кузнецов [и др.] // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2009. – № 1 (18). – С. 20–25.
- 3 Козлов, В. Г. Оценка факторов, влияющих на оптимальность плана формирования поездов / В. Г. Козлов // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2015. – № 2 (31). – С. 60–62.
- 4 Кузнецов, В. Г. Информационное обеспечение задач плана формирования железной дороги / В. Г. Кузнецов, В. Г. Козлов // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2018. – № 1 (36). – С. 61–63.
- 5 Кузнецов, В. Г. Расчет объемов транспортного потока по направлениям железнодорожной сети / В. Г. Кузнецов, В. Г. Козлов, М. Г. Козлов // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2011. – № 1. – С. 68–71.
- 6 Петров, А. П. Составление плана формирования поездов на электронных цифровых машинах / А. П. Петров, К. А. Бернгард; под ред. А. П. Петрова. – М.: Трансжелдориздат МПС, 1962.
- 7 Поттгофф, Г. Учение о транспортных потоках / Г. Поттгофф; пер. с нем. В. И. Шейко и В. Н. Воскресенского; под ред. Е. П. Нестерова. – М.: Транспорт, 1975. – 343 с.
- 8 Методические рекомендации по организации вагонопотоков на Белорусской железной дороге: утв. приказом № 1294 НЗ от 30.12.2013. – Минск: Бел. ж. д., 2013. – 320 с.
- 9 Управление эксплуатационной работой и качеством перевозок на железнодорожном транспорте: учеб. для вузов / под ред. П. С. Грунтова. – М.: Транспорт, 1994. – 543 с.

Получено 01.06.2020

V. G. Kozlov. Modeling technological parameters of plan traffic cars on the infrastructure of the transport railway network.

One of the main tasks of managing the transportation process in the railway transport is the organization of car-flow in trains of various categories and their passage in the directions of the railway network. On the Belarusian Railway, as well as on the railway administrations of the CIS and Baltic countries, the organization of many correspondence of car flows is carried out through the development freight train formation plan (TFP). The operating costs of all participants in the transportation process depend on the choice of option for the implementation of the TFP and the accuracy of its calculation. Improve the efficiency of the transportation process by improving the forecasting system and planning for the transportation of goods, as well as increasing the accuracy and reliability of determining the optimal TFP, a technology was developed for modeling the parameters of planned core-responses of car flows at the infrastructure of the railway transport network.

УДК 656.4.014.76

Е. Н. ПОТЫЛКИН, научный сотрудник, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

ПОТРЕБНАЯ ВМЕСТИМОСТЬ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПУТЕЙ ДЛЯ ВРЕМЕННОГО РАЗМЕЩЕНИЯ ВАГОНОВ

В условиях увеличения доли собственных вагонов в общем парке особую актуальность приобретают задачи выбора рациональных режимов взаимодействия железнодорожного транспорта общего и необщего пользования, что требует определения потребной вместимости железнодорожных путей для временного размещения подвижного состава. Предложен способ расчета вместимости путей, отличительной особенностью которого является учет как неравномерности потока вагонов, так и продолжительности временного размещения вагонов.

Взаимодействие железнодорожного транспорта общего и необщего пользования в современных условиях их работы, как правило, рассматривают по следующим аспектам:

- технологический;
- информационный;
- инфраструктурный.

Указанные аспекты существуют одновременно, неразрывно и в совокупности отражают особенности совместной работы железнодорожных станций и путей необщего пользования.

С точки зрения технологии взаимодействие железнодорожного транспорта общего и необщего пользования в соответствии с действующими нормативно-правовыми актами Белорусской железной дороги осуществляется по уведомлениям. В то же время ввиду сложившейся практики на крупных промышленных предприятиях существуют режимы через равные интервалы времени, а также по расписанию. В этих случаях актуальным остается вопрос организации погрузки продукции из производства в перевозочные средства, используя последние для погашения среднесуточной неравномерности.

Информационное взаимодействие железнодорожного транспорта общего и необщего пользования должно обеспечивать оперативность предоставления и анализа информации для выполнения маневровых операций, грузовой и коммерческой работы, организации временного размещения вагонов, планирования работы станции примыкания и железнодорожного пути необщего пользования.

Взаимодействие с позиции инфраструктуры подразумевает организацию работы магистрального и промышленного железнодорожного транспорта по распределению подвижного состава между железнодорожными путями общего и необщего пользования с учетом обеспечения непрерывного и бесперебойного перевозочного процесса, ускорения оборачиваемости транспортных средств и минимизации издержек грузовладельцев, операторов собственного вагонного парка.

При рассмотрении взаимодействия железнодорожного транспорта общего и необщего пользования с позиции инфраструктуры исследуется путевое оснащение станции и железнодорожного пути необщего пользования с учетом продолжительности нахождения вагонов на путях.

В качестве примера рассмотрена продолжительность нахождения вагонов различной формы собственности на железнодорожном пути необщего пользования 4 рудоуправления ОАО «Беларуськалий» при перевозках технических калийных удобрений. Гистограммы распределения продолжительности нахождения приведены на рисунке 1.

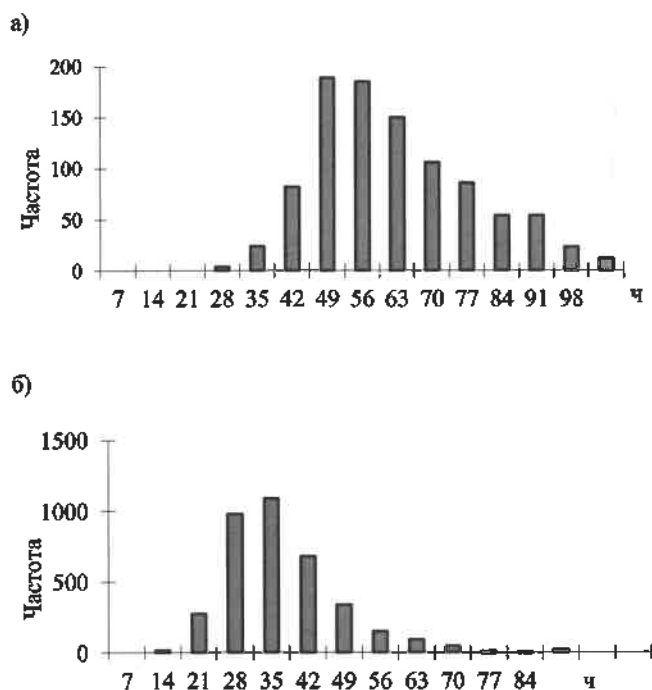


Рисунок 1 – Гистограммы распределения продолжительности нахождения вагонов:
а – собственных; б – инвентарных

Характерно, что в зависимости от принадлежности подвижного состава продолжительность нахождения на железнодорожном пути необщего пользования имеет существенный размах. Как видно из рисунка 1, наибольший размах характерен для продолжительности обработки собственных вагонов. При этом математическое ожидание для инвентарного подвижного состава составило 37 часов, а для собственного – 59 часов. Всё это свидетельствует о повышении неравномерности, а также самой продолжительности нахождения подвижного состава на железнодорожных путях необщего

пользования при использовании для перевозок грузов собственных вагонов.

Продолжительность нахождения вагонов на железнодорожных путях наряду с интенсивностью вагонопотока является основным параметром, оказывающим влияние на потребное путевое развитие в местах зарождения, погашения грузопотоков.

В условиях увеличения уровня неравномерности особую актуальность приобрели задачи определения степени влияния продолжительности нахождения вагонов на потребную вместимость путей мест необщего пользования, а также разработки новых подходов определения потребного путевого развития железнодорожных путей необщего пользования в условиях роста собственного вагонного парка.

В современных условиях поступление вагонов к месту погрузки, выгрузки, как и продолжительность нахождения вагонов в пункте зарождения, погашения грузопотоков, имеет вероятностный характер. В рассматриваемой ситуации имеется система двух случайных величин: m – потребная вместимость путей железнодорожного пути необщего пользования за время нахождения подвижного состава, ваг.; T_{\max} – продолжительность нахождения вагонов в пункте отправления (назначения), ч.

Расчет вместимости путей следует производить в вагонах. При этом под вместимостью железнодорожных путей при решении данной задачи понимается:

- для погрузочных, выгрузочных, погрузочно-выгрузочных путей – размер одновременной подачи на фронты, расположенные на этих путях;
- для приемо-отправочных, сортировочных, вытяжных (выставочных) путей у фронтов погрузки-выгрузки – полезная длина железнодорожного пути.

Вместимость соединительных, ходовых, вытяжных, очистных, ремонтных путей при решении задачи не учитывается, поскольку возможное продолжительное их занятие нарушает технологический процесс работы железнодорожного пути необщего пользования и железнодорожной станции примыкания.

Общее время нахождения вагона на железнодорожном пути необщего пользования представляет собой сумму большого числа случайных величин, например, таких как расформирование передачи, накопление подачи, подача и другие, а также ожидания выполнения операций. В силу центральной предельной теоремы теории вероятности распределение общей продолжительности приближается к нормальному закону. Кроме того, анализ продолжительности обработки вагонов на железнодорожных путях необщего пользования Республики Беларусь показал, что нормальный закон достаточно хорошо описывает колебания времени обработки (см. рисунок 1).

В связи с колебаниями продолжительности обслуживания вагонов на местах необщего пользования потребная вместимость путей железнодорожного пути необщего пользования будет также описываться некоторой дифференциальной кривой плотности вероятности.

Пусть условная плотность нормального закона распределения для потребной вместимости m при заданном значении t имеет вид

$$f_1(m/t) = \frac{1}{\delta_m \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{(m-\lambda t)^2}{2\delta_m^2} \right], \quad (1)$$

где λ – средняя интенсивность потока вагонов, ваг./сут; δ_m – среднее квадратическое отклонение вместимости путей железнодорожного пути необщего пользования за время нахождения подвижного состава, ваг.

Пусть время нахождения подвижного состава также распределено по нормальному закону

$$f_2(t) = \frac{1}{\delta_t \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{(t-\bar{t})^2}{2\delta_t^2} \right], \quad (2)$$

где \bar{t} – средняя продолжительность нахождения вагонов на железнодорожном пути необщего пользования, сут; δ_t – среднее квадратическое отклонение продолжительности нахождения вагонов на железнодорожном пути необщего пользования, сут.

Совместная плотность случайных величин (t, m) равна произведению плотности одной из них на условную плотность другой при заданном значении первой [2]. После подстановки $f_1(m/t)$ и $f_2(t)$ получено

$$f_3(t, m) = f_2(t) f_1(m/t) = \frac{1}{2\pi \delta_m \delta_t} \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left[\frac{(t-\bar{t})^2}{\delta_t^2} + \frac{(m-\lambda t)^2}{\delta_m^2} \right] \right\}. \quad (3)$$

Безусловная плотность случайной величины m определяется из уравнения

$$f(m) = \int_{-\infty}^{\infty} f_3(t, m) dt. \quad (4)$$

В развернутом виде после преобразований получено

$$f(m) = \frac{1}{\sqrt{a} \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{(m-\lambda \bar{t})^2}{2a} \right], \quad (5)$$

где $a = \delta_m^2 + \delta_t^2 \lambda^2$.

График зависимости приведен на рисунке 2.

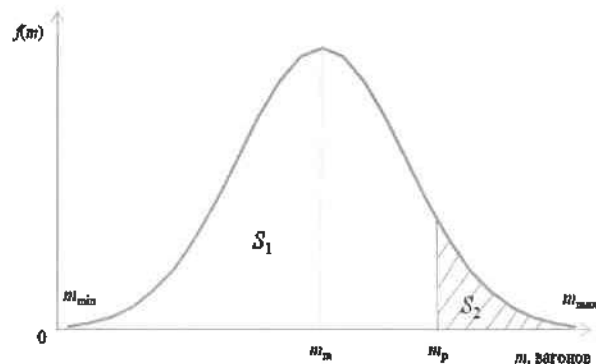


Рисунок 2 – Закон распределения потребной вместимости путей на железнодорожном пути необщего пользования

Максимальная ордината кривой плотности вероятности нормального распределения соответствует среднему значению потребной вместимости путей на

железнодорожном пути необщего пользования $m_m = \lambda t$ за год. Все значения m правее точки m_m характеризуют случаи, когда ожидаемая потребная вместимость путей

превышает среднесуточное значение за год. К таким случаям относятся все точки кривой, расположенной выше линии m_m (рисунок 3).

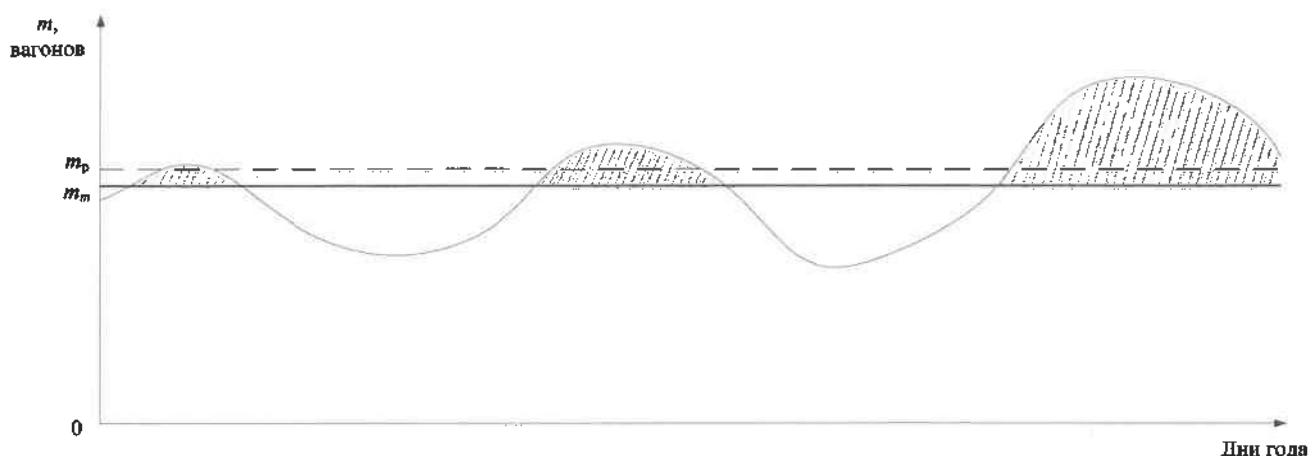


Рисунок 3 – Распределение потребной вместимости железнодорожного пути необщего пользования в течение года

Значение потребной вместимости m_p , равное его наличной вместимости путей, считается расчетным. Тогда все значения m в интервале $m_{\min} - m_p$ характеризуют случаи, когда ожидаемая потребная вместимость железнодорожного пути необщего пользования меньше наличной вместимости. При $m < m_p$ наличного путевого развития пути необщего пользования хватает для принятия вагонов и работы с ними. Если $m = m_p$, то наступает момент, когда обслуживание подвижного состава на месте необщего пользования производится с задействованием всех резервов технического и технологического оснащения. Значения m в интервале $m_p - m_{\max}$ характеризуют случаи, когда ожидаемая потребная вместимость железнодорожного пути необщего пользования больше его наличного путевого развития. При $m > m_p$ путь необщего пользования не может справиться с поступающим в его адрес потоком вагонов, поэтому часть вагонопотока в размере $(m - m_p)$ направляется на пути станции примыкания. За нахождение вагонов на железнодорожных путях общего пользования по причинам, зависящим от грузоотправителя, грузополучателя с него взыскивается плата в размере: 50 % от платы за пользование вагонами для собственного подвижного состава; 100 % — для инвентарного. Кроме того в настоящее время за нахождение вагонов инвентарного парка на железнодорожных путях необщего пользования 24 часа и свыше уплачивается неустойка за все время нахождения подвижного состава. В связи с этим на практике в первую очередь обслуживаются вагоны инвентарного парка.

Все рассматриваемые интервалы значений m на протяжении года чередуются в различной последовательности (см. рисунок 3). При этом интервалы характеризуются следующими расчетными параметрами: r_1 — число суток в году с ожидаемой потребной вместимостью железнодорожного пути необщего пользования, изменяющейся от минимального до расчетного значения включительно; r_2 — число суток в году с ожидаемой потребной вместимостью железнодорож-

ного пути необщего пользования выше расчетного значения; M_1, M_2 — часть годового поступления вагонов на железнодорожный путь необщего пользования, ожидаемого за время r_1 и r_2 соответственно, ваг.; m_1, m_2 — ожидаемая потребная вместимость путей железнодорожного пути необщего пользования за время r_1 и r_2 соответственно, ваг. [1],

$$m_1 = \frac{M_1}{r_1}; \quad (6)$$

$$m_2 = \frac{M_2}{r_2}. \quad (7)$$

Часть годового поступления вагонов, ваг., на железнодорожный путь необщего пользования, ожидаемого за время r_1, r_2 , сут,

$$M_1 = 365 \int_{-\infty}^{m_p} mf(m)dm; \quad (8)$$

$$r_1 = 365 \int_{-\infty}^{m_p} f(m)dm; \quad (9)$$

$$M_2 = 365 \int_{m_p}^{+\infty} mf(m)dm; \quad (10)$$

$$r_2 = 365 \int_{m_p}^{+\infty} f(m)dm. \quad (11)$$

После выгрузки собственные порожние вагоны могут быть направлены во временное размещение.

Для временного размещения вагонов могут быть использованы следующие пути.

1 *Вытяжные (выставочные) пути у фронтов погрузки-выгрузки на железнодорожном пути необщего пользования.* В случае занятия выставочного пути отстоем вагонов технология обслуживания мест необщего пользования изменяется. В соответствии с рисунком 4 вместо [сборки → сортировки → сборки] выполняется [сборка → сортировка → сборка → сортировка].

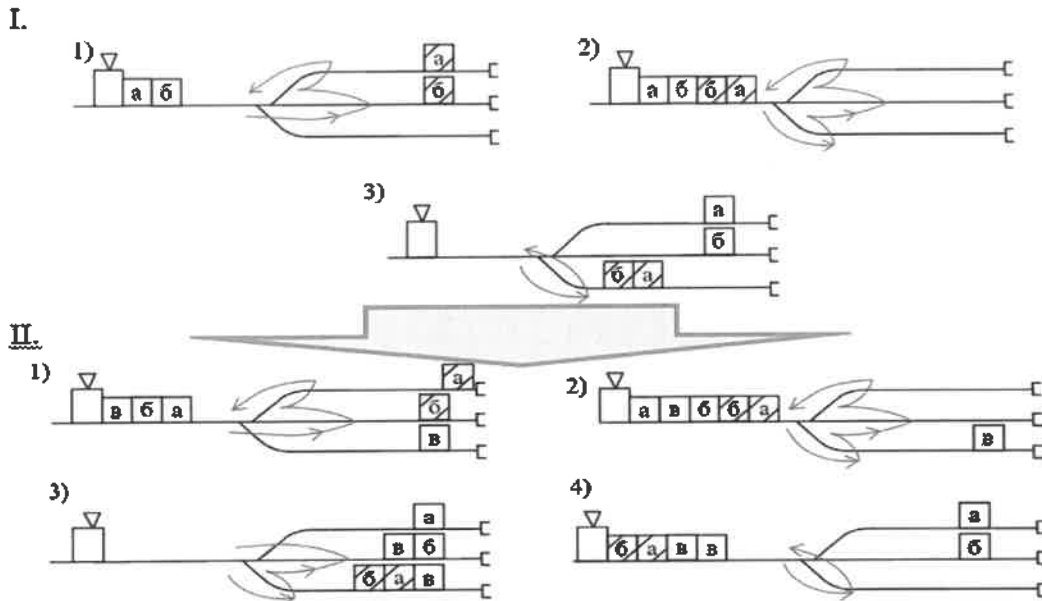


Рисунок 4 – Последовательность расстановки-сборки вагонов у фронтов погрузки а, б: I – при отсутствии отстоя вагонов на выставочном пути; II – при наличии отстоя вагонов (в) на выставочном пути

Продолжительность маневровых операций, мин: для первого случая

$$T_{\text{перез}} = 1,8(p+1) + A(g_{\text{ср}} + 1) + (m_{\text{пу}}(0,3 + Б) + m_{\text{гр}}g_{\text{ср}}(0,6 + Б))(0,0131p + 0,0368)(0,0745N_{\phi} + 0,7612) + 1,3 \frac{p}{N_{\phi}} (0,0552 \frac{L_{\text{под}}}{p+1} + 7,6169)(0,3074N_{\phi} + 0,0779); \quad (12)$$

для второго –

$$T_{\text{перез}} = 3,6 + Ap + 1,8g_{\text{ср}} + 1,3(2m_{\text{пу}})(0,3 + Б) + m_{\text{гр}}g_{\text{ср}}(0,3 + Б + Б)(0,0289p - 0,1345)(-0,1713N_{\phi} + 0,7612) + 1,3 \frac{p}{N_{\phi}} (0,0552 \frac{L_{\text{под}}}{p+1} + 1,4091)(0,087 \frac{L_{\text{под}}}{p} + 10,215)(0,1609N_{\phi} + 0,4369). \quad (13)$$

Продолжительность дополнительной маневровой работы в i -м маневровом районе, мин (грузовом пункте) в случае занятия вытяжного пути у фронтов погрузки-выгрузки временно размещенными вагонами

$$t_{\text{дмр}i} = T_{\text{перез}i} - T_{\text{перез}i} \quad (14)$$

2 Пути отстоя либо пути со скользящей специализацией станции «Заводская» на железнодорожном пути необщего пользования. Поступившие для временного размещения вагоны направляются на пути отстоя. В случае, если путевого развития парка отстоя недостаточно, то размещение вагонов осуществляется на путях станции «Заводская» со скользящей специализацией. При нехватке общей вместимости путей вагоны направляются на станцию примыкания [3].

3 Пути станции примыкания со скользящей специализацией. Направленные в отстой вагоны, которые не были

размещены на путях необщего пользования, отстаиваются на путях станции примыкания. Распределение подвижного состава между железнодорожным путем необщего пользования и станцией примыкания приведено на рисунке 5.

В соответствии с рисунком 5 потребная вместимость путей m_2 может быть удовлетворена с помощью распределения подвижного состава между железнодорожными путями необщего и общего пользования. При этом на железнодорожном пути необщего пользования используется вся наличная вместимость путей m_p , на станции примыкания – $m_2 - m_p$.

Как отмечалось ранее, за время нахождения собственных вагонов на путях общего пользования издержки грузоотправителя (грузополучателя) составляют 50 % от платы за пользование вагонами инвентарного парка. При этом, как правило, возникают затруднения при выполнении маневровой работы вследствие использования путей не в соответствии с их специализацией, в том числе незанятых участков путей накопления. В таком случае на местах необщего пользования возникает дополнительная маневровая работа $t_{\text{дмр}i}$ на путях общего пользования – $t_{\text{дмр}2}$.

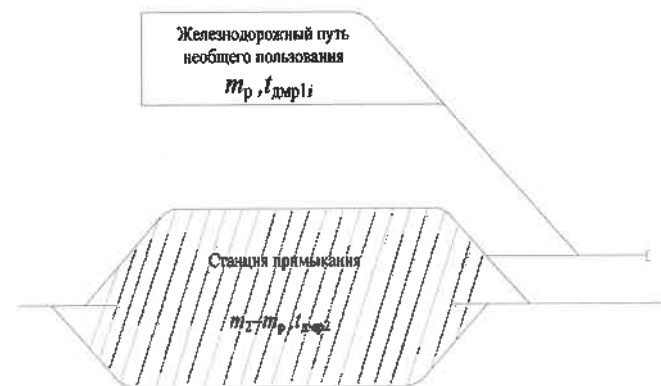


Рисунок 5 – Распределение подвижного состава между железнодорожными путями необщего и общего пользования

Технологическое время на формирование многогруппного состава, мин, включает в себя сортировку вагонов для подборки по группам и расстановку их в составе в соответствии с требованиями Правил технической эксплуатации железной дороги в Республике Беларусь и сборку подобранных групп вагонов с разных путей в один состав

$$T_{\phi} = T_c + T_{\text{сб}} \quad (15)$$

Технологическое время на сортировку вагонов, мин, определяется по формулам

$$T_c = Ag + Bm_c; \quad (16)$$

$$T_{\text{сб}} = 1,8p + 0,3m_{\text{сб}}. \quad (17)$$

Следовательно, продолжительность дополнительной маневровой работы на путях станции примыкания, приходящейся на один отправляемый состав,

$$t_{\text{дмр}2} = A1 + B(m_2 - m_p) + 1 \cdot 1,8 + 0,3(m_2 - m_p). \quad (18)$$

4 Пути на станции отстоя. При организации временного размещения вагонов на путях станции отстоя оператор подвижного состава и перевозчик вступают в договорные отношения на отстой перевозочных средств за определенную плату. Для обеспечения отстоя вагоны следует переместить с технической станции на станцию отстоя, а также выполнить операции по снятию съемного оборудования с вагонов.

В соответствии с рисунком 2 с целью уменьшения вероятности того, что вагоны будут направлены во временное размещение на пути общего пользования, следует увеличивать наличную вместимость путей мест необщего пользования m_p . В случае уменьшения m_p путевого развития уже может не хватить для обработки поступающего вагонопотока. Это приведет к возникновению дополнительной маневровой работы, нахождению вагонов на путях общего пользования и росту издержек грузовладельца за данное нахождение вагонов. При этом сокращение наличной вместимости путей мест необщего пользования сопровождается уменьшением приведенных издержек на содержание и строительство железнодорожных путей. Таким образом, следует определить значение m_p^* , позволяющее достигнуть минимума издержек:

$$\Pi = I_{\text{дмр}} + I_{\text{ст}} + I_{\text{пр}} = f(m_p) \rightarrow \min, \quad (19)$$

где $I_{\text{дмр}}$ – издержки на дополнительную маневровую работу, ден. ед.; $I_{\text{ст}}$ – приведенные издержки содержание путей, ден. ед.; $I_{\text{пр}}$ – издержки, связанные с размещением собственных порожних вагонов на железнодорожных путях общего пользования, ден. ед.

Графическая интерпретация задачи приведена на рисунке 6.

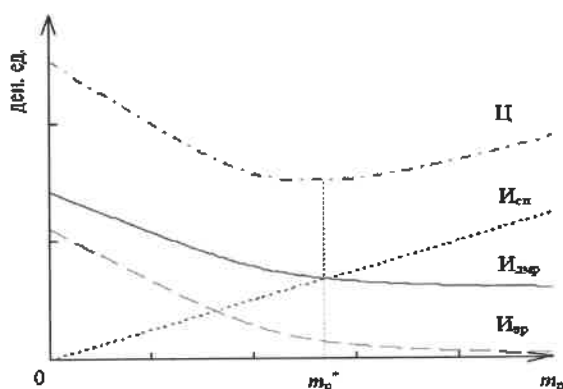


Рисунок 6 – График целевой функции

Издержки на дополнительную маневровую работу, ден. ед.,

$$I_{\text{дмр}} = c_{\text{лок-ч}} N_{\text{л}} t_{\text{дмр}}, \quad (20)$$

где $c_{\text{лок-ч}}$ – стоимость локомотиво-часа работы маневрового локомотива, ден. ед./лок. ч; $N_{\text{л}}$ – количество локомотивов, обслуживающих путь необщего пользования; $t_{\text{дмр}}$ – продолжительность дополнительной маневровой работы, мин,

$$t_{\text{дмр}} = \sum_i^{N_{\text{пр}}} N_{\text{пу}i} t_{\text{дмр}1i} + \sum_j^{N_{\text{от}}} t_{\text{дмр}2j}, \quad (21)$$

$N_{\text{пр}}$ – количество маневровых районов, где на вытяжных путях у фронтов погрузки-выгрузки временно размещены вагоны; $N_{\text{пу}i}$ – количество подач-уборок на i -й маневровый район, где на вытяжных путях у фронтов погрузки-выгрузки временно размещены вагоны; $N_{\text{от}}$ – количество отправляемых составов со станции примыкания, в том числе передач, подач.

Приведенные издержки на строительство и содержание путей, ден. ед.,

$$I_{\text{ст}} = c_{\text{ст}} m_p / l_{\text{в}}, \quad (22)$$

где $c_{\text{ст}}$ – приведенная стоимость содержания 1 м пути, ден. ед./м; $l_{\text{в}}$ – длина условного вагона, м/ваг.

Издержки, связанные с размещением собственных порожних вагонов на железнодорожных путях общего пользования, $I_{\text{пр}}$ составляют 50 % от платы за пользование вагонами инвентарного парка.

Отличительной особенностью представленного способа определения вместимости железнодорожных путей является учет вероятностного характера и возможных отклонений не только интенсивности потока вагонов, но и продолжительности нахождения вагонов на железнодорожном пути необщего пользования.

Произведены расчеты потребной вместимости m_p^* железнодорожного пути необщего пользования, при которой достигается минимум издержек, связанных с временным размещением вагонов. На основании выполненных расчетов получены зависимости потребной вместимости железнодорожного пути необщего пользования от средней продолжительности нахождения вагонов на железнодорожном пути необщего пользования при различных значениях влияющих параметров. Пример графической интерпретации полученной зависимости при средней интенсивности потока вагонов 100 ваг./сут приведен на рисунке 7.

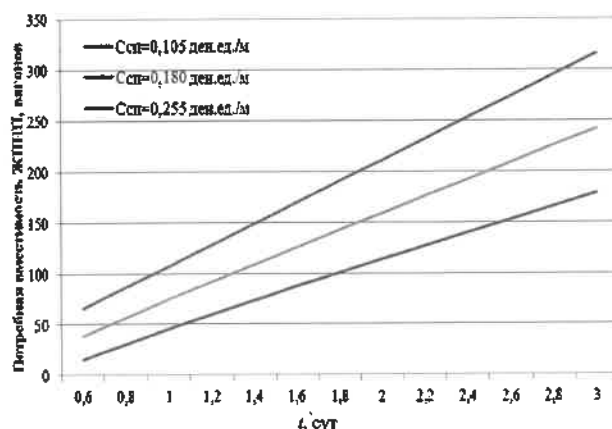


Рисунок 7 – Зависимость потребной вместимости железнодорожного пути необщего пользования от влияющих параметров

Применение представленных разработок на реальных железнодорожных путях необщего пользования Республики Беларусь (ОАО «Беларуськалий», ОАО «Гродно Азот» и др.) позволило установить, что их взаимодействие с железнодорожными станциями приемыкания с обеспечением минимальных затрат, связанных с временным размещением собственных порожних вагонов, возможно при средней продолжительности нахождения вагонов на железнодорожном пути необщего пользования до 1,4 суток. Строительство данных железнодорожных путей необщего пользования осуществлялось во времена существования СССР в условиях, когда регулирование общим парком вагонов выполнялось диспетчерским аппаратом, что позволяло достигнуть минимальных значений продолжительности нахождения вагонов на местах необщего пользования. В настоящее же время данное значение может варьироваться в еще больших пределах. Это обусловлено значительными изменениями, происходящими в последние годы, касательно структуры вагонного парка по принадлежности, а также оперирования собственными перевозочными средствами частными компаниями-операторами подвижного состава. Следовательно, при проектировании новых и реконструкции уже функционирующих железнодорожных путей необщего пользования следует учитывать существующие в настоящее время условия работы железнодорожного транспорта.

Таким образом, обобщая весь представленный материал, можно сделать следующие выводы.

1 Условия работы железнодорожного транспорта в период, когда происходило строительство множества железнодорожных путей необщего пользования, которые функционируют сейчас, значительно отличаются от условий, сложившихся в настоящее время, в вопросах нормативно-правового характера, структуры вагонно-

го парка по принадлежности, оперирования вагонным парком и др.

2 Формирование новых условий работы происходило на фоне неизменного состояния инфраструктуры железнодорожных путей необщего пользования. Как следствие, в последние годы особенно острой стала проблема нехватки путевого развития, которая вызывает затруднения в маневровой работе, повторные сортировки, временное размещение вагонов на путях как необщего, так и общего пользования.

3 Предложен способ определения потребной вместимости железнодорожных путей необщего пользования, позволяющий достигнуть минимума суммарных затрат грузовладельца, связанных с временным размещением собственных вагонов. Отличительной особенностью представленного способа расчета является учет вероятностного характера и возможных отклонений как интенсивности потока вагонов, так и продолжительности нахождения вагонов на железнодорожном пути необщего пользования.

4 Разработанный способ определения потребной вместимости железнодорожных путей целесообразно использовать при проектировании новых, а также реконструкции существующих железнодорожных путей необщего пользования.

Список литературы

1 Грунтов, П. С. Методика расчёта надёжности, оптимальной мощности парков и грузовых фронтов станций : учеб. пособие / П. С. Грунтов, В. П. Ярошевич. – Гомель : БелИИЖТ, 1971. – 68 с.

2 Еловой, И. А. Эффективность логистических транспортно-технологических систем (теория и методы расчетов). В 2 ч. / И. А. Еловой. – Гомель : БелГУТ, 2000. – 536 с.

3 Пивштейн, Д. И. Совершенствование планирования и анализа показателей использования технических средств железнодорожного транспорта / Д. И. Пивштейн // Труды ЦНИИ МПС. – 1971. – № 418. – С. 1–192.

Получено 20.06.2020

E. N. Potylkin. The research of income of the Belarusian railway when operating the wagon of the inventory park outside the Republic of Belarus.

In the context of an increase in the share of own wagons in the general fleet, the problems of choosing rational modes of interaction between main and industrial rail transport are of particular relevance, which requires determining the required capacity of railway tracks for temporary placement of rolling stock. A method for calculating the capacity of tracks is proposed, the distinguishing feature of which is to take into account both the uneven flow of cars and the duration of their sludge.

УДК 656.2.004

О. А. ТЕРЕЩЕНКО, Е. А. ФЁДОРОВ, А. А. СТРАДОМСКАЯ, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

РАЗВИТИЕ АНАЛИТИЧЕСКОГО ИНСТРУМЕНТАРИЯ ОЦЕНКИ ТЕХНОЛОГИИ МЕСТНОЙ РАБОТЫ

Системно описаны особенности технологии местной работы на полигоне железной дороги. Рассмотрены существующие подходы, применяемые при разработке вариантов местной работы. Представлены методические подходы к оценке использования предоставленной в графике движения поездов пропускной способности (выделенных ниток графика) для местной работы посредством сопоставления в рамках системы предложенных количественных и качественных показателей. Предложена технология оценки параметров доставки вагонов с местным грузом и порожних вагонов под погрузку к местам выполнения грузовых операций. Приведены соответствующие алгоритмы и аналитические выражения. В области практических рекомендаций по принятию управленческих решений изложены подходы к анализу расчетных значений коэффициентов использования пропускной способности графика движения поездов.

Местная работа железной дороги является важной составляющей перевозочного процесса. Она обеспечивает начальную-конечную фазу доставки грузов. Более 60 % перевозок на Белорусской железной дороге осуществляется с выполнением местной работы.

Для местной работы характерны операции, параметры которых зависят от достаточно большого количества участников логистической цепи. Результаты выполнения местной работы оказывают влияние на процессы накопления и формирования поездов, определяющие основные параметры эксплуатационной работы станций и узлов, участков, отделений дороги, железной дороги в целом [2, 4, 5].

На Белорусской железной дороге управление процессами местной работы реализовано в виде двух взаимосвязанных подсистем:

- управление перевозочным процессом в местной работе;

- управление грузовыми операциями и коммерческой работой.

Местная работа имеет ряд особенностей, зависящих от условий эксплуатационной работы:

- организация местных вагонопотоков в поезда осуществляется с учетом плана формирования груженых и порожних вагонов;

- на процессы выполнения местной работы оказывает влияние эксплуатационная нагрузка, формируемая с участием других видов эксплуатационной работы;

- система управления местной работой является составной частью системы управления эксплуатационной работой как на этапе планирования, так и на этапах осуществления регулировочных мероприятий и контроля деятельности.

Решаемые в процессе организации местной работы задачи являются многофакторными и трудно формализуемыми. В этих условиях, с учетом необходимости многократного решения задач в ограниченном интервале времени, большой вариативностью исходных данных и ограничений, оперативное планирование местной работы требует совершенствования научных подходов и методической базы, разработки и внедрения на их основе адаптивных технологических процессов и информационных решений поддержки управленческой деятельности [1, 3, 6].

На сегодня при разработке вариантов местной работы широко применяются экспертные подходы, базирующиеся

на методах эмпирической оценки эксплуатационной нагрузки. В результате существует потребность в сравнении нормативной технологии местной работы и результатов эксплуатационной деятельности в отчетном периоде.

Основной технологии местной работы является график движения поездов (ГДП). Фактически исполненная работа по графику может существенно отличаться от норматива как по количеству поездов, так и по времени их отправления, показателям и вспомогательным параметрам следования по участку [3].

Таким образом, в качестве оценки нормативной технологии местной работы и результатов эксплуатационной деятельности предлагается осуществлять анализ ниток исполненного графика движения поездов (ГИДП) в системе местной работы. Анализ выполняется с целью установления соответствия фактических параметров движения поездов нормативам, применяемой технологии организации местной работы.

По результатам анализа принимаются решения:

- об оперативной корректировке технологии в течение периода ее действия;

- определении расчетных параметров и ограничений, учитываемых при разработке вариантов технологии организации местной работы на предстоящий плановый период.

Соответствие реализации процессов следования грузовых поездов в системе местной работы анализируется по следующим направлениям:

- использование предоставленной в графике движения поездов наличной пропускной способности (выделенных ниток графика) для пропуска поездов в системе местной работы;

- эффективность использования ресурсов при пропуске грузовых поездов в системе местной работы.

Использование предоставленной в ГДП пропускной способности (выделенных ниток графика) для местной работы оценивается посредством сопоставления количественных и качественных показателей.

Для оценки использования ниток ГДП предлагается использовать следующие показатели.

1 Показатели использования ниток ГДП по количественным характеристикам потока проследовавших поездов:

1.1 Количество поездов, отправленных по нитке ГДП за отчетный период,

$$N_{\text{ГДП}}^{\text{м.о}} = \sum_{i=1}^t N_{\text{ГДП},i}^{\text{м.о}} \quad (1)$$

где $N_{\text{ГДП},i}^{\text{м.о}}$ – i -й поезд, отправленный по нитке ГДП за отчетный период t .

1.2 Количество поездов, проследовавших по нитке ГДП за отчетный период,

$$N_{\text{ГДП}}^{\text{м.п}} = \sum_{i=1}^t N_{\text{ГДП},i}^{\text{м.п}}, \quad (2)$$

где $N_{\text{ГДП},i}^{\text{м.п}}$ – i -й поезд, проследовавший по нитке ГДП за отчетный период t .

1.3 Среднесуточное количество поездов в системе местной работы

$$N^{\text{м}} = \frac{\sum_{i=1}^t N_i}{T}, \quad (3)$$

где N_i – количество поездов в системе местной работы в i -е сутки; T – продолжительность отчетного периода, сут.

1.4 Коэффициент использования нитки ГДП поездом соответствующей категории по отправлению со станции формирования

$$\alpha^{\text{от}} = \frac{N_{\text{ГДП}}^{\text{м.о}}}{N_{\text{ГДП}}^{\text{м.р}}}, \quad (4)$$

где $N_{\text{ГДП}}^{\text{м.р}}$ – количество ниток ГДП, предназначенных для проследования анализируемого поезда, в отчетном периоде (для ежедневно назначенных поездов численно равно количеству суток в отчетном периоде).

1.5 Коэффициент использования нитки ГДП поездом соответствующей категории по проследованию

$$\alpha^{\text{п}} = \frac{N_{\text{ГДП}}^{\text{м.п}}}{N_{\text{ГДП}}^{\text{м.р}}}, \quad (5)$$

где $N_{\text{ГДП}}^{\text{м.п}}$ – количество поездов, проследовавших по нитке ГДП за отчетный период.

1.6 Коэффициент использования пропускной способности ГДП

$$\alpha_{\text{ГДП}} = \frac{\sum_{i=1}^t N_{\text{ГДП},i}^{\text{м.о}}}{\sum_{i=1}^t N_{\text{ГДП},i}^{\text{м.р}}}, \quad (6)$$

где $N_{\text{ГДП},i}^{\text{м.о}}$ – количество поездов, отправленных по i -й нитке ГДП за отчетный период t ; $N_{\text{ГДП},i}^{\text{м.р}}$ – количество ниток ГДП, предназначенных для проследования i -го поезда, в отчетном периоде t (для ежедневно назначенных поездов численно равно количеству суток в отчетном периоде).

В результате анализа показателей устанавливается степень эффективного использования пропускной способности ГДП, выделенной на организацию местной работы. Для принятия управленческих решений реко-

мендуется применять следующие интервалы оценки установленного коэффициента использования пропускной способности ГДП:

1) 0,80–1,00 – коэффициент находится в нормальных пределах, колебания обусловлены естественной неравномерностью образования грузопотоков клиентов;

2) 0,50–0,79 – значение коэффициента недостаточно высокое, необходимо проанализировать причины и регулярность возникновения отклонений. После анализа и установления действительных причин необходимо принятие оперативных корректировочных мер;

3) 0,00–0,49 – значение коэффициента недопустимо низкое. Необходимо выполнить комплексный пересмотр технологии и принять решение об исключении или изменении нитки нормативного ГДП в соответствии с установленными в результате качественного анализа параметрами времени пропуска.

Качественные показатели использования ниток ГДП определяют соответствие принятой технологии организации местной работы реализуемым технологиям взаимодействия с клиентами, а также условиям образования местных вагонопотоков на технических станциях на основе сопоставления параметров времени отправления с технических станций и следования по участкам грузовых поездов в системе местной работы.

2 Показатели использования ниток ГДП по временным характеристикам потока проследовавших поездов:

2.1 Среднее отклонение от нормативного времени отправления поезда со станции формирования (по абсолютной величине) за анализируемый период

$$\Delta T^{\text{о}} = \frac{\sum_{i=1}^t |T_{\text{ГДП},i}^{\text{о}} - T_{\text{ГДП},i}^{\text{н}}|}{N_{\text{ГДП}}^{\text{м.о}}}, \quad (7)$$

где $|T_{\text{ГДП},i}^{\text{о}} - T_{\text{ГДП},i}^{\text{н}}|$ – абсолютная величина отклонения времени отправления i -го поезда со станции формирования в ГИДП в сравнении с ГДП за отчетный период времени t , ч.

2.2 Среднее отклонение от нормативного времени прибытия поезда со станции (по абсолютной величине) за анализируемый период:

$$\Delta T^{\text{пр}} = \frac{\sum_{i=1}^t |T_{\text{ГДП},i}^{\text{пр}} - T_{\text{ГДП},i}^{\text{н}}|}{N_{\text{ГДП}}^{\text{м.пр}}}, \quad (8)$$

где $|T_{\text{ГДП},i}^{\text{пр}} - T_{\text{ГДП},i}^{\text{н}}|$ – абсолютная величина отклонения времени прибытия i -го поезда на станцию назначения в ГИДП в сравнении с ГДП за отчетный период времени t , ч.

Данный показатель рассматривается как по участку инфраструктуры в целом, так и по каждой станции участка, на которой действующей технологией предусмотрена работа поезда.

2.3 Потери времени на участках инфраструктуры при организации движения поездов в системе местной работы, приходящиеся на один поезд ГИДП,

$$\alpha_{\text{н}} = \frac{\sum_{i=1}^t NT_{\text{ГДП},i}}{\sum_{i=1}^t NT_{\text{ГДП}}} - 1 \quad (9)$$

или

$$\alpha_n = \left(\frac{\sum_{i=1}^t NT_{\text{ГДП}}}{\sum_{i=1}^t NT_{\text{ГДП}}} - 1 \right) \cdot 100\%, \quad (10)$$

где $\sum_{i=1}^t NT_{\text{ГДП}}$, $\sum_{i=1}^t NT_{\text{ГДП}}$ – поездо-часы следования поездов в системе местной работы за отчетный период времени t , согласно ГИДП и соответственно ГДП для поездов, участвующих в расчете $\sum NT_{\text{ГДП}}$.

Качественные показатели использования ниток ГДП не подлежат агрегированию по объектам инфраструктуры и используются для выработки решений по корректировке ниток нормативного ГДП при выявлении системного невыполнения количественных показателей анализа.

Решение об изменении параметров времени отправления и следования поездов в системе местной работы принимается при их смещении за пределы интервала времени, в котором поезд может быть пропущен в системе местной работы без использования или изменения параметров других ниток нормативного ГДП.

В результате анализа количественных показателей использования ниток ГДП в технологию организации местной работы должны вноситься изменения в части:

- сокращения количества ниток нормативного ГДП при значительном снижении коэффициента использования пропускной способности ГДП ($\alpha^{\text{ГДП}} \leq 0,5$) и соответствующем снижении среднесуточного количества поездов в системе местной работы;

- изменения параметров прокладки нитки нормативного ГДП при фактическом значимом отклонении от установленных значений в процессе реализации.

Эффективность использования ресурсов при пропуске грузовых поездов в системе местной работы характеризуется, в первую очередь, обеспечением полновесности и полносоставности поездов в системе местной работы. С учетом особенностей, связанных с постоянным изменением составов поездов, для анализа эффективности использования ресурсов при пропуске местных поездов используются следующие показатели.

Среднее количество вагонов в системе местной работы *в составе поезда по отправлению с технической станции*

$$m_n^t = \frac{\sum_{i=1}^t n_{\text{от}i}^m}{\sum_{i=1}^t N_{\text{от}i}^m}, \quad (11)$$

где $\sum_{i=1}^t n_{\text{от}i}^m$ – общее количество вагонов в системе местной работы, отправленных с технической станции в составе поездов за отчетный период времени t ; $\sum_{i=1}^t N_{\text{от}i}^m$ – общее количество отправленных поездов с технической станции в системе местной работы за отчетный период времени t .

Среднее количество вагонов в системе местной работы в составе поезда по отправлению

$$m_n = \frac{\sum_{i=1}^t n_{\text{от}i}^m}{\sum_{i=1}^t N_{\text{от}i}^m}, \quad (12)$$

где $\sum_{i=1}^t n_{\text{от}i}^m$, $\sum_{i=1}^t N_{\text{от}i}^m$ – соответственно общее количество вагонов, отправленных в составе поездов и отправленных поездов в системе местной работы за отчетный период времени t .

Среднее количество вагоно-километров в системе местной работы, *реализованные на маршруте следования поезда:*

$$nS_n^m = \frac{\sum_{i=1}^t nS_i^m}{\sum_{i=1}^t N_{\text{от}i}^m}, \quad (13)$$

где $\sum_{i=1}^t nS_i^m$, $\sum_{i=1}^t N_{\text{от}i}^m$ – общее количество соответственно вагоно-километров и отправленных поездов в системе местной работы за отчетный период времени t .

4 Среднее количество вагонов в системе местной работы, *реализованное в составе поезда на маршруте следования,*

$$m_n^{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^t nS_i^m}{\sum_{i=1}^t NS_i^m}, \quad (14)$$

где $\sum_{i=1}^t NS_i^m$ – общее количество поездо-километров в системе местной работы за отчетный период времени t .

Анализ описанных показателей позволяет охарактеризовать эффективность использования ресурсов (локомотивов, инфраструктуры) предоставляемых для доставки вагонов с местным грузом в соответствии с действующей технологией организации местной работы и принимать обоснованные решения по оптимизации количества местных поездов при значительном отклонении параметров их составов от действующих нормативов.

На основе результатов сравнительного анализа нормативной технологии местной работы и результатов эксплуатационной деятельности предлагается оценивать параметры доставки вагонов с местным грузом и порожних вагонов под погрузку к местам выполнения грузовых операций (рисунок 1).

Анализ следует производить в случае, если коэффициент использования пропускной способности ГДП $\alpha^{\text{ГДП}} \geq 0,5$. В противном случае установленную графиком технологию местной работы следует считать нереализованной и подлежащей безусловной корректировке. Если $0,5 < \alpha^{\text{ГДП}} < 1,0$, то технология может быть скорректирована после окончания периода действия графика движения поездов [7, 8].

Таким образом, предложенная система оценки технологии местной работы позволяет комплексно реализовать методы активной адаптации графика движения поездов к эксплуатационной нагрузке.

Список литературы

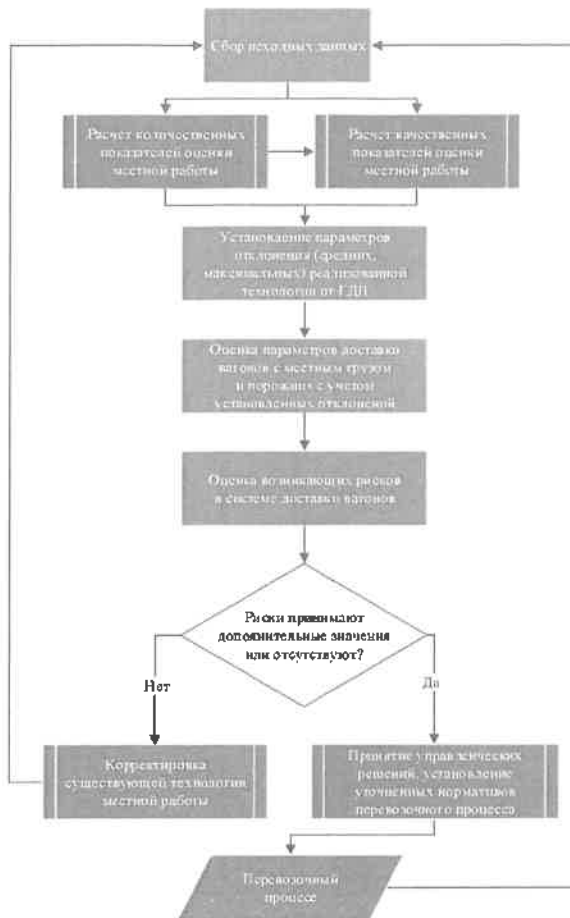


Рисунок 1 – Технология оценки параметров доставки вагонов с местным грузом и порожних вагонов под погрузку к местам выполнения грузовых операций

Получено 01.11.2020

О. А. Tereshchenko, Е. А. Fyodorov, А. А. Stradomskaya. Development of analytical toolkit for railway local work technology assessment.

The article systematically describes features of railway local work technology. Here are considered existing approaches to development of options for railway local work. Also in the article are presented methodological approaches to assessing for using of traffic capacity provided in a train schedule (selected schedule lines) for railway local work by comparing the proposed quantitative and qualitative indicators within the system. It is proposed a technology for estimating parameters to delivery of wagons with local cargo and empty wagons for loading to the places of carrying out cargo operations. Here are presented necessary algorithms and analytical expressions. For practice purposes in this article are proposed approaches to an analysis of calculated values for utilization rates of train schedule throughput.

1 Разработка технологии работы Белорусской железной дороги в условиях функционирования центра управления перевозками : отчет о НИР (заключ.) / Белорус. гос. ун-т трансп. ; рук. В. Г. Кузнецов. – Гомель, 2007. – 191 с. – № ГР 20066003.

2 Управление грузовой и коммерческой работой на железнодорожном транспорте : учеб. для вузов / А. А. Смехов [и др.] ; под ред. А. А. Смехова. – М. : Транспорт, 1990. – 351 с.

3 Управление эксплуатационной работой и качеством перевозок : учеб. для вузов / П. С. Грунтов [и др.] ; под ред. П. С. Грунтова. – М. : Транспорт, 1994. – 543 с.

4 Терещенко, О. А. Оперативное планирование местной работы железнодорожных участков и узлов с использованием динамической модели перевозочного процесса / О. А. Терещенко // Транспортні системи та технології перевезень : зб. наук. пр. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2016. – № 12. – С. 80–89.

5 Терещенко, О. А. Метод оперативного планирования местной работы железнодорожных участков и узлов / О. А. Терещенко // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2016. – № 2 (33). – С. 96–99.

6 Терещенко, О. А. Динамическая модель перевозочного процесса для решения задачи оперативного планирования местной работы железнодорожных участков и узлов / О. А. Терещенко // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2017. – № 1 (34). – С. 68–71.

7 Терещенко, О. А. Моделирование процессов накопления вагонов для решения задач оперативного планирования в условиях неопределенности исходной информации / О. А. Терещенко // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту. – 2017. – № 3 (69). – С. 45–55.

8 Терещенко, О. А. Оценка технологических рисков в задачах оперативного планирования местной работы железнодорожных участков и узлов / О. А. Терещенко // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2018. – № 1 (36). – С. 106–109.

УДК 656.212:625.1

А. А. ЕРОФЕЕВ, кандидат технических наук, ВАН ЮЙБЯНЬ, магистр технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

ВАРИАНТЫ РАЗМЕЩЕНИЯ ВСМ-СТАНЦИЙ В ГОРОДСКИХ АГЛОМЕРАЦИЯХ

Рассмотрен мировой опыт размещения ВСМ-станций в городских агломерациях. Установлены преимущества и недостатки различных вариантов размещения ВСМ-станций относительно районов городов и сформировавшейся транспортной системы. Сформулированы цели и функции, которые выполняют станции при их интеграции в городскую агломерацию. Предложены варианты размещения ВСМ-станции в Минской городской агломерации.

Расположение станций высокоскоростных магистралей (ВСМ-станций) относительно городской агломерации и начально-конечных пунктов других видов транспорта имеет стратегическое значение для эффективности высокоскоростной транспортной системы в целом. Поэтому вопрос о целесообразности создания ВСМ должен рассматриваться в непосредственной увязке с проблематикой размещения ВСМ-станций.

При организации пассажирской логистики необходимо рассматривать весь маршрут пассажира «от двери до двери». С экологической и экономической точек зрения ВСМ является эффективной только при очень высокой интенсивности движения (для компенсации выбросов парниковых газов и первоначальных финансовых вложений в строительство) и небольшом количестве остановок в пути для обеспечения высокой маршрутной скорости. В результате ВСМ-станции располагаются на значительных расстояниях друг от друга. Следовательно, большинство пассажиров не могут добраться до станций пешком, а для обеспечения транспортной доступности необходимо рассматривать взаимодействие ВСМ с городской и региональной транспортной сетью.

По этой причине большинство ВСМ-станций строятся в центре города или на месте старых станций, которые были реконструированы и модернизированы для высокоскоростного движения. В отдельных случаях в больших городских агломерациях располагается несколько ВСМ-станций.

Дополнительно следует учитывать привлекательность транспортных услуг ВСМ для пассажиропотока в международном сообщении. Для указанных выше целей ВСМ-станции должны также иметь хорошее сообщение с аэропортами и железнодорожными вокзалами.

Роль ВСМ-станций развитию городской агломерации. Современная теория предполагает решение вопроса об эффективном размещении ВСМ-станций не статическим способом (т. е. как выбор узлов новой транспортной системы), а как определение мест интеграции с существующими транспортными системами в точках тяготения сложившегося пассажиропотока в регионе (Bertolini & Spit, 1998) [1].

С организационной точки зрения ключевыми факторами при этом являются количественная оценка маршрутной скорости во всей логистической цепи и эффективность реализации мультимодальных схем перемещения.

При рассмотрении вопроса интеграции ВСМ с существующей транспортной системой важно учитывать интересы всех участников рынка пассажирских перевозок. Определены следующие участники транспортного рынка и их обязанности (таблица 1).

Таблица 1 – Участники транспортного рынка, меры и обязанности при интеграции ВСМ с существующей транспортной системой

Мера	Описание	Участники и ответственность
Интеграция с существующей транспортной системой	Интегрировать линии ВСМ и, в частности, определить место расположения ВСМ-станции относительно существующей транспортной системы вместо строительства новой конкурирующей системы. Цель: обеспечить хорошую связь с общественным транспортом и другими видами магистрального транспорта в транспортных пересадочных узлах.	Перевозчики и операторы инфраструктуры должны адаптировать философию организации пассажирских перевозок исходя из целесообразности интеграции различных видов транспорта, в том числе, и с ВСМ. Государственные органы должны сформировать законодательную и финансовую базу для интеграции ВСМ с существующей транспортной системой. Заинтересованные группы , должны делиться своими взглядами на ранних этапах процесса планирования

Рассмотрим мировой, и в первую очередь европейский, опыт размещения ВСМ-станций. Хотя схема расположения европейских ВСМ разнообразна, большинство станций расположены рядом с традиционными городскими центрами, и на практике такие станции достигли более скоординированного развития с городским пространством. Например, три города: Кордова, Лилль и Сарагоса – выбрали городской центр в качестве местоположения высокоскоростной железнодорожной станции, что способствует коммерческому развитию прилегающих районов и обновлению городской инфраструктуры [2].

Основываясь на опыте строительства ВСМ в европейских городах, П. Тодорович проанализировал влия-

ние связности и регионального экономического развития и обнаружил, что размещение в городском центре имеет больше преимуществ, чем внешняя территория, но выгоды от высокоскоростной железнодорожной станции в любом месте ограничены существующими материальными и экономическими условиями [3].

П. Холл также обобщил данные о четырех типах высокоскоростных железнодорожных станций: он считает, что станции, расположенные рядом с центральной зоной, предназначены для усиления развития центра, тогда как станции, расположенные на окраине традиционного центрального делового района, предназначены для возрождения городов. Станции, расположенные на окраинах города, недостаточно развиты. И очень мало успешных примеров развития новых городских коммерческих районов с использованием новых высокоскоростных железнодорожных станций (таблица 2) [4].

Таблица 2 – Взаимосвязь между расположением ВСМ-станций и пространственным развитием городов

Расположение станции	Примеры	Достижимые цели	Преимущество или недостаток
Центр города	Лерида, вокзал Пириньюс (Испания)	Обновление исторического центра города. Индустриальная трансформация	Содействие туризму. Повышение привлекательности предприятий сферы услуг. Налаживание связей с другими регионами
Городская окраина	Авиньон, Франция	Развитие удаленных районов города	Плохая транспортная связь. ВСМ становится конкурирующим видом транспорта, а не дополняющим. Отсутствие целостности
Пригород	Станция Таррагона (Испания)	Содействие интеграции и урбанизации для развития новых городов	Малый эффект от интеграции; Увеличение автомобильного движения
Рядом с аэропортом	Аэропорт имени Шарля де Голля (Франция)	Дополнительные услуги аэропорта	Ориентация на пассажиропоток из аэропорта вместо обслуживания городской агломерации

Размещение ВСМ-станций должно рассматриваться с учетом их эффективной интеграции с городским пространством. П. Бойль проанализировал два типа городов и в соответствии с условиями каждого города и пришел к выводам, что роль ВСМ-станции зависит от типа города (таблица 3) [5].

Кроме того, в некоторых мегаполисах имеется несколько ВСМ-станций, что требует применения разных стратегий выбора их местоположения в зависимости от функциональных особенностей отдельных районов [6]. Это также доказывает, что выбор места размещения

ВСМ-станции неотделим от позиционирования городов и должен основываться на характеристиках и потребностях самого города.

Таблица 3 – Функции ВСМ-станций в разных типах городов

Тип города	Примеры	Размещение ВСМ-станции	Функция станции
С равноразвитыми районами	Роттердам, Лилль	Близко к географическому центру города	Катализировать экономическое развитие
С выраженным центром города	Зейдас (Амстердам), Мюнхен	В историческом центре города	Сбалансировать пространственную структуру, способствовать быстрому росту и дальнейшему развитию экономики

Стратегии размещения ВСМ-станций относительно действующей транспортной системы. В большинстве случаев в центре города есть одна крупная сквозная станция, и все городские и региональные транспортные средства распределены вокруг станции в звездном стиле или же они идут с севера на юг или с запада на восток, обслуживая станцию в середине линии.

В очень крупных городах (Париж, Рим) иногда есть несколько крупных тупиковых станций, которые очень эффективно интегрированы с городской и региональной сетью. В этой ситуации каждая станция ориентирована на одно или два направления. В таких ситуациях, несмотря на то, что в городе имеется две или более станций, пассажира в любой момент времени интересует только одна из них: станция, обслуживающая выбранный для каждой конкретной поездки пункт назначения. Например, пассажиры, желающие поехать на север, обязательно поедут на северную станцию, потому что от южной станции нет ВСМ-поездов, идущих на север. Этот пример показывает, что наличие нескольких станций в городе на самом деле не улучшает транспортную доступность станции. С точки зрения пассажирской логистики, клиент рассматривает только одну станцию, которая является достаточно удаленной для жителей большинства районов города.

Для улучшения транспортной доступности ВСМ-станций возможно использование двух стратегий, которые предусматривают предоставление пассажирам только одной точки доступа для того, чтобы они могли сесть на ВСМ-поезд, направляющийся в любой пункт назначения.

Первая состоит в преобразовании двух тупиковых станций города в сквозные путем их соединения, как правило, с помощью туннеля. Примером реализации такой стратегии является Мадрид. Пассажиры, планирующие поездку в ВСМ-поездах, выбирают более удобную для них станцию Аточа или Шамартин и следуют с них далее в любом направлении. Еще одним примером первой стратегии является Антверпен, в котором главная тупиковая станция была преобразована в сквозную для обеспечения доступа к поездам противоположного направления.

Париж придерживается второй стратегии, в соответствии с которой новые ВСМ-станции расположены в районах, плохо обслуживаемых существующей железной дорогой. Целью такого расположения является создание условий, способствующих развитию отдаленных районов и пригородов (рисунок 1).

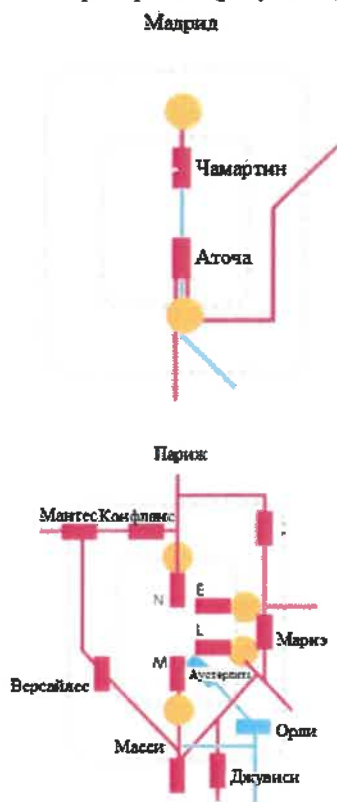


Рисунок 1 – Стратегии размещения ВСМ-станций

При выборе любой из стратегий следует учитывать, что строительство ВСМ-станции способствует увеличению подвижности населения и, как следствие, повышает интенсивность транспортных потоков в соответствующей части городской агломерации. Под транспортными потоками в данном случае следует понимать не только пассажиропоток, но и потоки пассажирских поездов всех категорий, личный автотранспорт, велосипедное движение, такси и местные виды общественного транспорта.

Кроме того, ВСМ-станции и их близлежащие окрестности должны включать площади для выполнения технических операций с подвижным составом (уборка и осмотр поездов, заправка водой, пополнение общественного питания, текущий ремонт и т. д.). Дополнительно для коммерческой деятельности на станциях требуется пространство для информационного обслуживания пассажиров, продажи билетов, торговли, а в некоторых случаях и для контроля доступа, послепродажного обслуживания и т. д. Эти факторы также будут оказывать влияние на выбор места расположения ВСМ-станции.

Варианты расположения ВСМ-станции в Минской городской агломерации. В результате анализа мирового опыта предлагаются следующие варианты размещения ВСМ-станций в Минской городской агломерации (рисунок 2).



Рисунок 2 – Варианты размещения ВСМ-станции в Минской городской агломерации

1 В рамках существующей территории станции Минск-Пассажирский. Достоинством такого размещения являются высокая транспортная доступность ВСМ как для пассажиров городской агломерации (хорошо развитая городская транспортная система), так и для региональных пассажиров, которые прибывают на железнодорожный вокзал или автобусную станцию, находящуюся в непосредственной близости со станцией Минск-Пассажирский.

Недостатком расположения в центре города является проблематичность развития станционного комплекса из-за плотной городской застройки в центре Минска. Расположение ВСМ-станции в центре города потребует организации смешанного движения, из-за чего ходовая скорость движения высокоскоростных поездов на подходах к узлу должна быть снижена до 120–150 км/ч. Кроме того, смешанное движение может вызвать дефицит пропускной способности и дополнительные издержки для Белорусской железной дороги на примыкающих к Минску железнодорожных участках. Недостатком является также значительная удаленность от аэропорта Минск-2, что может оказать негативное влияние на транспортную доступность ВСМ для транзитных международных пассажиров.

2 Расположение вблизи аэропорта Минск-2. Достоинством расположения ВСМ-станции в удалении от центра города является возможность обеспечения более высоких скоростей движения на подходах (экономию маршрутного времени составит 10–15 минут). Относительно свободная площадь застройки позволит снизить затраты на сооружение ВСМ-станции и примыкающих к ней участков пути. Минимизируется негативное влияние на уже сложившуюся железнодорожную сеть. Обеспечение транспортной доступности для транзитных пассажиров, прибывающих авиатранспортом (наиболее платежеспособных сегмент транспортно рынка) позволит повысить транспортную привлекательность ВСМ как сегмента высокоскоростной мультимодальной перевозки.

В качестве основного недостатка видится снижение транспортной доступности ВСМ-станции для пассажиров городской агломерации. Данный недостаток может быть частично компенсирован путем сооружения линии скоростного городского транспорта между аэропортом и железнодорожным вокзалом, либо до ближайшей станции метрополитена.

Сооружение двух и более ВСМ-станций в городской агломерации Минска на начальном этапе представляется неэффективным, так как потребует существенных затрат на строительство и дополнительных издержек на эксплуатацию при еще не сформировавшемся спросе на услуги ВСМ.

Список литературы

Из двух рассмотренных вариантов с экономической точки зрения более предпочтительным видится вариант размещения ВСМ-станции вблизи аэропорта Минск-2.

При условии минимизации влияния на сформированную железнодорожную сеть и обеспечения высоких скоростей движения на подходах (например, путем строительства эстакады для ВСМ над существующими железнодорожными путями и сооружения многоуровневого транспортно-пересадочного узла) с организационной точки зрения более выигрышным является вариант совместного размещения ВСМ-станции и станции Минск-Пассажирский.

Окончательное решение можно принять только по результатам выполнения технико-экономических расчетов. При этом следует учитывать синергетический эффект, возникающий от развития районов города, туристической деятельности, социальной активности населения.

Получено 22.10.2020

A. A. Erofeev, Wang Yubian. Options for location of HSR-stations in urban agglomerations.

The article considers world experience of HSR stations placement in urban agglomerations. It establishes the advantages and disadvantages of various options for the placement of high-speed rail stations in relation to city districts and the formed transport system. Article formulates the goals and functions that the stations perform during their integration into the urban agglomeration. Moreover it proposes the options for the placement of the HSR station in the Minsk urban agglomeration.

1 Bertolini, L. Cities on rails: The redevelopment of railway station areas. E & FN Spon / L. Bertolini, T. Spit. – London and New York, 1998.

2 Urena, J. The Challenges for Big Cities Along the High-speed Rail in National, Regional and Local Perspective / J. Urena [et al.] // Cities. – 2009. – No. 5. – P. 266–279.

3 Todorovich, P. High Speed Rail: International Lessons for U.S. Policy Makers [J]. Documents De Treball / P. Todorovich. – 2011. – 2: 537–553.

4 Hall, P. Magic Carpets and Seamless Webs: Opportunities and Constraints for High-speed Trains in Europe / P. Hall // Built Environment. – 2009. – No. 1. – P. 59–69.

5 彼得·波尔. 高速铁路车站周边地区城市开发管理: 四个欧洲城市的经验[J]. 国际城市规划. – 2011. – 3: 27–34.

6 Yan, Z. Анализ высокоскоростной железной дороги как структурного элемента городской пространственной реорганизации: пример Лиона, Франция / Z. Yan, H. Chen // Международное городское планирование. – 2011. – № 6. – С. 102–109.

УДК 656.222.3

Н. А. КЕКИШ, кандидат технических наук, М. А. ГОНЧАР, старший преподаватель, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПЛАНИРОВАНИЯ ПЕРЕВОЗОК ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ИНТЕГРИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ ПОРОЖНИХ ВАГОНОПОТОКОВ С УЧЕТОМ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Выполнен анализ современной системы обеспечения погрузки порожним подвижным составом. Выявлено несоответствие между сроками планирования перевозок и сроками фактической реализации технологии предоставления вагонов под погрузку. Обоснована необходимость создания интегрированной системы обеспечения погрузки с участием частных вагонов на базе действующей модели регулирования порожних вагонов перевозчика. Для включения в эту модель частных вагонов необходимо совершенствование информационного обеспечения планирования перевозок, а также внесение изменений в нормативную базу в части распределения затрат по оплате простоя и перемещения таких вагонов между перевозчиком, грузовладельцем и владельцем вагона. Предлагаемое решение обеспечивает баланс интересов всех участников перевозочного процесса и имеет перспективу развития для регулирования частного контейнерного парка.

Введение. Система планирования перевозок является основой эксплуатационной работы железнодорожного транспорта. Однако при устоявшемся порядке планирования железнодорожных перевозок во многом не учитываются современные возможности информационных систем, потенциал которых в области повышения качества перевозочного процесса реализован далеко не полностью. При этом эффект от оптимизации системы планирования является долгосрочным, мультиплицируется на всех последующих этапах технологической цепи, поэтому именно этот аспект перевозочного процесса требует особого внимания.

Анализ существующей системы планирования перевозок. На Белорусской железной дороге в настоящее время планирование осуществляется с большим упреждением по времени. Действующим нормативным документом [1] предусмотрена подача месячных заявок на перевозку за 12–15 дней до начала планируемого периода, дополнительных заявок – за 10 дней до начала перевозки. Данные сроки предоставления заявок на перевозку сохраняются в нормативных документах десятилетиями и абсолютно не учитывают ни современных возможностей по обработке оперативной информации о движении грузопотоков и порожнего подвижного состава, ни требований клиентов к качеству транспортных услуг.

Динамичность ситуации на рынке не позволяет значительной части грузоотправителей располагать точной информацией об объеме и сроках поставок за месяц до планируемой перевозки. Такой горизонт планирования создает трудности даже для традиционных клиентов железной дороги – отправителей крупных партий массовых грузов. Что касается перевозки мелких и средних партий, то необходимость упреждающего планирования с большим по современным меркам временным лагом является одним из основных факторов, препятствующих успешной конкуренции железнодорожного транспорта в этом обширном и прибыльном сегменте рынка транспортных услуг.

Информация по всем заявкам на перевозку накапливается в единой автоматизированной подсистеме АП «Месплан». При этом в распоряжении дороги оказывается большой массив данных о грузоотправителях, грузополучателях, направлениях следования грузопотоков, суммарной месячной потребности в подвижном составе и

контейнерах с дифференциацией по типам, принадлежности и местам погрузки. Полученная информация позволяет:

- выполнить прогноз по пропускной способности ключевых объектов инфраструктуры;
- согласовать объемы перевозок с другими перевозчиками;
- выполнить оценку возможности предоставления подвижного состава перевозчика в требуемом объеме.

Фактический поиск вагонов инвентарного парка для обеспечения заявок на перевозку начинается за сутки до погрузки на основе информации суточных заявок грузоотправителей (составленных на базе согласованных со станцией погрузки графиков подачи вагонов) и информации о текущей дислокации вагонов. При использовании вагонов грузоотправителей, грузополучателей, операторских компаний и арендованных вагонов планирование подвода вагонов под погрузку реализуется владельцами этих вагонов. Таким образом, информация заявки реализуется в процессе обеспечения подачи вагонов под погрузку лишь косвенно, через график подачи вагонов. В результате получается, что реально в планировании перевозки и обеспечении подачи вагонов под погрузку используются только данные о потребности в порожних вагонах на ближайшие сутки-двое.

Поскольку информация в заявке касается суммарных объемов перевозок, а посуточные графики подачи вагонов согласовываются со станциями погрузки уже после ее утверждения, то неизбежно возникает неравномерность в объемах перевозок в течение периода планирования. Вследствие этого полученная из заявок информация не позволяет:

- гарантировать отсутствие проблем с пропускной и перерабатывающей способностью объектов инфраструктуры (как своей, так и взаимодействующих перевозчиков);
- составить посуточный план дислокации и подачи вагонов инвентарного парка под погрузку с учетом оптимального использования перевозочных ресурсов в масштабе полигона железнодорожной администрации.

Таким образом, упреждающее планирование с большим временным лагом в итоге не гарантирует решение двух основных задач, для которых оно предназначено.

Из-за отсутствия посуточной привязки конкретного количества вагонов определенного типа к конкретному пункту погрузки большая часть информации в заявке теряет свою ценность как источник данных для планирования и становится источником данных для прогнозирования, что далеко не равнозначно.

Такой короткий горизонт планирования позволяет составить адекватную модель оптимального распределения перевозочных ресурсов, основанную на точных оперативных данных о наличии на конкретный момент времени порожних вагонов нужных типов или «потенциально порожних», которые в пределах заданного времени могут быть выгружены, подготовлены под последующую погрузку и передислоцированы на требуемую станцию с минимальными суммарными затратами в масштабах всего полигона [2].

Можно сделать вывод, что фактически существующая технология предоставления порожних вагонов инвентарного парка под погрузку могла бы быть реализована при подаче клиентами заявок в систему за двое суток. У клиентов в эти сроки есть в наличии точная информация по поставке, которая требуется перевозчику, а у перевозчика – точная информация из систем оперативного управления о количестве, типе и дислокации порожних или «потенциально порожних» вагонов, которые могли бы быть использованы для погрузки. Объединение этих массивов данных позволяет выполнить привязку конкретных вагонов (по номеру) к каждому погрузочному пункту (конкретному грузоотправителю согласно его заявке). Дополнительно столь короткий горизонт планирования дает максимально возможную в реальных условиях эксплуатации гарантию соответствующего технического состояния вагона. Практически отпадает необходимость в штрафных санкциях, применяемых к грузоотправителям и перевозчикам за нарушение плана погрузки, поскольку вероятность этих нарушений значительно ниже, чем в случае планирования с большим упреждением.

Существующая система планирования перевозок на основе месячных заявок также не решает актуальную проблему эффективного использования собственных и арендованных вагонов. Несмотря на большой интервал времени между подачей заявки и реализацией по ней перевозки, при планировании вагонопотоков не учитывается перемещение порожних вагонов грузоотправителей/грузополучателей, так как перевозчик не располагает данной информацией.

В настоящее время более 50 % эксплуатируемых на Белорусской железной дороге вагонов являются вагонами инвентарного парка, что облегчает контроль параметров использования вагонов: порожнего пробега, оборота вагона, продолжительности простоя в порожнем состоянии. Централизованное управление порожними вагонами позволяет оптимизировать загрузку инфраструктуры. Однако дальнейшее увеличение доли вагонов грузоотправителей и грузополучателей может создать условия чрезмерной загрузки инфраструктуры вследствие бесконтрольного и неkoordinируемого перемещения порожних вагонов. Опыт ОАО «РЖД» показал, что при отсутствии координации и оптимизации перемещения порожних вагонопотоков повышается нагрузка на инфраструктуру, вплоть до превышения её пропускной способности, а также возможна ситуация

дефицита перевозочных средств [3]. Попытки внедрения централизации в управлении парком частных вагонов выявили необходимость учета коммерческих интересов операторов подвижного состава [4].

Цель и задачи исследования. Сложившаяся ситуация свидетельствует о необходимости формирования механизма оптимизации использования парка порожних вагонов с учетом интересов владельцев вагонов и учетом ограничений пропускной и перерабатывающей способности инфраструктуры. Одним из основных направлений работы для достижения указанной цели является совершенствование работы с информацией и максимальное использования базы данных по грузовым перевозкам в целях планирования.

В рамках выбранного способа реализации достижения поставленной цели необходимо решить ряд задач на основе существующей системы сбора, накопления и обработки информации по регулировке порожних вагонов:

- определить условия перемещения порожних вагонопотоков, при которых учитываются интересы всех субъектов перевозочного процесса: владельца инфраструктуры, перевозчика, оператора или владельца подвижного состава, грузоотправителя;

- разработать порядок информационного взаимодействия перевозчика с грузоотправителями и операторами подвижного состава при планировании перемещения порожних вагонопотоков;

- разработать предложения по усовершенствованию системы сменно-суточного планирования погрузки и включения в неё регулировку вагонов грузоотправителей, грузополучателей на основе существующего информационного обеспечения;

- выявить преимущества и перспективы развития предлагаемой системы управления порожними вагонопотоками.

Говоря об оптимизации использования парка частных вагонов (под частными понимая вагоны собственные, в том числе принадлежащие компаниям-операторам, арендованные и находящиеся в лизинге), следует определиться с ситуацией, которая отражает эффективное использование таких вагонов как с точки зрения их владельцев, так и с точки зрения перевозчика и владельца инфраструктуры. Опираясь на опыт (как позитивный, так и негативный) ОАО «РЖД» в работе с частными вагонами [5], по мнению авторов, эффективным использованием следует считать ситуацию минимального порожнего пробега и порожнего простоя частных вагонов. И порожний пробег, и простой в порожнем состоянии невыгодны всем сторонам перевозочного процесса, поскольку не приносят им прибыли и непроизводительно загружают инфраструктуру. Поэтому главной целью функционирования системы управления парком частных вагонов должна быть именно минимизация их порожнего пробега и простоя.

Существующая месячная заявка на перевозку не дает информационной основы для такой оптимизации. Она просто фиксирует факт того, что грузовладелец будет использовать для погрузки частные вагоны, снимая тем самым с перевозчика обязанность по предоставлению вагонов инвентарного парка. Владельцы вагонов планируют оборот своего подвижного состава изолированно,

без увязки друг с другом, упуская тем самым возможность сокращения порожнего пробега частных вагонов. Очевидно, что для построения эффективной системы управления парком частных вагонов необходима ее интеграция с системой управления парком инвентарных вагонов. Это возможно на базе общего информационного источника о дислокации вагонов – реальной или предполагаемой. Таким источником является информационно-аналитическая система поддержки принятия управленческих решений по грузовым перевозкам (далее – ИАС ПУР ГП).

Как уже было отмечено выше, фактический поиск вагонов инвентарного парка под погрузку выполняется за сутки на основе заявок грузоотправителей, передаваемых в автоматизированную систему «Сменно-суточное планирование» (далее – АС ССП). Исходными данными для сменно-суточного планирования в АС ССП являются месячные заявки ГУ-12 из системы АП «Месплан», суточные заявки на погрузку от клиентов железной дороги и информация из системы ИАС ПУР ГП об оперативной дислокации вагонов и грузовых операциях. Но если по вагонам инвентарного парка решение о направлении их под погрузку принимает перевозчик, то для частных вагонов решение о перемещении перевозки в обязательном порядке должен согласовать с их владельцем. Запрос в каждом случае согласия владельца вагона делает практически невозможной оперативную передислокацию частных вагонов под погрузку по образцу вагонов инвентарного парка. Значит, согласие владельца вагона на подачу вагона под погрузку должно быть в явной форме выражено заранее и содержаться в информационных системах перевозчика [6].

В настоящее время порядок использования частного вагона после выгрузки определяется указаниями владельца вагона получателю груза, изложенными в графе накладной СМГС «Заявления отправителя». Как и вся информация накладной, эти указания содержатся в системе САПОД – подсистеме ИАС ПУР ГП, отвечающей за обработку перевозочных документов. Данная информация в настоящее время для целей оптимизации оборота частных вагонов ни владельцем, ни перевозчиком не используется. Однако именно эти указания могут стать тем самым резервом сокращения порожнего пробега частных вагонов, поскольку обладают важными для поставленной цели признаками:

- точной информацией о порядке обратного следования частного вагона в порожнем состоянии;
- юридически значимой информацией, поскольку является частью юридически значимого документа – договора перевозки;
- информацией неразрывно связанной с другими данными накладной, в частности, с номером вагона, с реквизитами получателя (который будет являться отправителем порожнего вагона), с реквизитами отправителя (который может быть потенциальным получателем порожнего вагона), с данными о владельце вагона (потенциальном получателе оплаты за его использование), характеристиками ранее перевозившегося груза (которые

могут иметь значение для определения возможности его загрузки другими грузами).

Предлагаемый порядок информационного взаимодействия перевозчика с грузоотправителями и владельцами подвижного состава. Если владелец порожнего вагона заинтересован в сокращении его порожнего пробега за счет предоставления его другим грузо-владельцам для перевозки, то он может сделать в графе «Заявления отправителя» соответствующее указание, дающее право получателю груза предоставить вагон в ведение перевозчика для передислокации его на требуемую станцию (грузовой пункт) для последующей загрузки. Для облегчения обработки информации в системе следует разработать систему кодирования таких данных, дифференцированную для различных типов указаний:

- загрузка разрешена только в попутном направлении (станция назначения груза должна совпадать со станцией приписки вагона или пунктом срочного возврата вагона);
- загрузка разрешена в любом направлении в пределах полигона дороги (железнодорожной администрации);
- загрузка разрешена в любом направлении, включая выход за пределы полигона дороги (железнодорожной администрации).

Код может быть дополнен позициями, указывающими на срок действия разрешения на загрузку (один обратный рейс – для загрузки в попутном направлении, до указанной даты, до последующего уведомления). В виде кода должен быть указан и существующий порядок перевозки частных вагонов (следование в порожнем состоянии до указанной владельцем станции без разрешения на загрузку).

Наличие такого кода в накладной создает информационную основу для включения части частных вагонов (с согласия их владельцев) в интегрированную систему формирования динамической модели дислокации вагонов на заданном полигоне, расчета оптимального варианта использования доступных перевозочных ресурсов и обеспечения погрузки. Такая система оборота частных вагонов хорошо вписывается в систему эксплуатации, предусматривающую предоставление перевозочных ресурсов на конкурентной основе (биржи порожних вагонов, системы динамического бронирования или выкупа вагоно-мест в поездах твердого графика), поскольку она изначально опирается на однозначные критерии выбора подходящего подвижного состава под погрузку:

- коммерческая пригодность;
- наличие разрешения владельца вагона, совпадающего с потребностями грузовладельца;
- минимальные затраты на передислокацию под погрузку.

Перечисленные критерии поиска вагонов требуют доработки алгоритма поиска вагонов в автоматизированной системе АС ССП. Необходимо предпринять следующие действия по уточнению характеристик вагонов при поиске:

– включить логический контроль на совместимость последнего перевозимого груза с планируемым, для чего требуется составить таблицу несовместимости грузов. Информация о последнем перевозимом грузе в АС ССП фиксируется в информации о вагоне после выгрузки, однако контроль совместимости последующего груза с предыдущим возложен на перевозчика;

– установить режим срочного возврата вагонов собственникам на указанную станцию при временной передаче в регулировку перевозчику по аналогии с режимом срочного возврата, который в настоящее время в системе АС ССП действует для вагонов по критериям запрета погрузки, наличия вагона в каком-либо из пользовательских списков, сведения о приближении значения пробега к критической отметке, принадлежности вагона кольцевому отправительскому маршруту, срокам и видам проведения следующего планового ремонта вагона;

– дополнить графу «дополнительные условия» суточной заявки на погрузку указаниями необходимых конструктивных особенностей вагона, создать базу более подробных признаков коммерческой пригодности вагона на основе информации кода вагона и его паспортных данных, например, наличие металлической полосы на полу платформы, характеристику сливных и наливных устройств, специализацию цистерн под определенный груз и т. д.;

– дополнить существующий логический контроль принадлежности вагона кольцевому отправительскому маршруту дополнительными кодами владельца на разрешение отдавать маршрут в регулировку только целиком или с разделением на отдельные вагоны.

Оплата порожнего пробега и простоя частных вагонов, включенных в интегрированную систему поиска и предоставления вагонов под погрузку.

При реализации передачи перевозчику права на передислокацию частного вагона под погрузку другими грузовладельцами возникают вопросы, связанные с оплатой:

- порожнего пробега частных вагонов до мест загрузки и после последней выгрузки до места приписки;
- аренды вагона на время груженых рейсов;
- простоя вагонов между загрузками.

При распределении обязанностей по оплате простоя и перемещения порожнего частного вагона, включенного в систему обеспечения погрузки, нужно исходить из следующих соображений:

- ни одна из сторон перевозки не должна нести больших расходов, чем она несет при существующей системе;
- отдельные стороны перевозки могут получать дополнительную выгоду от участия в системе обеспечения погрузки.

Соблюдение этих принципов гарантирует заинтересованность перевозчиков, грузовладельцев и владельцев вагонов в участии частных вагонов в интегрированной системе обеспечения погрузки.

Компенсация затрат перевозчиков и владельцев частных вагонов на их перемещение к местам погрузки может быть выполнена различными способами, для чего потребуются внесение изменений в нормативную базу. Предлагаются следующие варианты оплаты (таблица 1). Номера станций даны в соответствии с рисунком 1.

Таблица 1 – Оплата рейсов частного вагона при включении его в интегрированную систему обеспечения погрузки

Рейс между станциями	Порядок расчета провозных платежей	Оплата провозных платежей	Оформление накладной	Оплата аренды вагона
О1-Н1 (груженный)	За перевозку груза в частном вагоне	Грузовладелец	Грузовладелец	–
Н1-О2, Н2-О3, Н3-Оп, (порожний)	За перевозку порожнего частного вагона	Грузовладелец	Владелец вагона*	Грузовладелец**
О1-Н1, О2-Н2, О3-Н3, Оп – Нп (груженный)	За перевозку груза в частном вагоне	Грузовладелец	Грузовладелец	
Нп – О1 (порожний)	За перевозку порожнего частного вагона***	Владелец вагона	Владелец вагона (через АС «Электронная перевозка»)	–

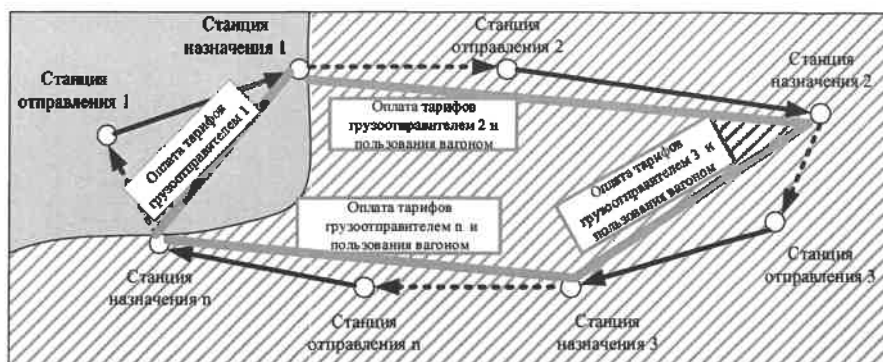
*Владелец вагона оформляет накладную через АС «Электронная перевозка» с использованием ЭЦП. В накладную должны быть перенесены соответствующие коды разрешений на передислокацию под следующую погрузку. По доверенности от владельца вагона накладную может оформлять перевозчик (без взимания платы за оформление).

** Каждый грузовладелец, которому подается под погрузку частный вагон, вносит арендную плату владельцу вагона, рассчитываемую посуточно за период пользования вагоном (от подачи под погрузку до сдачи после выгрузки + двое суток на передислокацию вагона к месту погрузки). Арендная плата взимается перевозчиком с грузоотправителя вместе с провозными платежами и потом переводится на счет владельца вагона. Перевозчик в данном случае выступает в качестве агента владельца вагона.

***При перевозке частного порожнего вагона от станции последней выгрузки до станции приписки в качестве тарифного расстояния принимается меньшее из двух расстояний: между станциями Н1-О1 и между станциями Нп – О1.

При расчете используются действующие тарифы на перевозку груза в частном вагоне и частного порожнего вагона. Ставки арендной платы для частных вагонов, включенных в интегрированную систему обеспечения погрузки, устанавливаются единые для всего полигона обращения, с дифференциацией по роду подвижного состава.

Оплата простоя частного вагона на местах общего пользования в предусмотренных нормативными документами случаях производится грузовладельцами (грузоотправителями/грузополучателями) за время простоя от приема до уведомления об окончании грузовой операции. Владелец частного вагона освобождается от платы за простой на местах общего пользования на всё время нахождения вагона в интегрированной системе обеспечения погрузки.



Условные обозначения:

- > — грузовой пробег вагона; - - -> — порожний пробег вагона;
- ▨ — регулировка перемещения вагонов сетевым перевозчиком; □ — регулировка перемещения вагонов владельцем подвижного состава;

Рисунок 1 – Маршрут перемещения частных вагонов при регулировке перевозчиком

Выводы. Внедрение предлагаемой интегрированной системы обеспечения погрузки с участием частных вагонов может быть реализована на основе существующего информационного обеспечения планирования с внесением указанных изменений и дополнений.

Предложенная система планирования перемещения порожних вагонопотоков позволит:

- грузоотправителям гарантированно обеспечить перевозку подвижным составом без привлечения экспедиторов и без прямого поиска и взаимодействия с операторами подвижного состава (владельцами подвижного состава);

- владельцам подвижного состава решить проблему простоя вагонов и более рационально использовать подвижной состав за счёт обеспечения обратной загрузки, оперативного поиска перевозок;

- общесетевому национальному перевозчику и/или владельцу инфраструктуры обеспечить оптимальную загрузку инфраструктуры за счёт минимизации порожнего пробега вагонов.

Перспективы применения предложенной системы оптимизации перемещения порожних вагонопотоков:

- автоматизированное оформление накладной на частные порожние вагоны, которые находятся в регулировке перевозчика;

- изменение горизонта планирования перевозок и сроков подачи заявок с дифференциацией по критерию величины партии. Это позволит сохранить большой горизонт планирования для крупных партий массовых грузов, обеспечение перевозок которых требует привлечения большого количества перевозочных ресурсов; сократить горизонт планирования для мелких и средних партий до двух-трех дней с использованием специально разработанного алгоритма поиска вагонов и уведомлением клиентов о возможности срочного предоставления вагонов при их наличии или необходимости ожидания подвода вагонов на следующие сутки;

Получено 07.04.2020

N. A. Kekish, M. A. Hanchar. Improving the information support of transportation planning for the implementation of the integrated system of organizing empty car flows, taking into account the wagon ownership.

The article analyzes the modern system for ensuring loading. A discrepancy between the terms of transportation planning and the actual implementation of the technology for providing cars for loading was revealed. The necessity of creating an integrated system for ensuring loading involving privately owned wagons based on the current model for dispersal empty principal railway enterprise wagons has been substantiated. To include privately owned wagons in this model, it is necessary to improve the information support of transportation planning, as well as to amend the regulatory framework regarding the distribution of costs for downtime and moving such wagons between the carrier, the cargo owner and the owner of the wagon. The proposed solution provides a balance of interests of all participants of the transportation process and has the prospect of development to regulate a privately owned container fleet.

- внедрение заявительного принципа при планировании перевозок, при котором владелец подвижного состава может выбрать различные сценарии обратного пробега вагонов к месту следующей погрузки, а грузовладелец может планировать свои перевозки в краткосрочный период с учётом наличия перевозочных средств на текущую дату;

- включение в предлагаемую систему оборота порожних перевозочных средств контейнерного парка, что предполагает регулировку в комплекте с подвижным составом (при принадлежности и вагона, и контейнеров одному владельцу), а также возможность доставки контейнеров к месту погрузки автомобильным транспортом.

Список литературы

- 1 Правила приема заявок на перевозку грузов железнодорожным транспортом общего пользования [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://www.rw.by/upload/iblock/3dc/pravila_priema_zayavok_1_.pdf. – Дата доступа : 27.03.2020.
- 2 Milenkovic, M. Optimization Models for Rail Car Fleet Management / M. Milenkovic, N. Bojovic. – Cambridge : Elsevier, 2019. – 283 p.
- 3 Никифорова, Г. И. Исследование проблем деятельности операторских компаний в управлении вагонным парком / Г. И. Никифорова // Профессиональное образование, наука и инновации в XXI веке : 6-й сб. трудов XII С.-Петербург. конгресса. – СПб. : ПГУПС, 2018. – С. 172–173.
- 4 Куренков, П. В. Инфраструктура железных дорог России и регулирование вагонных парков / П. В. Куренков, Ф. И. Хусаинов // Экономика железных дорог. – 2015. – № 9. – С. 36–48.
- 5 Технология работы ОАО «РЖД» при оказании услуг технологического аутсорсинга процессов планирования и оперативного управления перевозками частных порожних вагонов от 28.12.2010 : утв. Приказом вице-президента ОАО «РЖД» от 28 декабря 2010 г. № 123.
- 6 Автоматизированная система сменно-суточного планирования погрузки и выгрузки дороги и ее подразделений : рук-во пользователя. – Минск, 2014.

УДК 656.211.6:656.01

Т. А. ВЛАСЮК, кандидат технических наук, А. Н. БЕЛОУС, аспирант, А. Ю. КУЛАЖЕНКО, студент, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

ИНТЕГРАЦИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ВОКЗАЛОВ С РАЗЛИЧНЫМИ ВИДАМИ ТРАНСПОРТА И ГОРОДСКОЙ СРЕДОЙ ЧЕРЕЗ МОБИЛЬНЫЕ ПРИЛОЖЕНИЯ

Железнодорожные вокзалы, которые у большинства пассажиров ассоциируются только с железнодорожным транспортом, уходят в прошлое и на их смену приходят новые вокзальные комплексы – хаббы, являющиеся отражением развития современных городов и транспорта. Сегодня их инфраструктура активно меняется, что подтверждается переходом не только на оказание услуг, связанных с поездками, но сервисным обслуживанием, которое сейчас невозможно без Wi-Fi, а также зарядных станций, навигации в мобильном приложении и т. д. Именно такие вокзальные комплексы необходимы пассажирам XXI века, отличающимся мобильностью, стремлением получать необходимую информацию в кратчайшие сроки и не прекращающим трудовую деятельность во время поездки. В связи с этим необходима интеграция железнодорожных вокзалов с другими видами транспорта и, особенно с городской средой.

Технические возможности современной цивилизации и развитие мобильной связи оказали значительное влияние на увеличение объема внутренней и внешней памяти смартфонов и планшетов, что позволило расширить сферу применения приложений, обеспечивающих сегодня пользователям, к которым относятся и пассажиры, доступ к различным услугам как на транспорте, так и в других областях жизнедеятельности человека. Уже сегодня в мире насчитывается более 4 млрд действующих активных мобильных устройств и 96 % населения планеты живёт в зонах покрытия мобильным интернетом. При этом 50 % всего населения Земли, а это около 4 млрд человек, в 2018 году хотя бы 1 раз выходили в сеть. 2018 и 2019 годы войдут в историю как наиболее знаковые по числу загрузок приложений. Так, в 2019 году в мире было установлено более 200 млрд мобильных приложений и более 100 млрд долларов потратили пользователи в магазинах мобильных приложений, что на 75 % больше, чем в 2016 году. Среднестатистический пользователь в мобильных приложениях провел примерно 3 часа в сутки. При этом на 30 % больше вовлечённость молодого поколения в неигровых приложениях по сравнению с представителями более старших возрастов [3–6].

Современное поколение молодых людей в возрасте от 16 до 24 лет относят сегодня к самым «смартфонозависимым». Они активны, мобильны, много путешествуют и больше других пользуются преимуществами современного мобильного мира. Например, молодежь на 20 % больше времени проводит в мобильных устройствах и на 30 % чаще использует различные предложения.

Следует отметить, что сегодня всё больше интереса проявляют пользователи различных возрастов к приложениям на транспортные услуги. Подсчитано, что только в 2019 году пассажиры ОАО «РЖД» скачали 1,6 петабайта информации, что соизмеримо, если считать в электронных книгах, с 22-кратным собранием библиотеки имени Ленина в Москве. Это свидетельствует о постоянном совершенствовании сферы обслуживания на железнодорожном транспорте с учетом современных технологий и мобильных приложений, обеспечивающих справочной информацией, а также отражающих навигационные особенности железнодорожного вокзала (таблица 1).

Таблица 1 – Краткая характеристика мобильных приложений для пассажиров

Приложение	Краткая характеристика
TriplIt	Синхронизация различной информации (по приобретению билетов, бронированию мест в отеле и т. п.) с последующим выстраиванием маршрута передвижения
Rome2rio	Составление маршрута передвижения с учетом взаимодействия различных видов транспорта с отражением информации о ценах на билеты, время отправления автобусов, метро и других видов транспорта
CityMapper	Предоставление данных в реальном времени для всех вариантов общественного транспорта исходя из местоположения и составление маршрута следования на различных видах транспорта
Sygyic Travel	Навигация без подключения к сети и вспомогательная информация
PackPoint	Сбор сумки в поездку на основе маршрута передвижения
uPackinglist	Сервис для создания списков вещей с возможностью интеграции записей с календарем
XE Currency	Информация о конвертировании любых валют мира
WiFi Map	Приложение-локатор для поиска ближайшей сети Wi-Fi
Osmino Wi-Fi	Автоматическое подключение к бесплатному Wi-Fi по всему миру
Guides by Lonely Planet	Составление оптимального маршрута
WienMobil	Планирование передвижения на общественном транспорте и покупка билетов
Trainline UK	Составление маршрутов на поезде с указанием времени, количества пересадок и стоимости
Moovit	Практический навигатор для пешеходов (отображает расписание автобусов, троллейбусов, трамваев, метро и рассчитывает маршрут из точки А в точку Б)

Такие приложения, как Rome2rio, CityMapper, помогают пассажирам с ограниченными возможностями построить оптимальный маршрут передвижения от привокзальной площади до необходимой точки на вокзале, нужной платформы, и наоборот.

Применение мобильных приложений особенно востребовано у пассажиров с ограниченными возможно-

стями. Если раньше требовалось заранее оставлять заявку на специальную помощь, то теперь это делать не обязательно. Можно просто приехать, и на вокзале представители специализированной службы помогут сориентироваться, купить билет, а также проводят и посадят в поезд. Следует отметить, что сегодня в странах СНГ, например, Российской Федерации, благодаря совместной работе с волонтерами и общественными объединениями инвалидов на основе мирового опыта в этой сфере, разработаны эффективные проекты для создания безбарьерной доступной среды, состоящей из пандусов, эскалаторов, лифтов, навигационных и информационных указателей.

Помимо вышеперечисленного на железнодорожных вокзалах для слабослышащих применяются индукционные системы, которые помогают ориентироваться в пространстве. Для людей с нарушениями зрения появились тактильные указатели и знаки, пиктограммы, мнемосхемы, которые делают их передвижение безопасным.

Данные приложения также имеют следующие серверы:

- расписание движения поездов дальнего и пригородного сообщения;
- покупка билетов на поезда дальнего и пригородного сообщения;
- возврат билетов, приобретенных на сайте или в приложении (в соответствии с правилами возврата, установленными для этих билетов);
- справочная информация о вокзалах;
- навигация на вокзалах;
- отображение фактического движения поездов;
- подача обращений, предложений и т. п.

Следует отметить применение на ОАО «РЖД» приложения «Пригород», по которому уже сегодня пассажиры приобретают проездные билеты, и доля продаж составляет в среднем 10 % от всех платных разовых билетов, а в отдельные дни она достигает 15 %. Только сейчас через Google Play у приложения свыше полутора миллиона установок. Сервис доступен для мобильных устройств системы «Андроид» старше четвертой версии, а также для iPhone системы iOS 8.2 и выше. Под эти критерии подходят практически все действующие мобильные устройства в СНГ, выпущенные после 2016 года. Сервисом удобно пользоваться как с мобильного телефона, так, например, и с планшета. Приложение весит чуть более 80 Мбайт и работает при многочисленных открытых вкладках, неочищенном кэше и низкой скорости интернета.

Данное мобильное приложение позволяет практически «мгновенно» приобрести билет за полную стоимость или на ребенка, а также оформить квитанцию на провоз велосипедов, животных, ручной клади.

Приложение постоянно совершенствуется благодаря обратной связи с пользователями (пассажирами), что позволяет анализировать часто используемые маршруты следования, истории заказов и т. п. По просьбам пользователей разрабатывается опция, дающая возможность оформить студенческий билет. Из новшеств следует отметить, предупреждение о повторной покупке билета, что актуально для дачных направлений, где мобильная связь не всегда стабильна и пользователи несколько раз вводят данные карты. Теперь пользовате-

ля после совершения операции предупреждают о том, что билет уже приобретен и как только соединение стабилизируется, ему на почту придут проездные документы. Если по каким-то причинам пользователь не завершает покупку билета или же у него на телефоне резко пропадает интернет, деньги возвращаются, а пассажиру приходит push-уведомление.

На железнодорожных вокзалах применяется также система электронной очереди, которая автоматически отправит пассажира в ближайшее свободное окно. Это позволило оптимизировать работу касс и «ликвидировать» очереди за билетами. Помимо вышеизложенного появились новые сервисы, например, бронь группового билета и услуга покупки билета за 40 мин до отправления поезда.

В 2019 году пассажирам Белорусской железной дороги предложено для пользования официальное мобильное приложение «БЧ. Мой поезд», которое доступно для бесплатного скачивания пользователям смартфонов и планшетов на платформах Android и iOS. В мобильном приложении имеется возможность оформления проездных документов на поезда не только с нумерованными, а также и с ненумерованными местами. Помимо этого для пассажиров стал доступен обновленный раздел «Услуги пассажирам» на корпоративном сайте www.rw.by. Его особенностью является возможность оформления проездных документов непосредственно при просмотре расписания без необходимости переключения на другие ресурсы. При этом возможно оформление электронных билетов без регистрации пользователя на сайте. Дополнительный функционал мобильного приложения «БЧ. Мой поезд» и новый раздел официального сайта rw.by «Услуги пассажирам» предоставляет возможность оформления электронных билетов на поезда региональных линий экономкласса, городских линий, а также оформления пересадочных маршрутов с оплатой через единую корзину заказов [7].

Следует отметить, что представленные в таблице 1 приложения активно используются пассажирами, совершающими туристические поездки на железнодорожном транспорте. Эта сфера в настоящее время становится всё более мобильной, что подтверждается следующими данными:

- 65 % туристов предпочитают планировать маршрут поездки с помощью мобильных приложений;
- около 75 % туристов используют как минимум одно мобильное приложение во время своей поездки;
- 35 % туристов скачивают мобильные приложения для путешествий специально для конкретной поездки или приближающегося отдыха;
- 80 % всего времени пользователей в среднем по миру приходится на приложения мобильных устройств (20 % на мобильный браузер), в Италии – 95 %, в США – 92 %, в Индонезии – 83 %;
- 80 % путешественников публикуют свои фотографии с отдыха в социальных сетях;
- мобильные приложения для путешествий занимают 7-е место по количеству скачиваний среди всех существующих приложений [1–3].

Приведенная статистика показывает, что разработка приложений для туристических целей открывает новые каналы для повышения качества услуг, предоставляемых пассажирам.

Таким образом, на основании вышеизложенного можно сделать вывод, что сегодня мобильные приложения являются частью повседневной жизни для подавляющего большинства населения и находят широкое применение в различных сферах, что требует соответствующих исследований. При этом современная глобальная информационно-коммуникативная сфера – это особая форма взаимодействия людей, которая может пользоваться традиционными средствами общения, но одновременно может строить альтернативные системы и формы передачи информации.

Список литературы

1 Бабкин, А. В. Специальные виды туризма / А. В. Бабкин. – Ростов н/Д : Финансы и статистика, 2008. – С. 73–79.

2 Осипова, О. Я. Транспортное обслуживание туристов : учеб. / О. Я. Осипова. – М. : Академия, 2007.

3 Сенин, В. С. Организация международного туризма / С. В. Сенин. – М. : Финансы и статистика, 2008. – С. 145–153.

4 Программирование под Android / З. Медникс [и др.]. – СПб. : Питер, 2012. – 496 с.

5 Коматинени, С. Android 4 для профессионалов. Создание приложений для планшетных компьютеров и смартфонов / С. Коматинени, Д. Маклин. – М. : Вильямс, 2012. – 880 с.

6 Android для программистов. Создаем приложения / П. Дейтел [и др.]. – СПб. : Питер, 2012. – 560 с.

7 Белорусская железная дорога. Пресс-центр [Электронный ресурс]. – Режим доступа : www.rw.by/corporate/press_center/corporate_news/2019/12/mobilnoe-prilozhenie-bch-moy-poezd-belorusskoy-zheleznoy-dorogi-dostupno-dlya-skachivaniya-na-platfo. – Дата доступа : 08.09.2020.

Получено 25.09.2020

T. A. Vlasuk, A. N. Belous, A. Yu. Kulazanka. Integration of railway station with various modes of transport and urban environment via mobile apps.

Railway stations, which most passengers associate only with railway transport, are becoming a thing of the past and are being replaced by new station complexes, called hubs in Europe, which are a reflection of the development of modern cities and transport. Today, their infrastructure is actively changing, which is confirmed by the transition not only to the provision of services related to travel, but also service, which is now impossible without Wi-Fi, as well as charging stations, navigation in the mobile app, and so on. Such station complexes are necessary for passengers of the twenty-first century who are characterized by mobility, the desire to get the necessary information as soon as possible and do not stop working during the trip. In this regard, it is necessary to integrate railway stations with other modes of transport, especially with the urban environment.

НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ

УДК 539.3

А. А. ПОДДУБНЫЙ, кандидат физико-математических наук, О. А. ЕРМОЛОВИЧ, кандидат технических наук, К. В. ЕФИМЧИК, магистрант, Белорусский государственный университет транспорта г. Гомель

ПРОБЛЕМА ПОВТОРНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВТОРИЧНЫХ МАТЕРИАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ И ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ИСПЫТАНИЯ РАЗРАБОТАННЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ИХ ОСНОВЕ

Рассматриваются проблема повторного использования вторичных материальных ресурсов, разработка на их основе композиционных материалов, проведение предварительных испытаний и предлагается технология изготовления элементов ограждения из композиционных материалов на основе полиолефинов и нефтешламов.

Острота проблемы отходов связана с глобальными масштабами их образования. По оценкам международных экспертов 2018 года, в мире ежегодно собирается около 1,3 млрд тонн коммунальных (муниципальных) отходов [1, с. 5]. В стоимостном выражении объем рынка коммунальных отходов только в странах – членах Организации экономического сотрудничества и развития (за вычетом новых стран – членов Европейского союза) оценивается примерно в 120 млрд дол. США. Наибольшее значение имеют рынки США (около 46,5 млрд дол. США), страны Европейского союза (далее – ЕС) (около 36 млрд дол. США) и Японии (около 30,5 млрд дол. США).

Необходимость решения проблемы отходов вызвала появлением самостоятельной области природоохранной политики, направленной на развитие методов организации сбора отходов, их переработки (использования), сжигания, захоронения, а также стимулирование мероприятий по вовлечению отходов в хозяйственный оборот и предотвращению образования отходов в источниках их образования. Для обозначения этого направления в мире возник и получил широкое распространение термин «управление отходами» («waste management»), обозначающий регламентацию и регулирование всех процессов, связанных с образованием, хранением, транспортировкой, переработкой, утилизацией и размещением отходов.

Вместе с тем в международной практике до настоящего времени теоретико-методологические основы формирования комплексной системы управления охраной окружающей среды и рациональным природопользованием, в том числе управления отходами, разработаны не в полной мере, а практические подходы к созданию такой системы, включая механизмы и инструменты реализации оптимальной политики в данной области, еще далеки от совершенства и значительно различаются в разных государствах.

Основные для мирового сообщества пути управления отходами были определены на Международной конференции по устойчивому развитию в г. Йоханнесбурге (ЮАР) в 2002 году. Они включают предотвращение образования отходов, максимальное повторное использование и вторичную переработку, а также применение альтернативных экологически безопасных материалов.

В ЕС законодательные рамки в сфере обращения с отходами устанавливаются посредством двух основных директив: Директивы по отходам и Директивы по

опасным отходам. В ЕС приняты также отдельные директивы, регулирующие обращение со специальными видами отходов: упаковкой, отработанными маслами, отходами очистных сооружений, батарейками, вышедшими из употребления транспортными средствами, отходами электроники.

Требования директив ЕС исполняются через национальные системы законодательства стран-участниц.

В настоящее время в странах ЕС Директивой по отходам законодательно утверждена следующая иерархия методов обращения с отходами (по мере снижения приоритетности метода):

- предотвращение образования;
- повторное использование;
- рециклинг (переработка);
- энергетическое использование;
- окончательное удаление (хранение, захоронение).

Организации, которые хотят отклониться от этой иерархии, должны обосновать, какие преимущества в этом случае возникнут для человека и окружающей среды.

Предотвращение образования и повторное использование обеспечивают общее сокращение объемов образования отходов.

Образовавшиеся коммунальные отходы используются согласно методам, которые можно условно разделить на следующие три группы:

- переработка (рециклинг) – возврат отдельных компонентов ТКО в хозяйственный оборот путем их выделения из общей массы и передачи на использование в качестве сырья и материалов для производства продукции;
- компостирование – использование органической части ТКО после ее биологической обработки (разложения органических субстанций) при помощи различных микроорганизмов;
- сжигание – использование смешанных ТКО или выделенных из них теплотворных фракций для получения тепловой и (или) электрической энергии.

Применение данных групп методов существенно различается по странам, что обусловлено как общим уровнем социально-экономического развития, так и рядом других факторов и особенностей различных стран.

Неиспользованные твердые коммунальные отходы (далее – ТКО) захораниваются в специально оборудованных местах (на полигонах) с учетом требований к охране окружающей среды.

Применение этих групп методов использования ТКО в странах ЕС и Республике Беларусь представлено на рисунке 1.

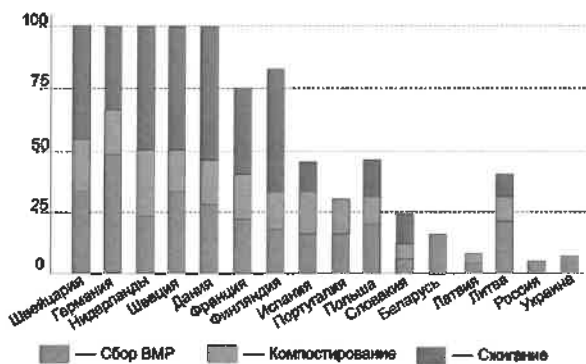


Рисунок 1 – Уровень использования и захоронения ТКО

В Республике Беларусь вопросы управления отходами стоят так же остро, как и во всем мире. Отходы превращаются в проблему, представляющую угрозу экологической безопасности и здоровью человека. Они отрицательно влияют на окружающую среду, включая земельные ресурсы, недра, поверхностные и подземные воды, леса и иную растительность, а также на среду обитания животных, воздушную среду и иные компоненты и объекты окружающей среды.

Система обращения с отходами в республике ориентирована на соблюдение принципа приоритетности использования отходов по отношению к их обезвреживанию или захоронению и на вовлечение в гражданский оборот ТКО, относящихся к вторичным материальным ресурсам (далее – ВМР).

В настоящее время действуют следующие механизмы сбора ВМР из ТКО:

- заготовка ВМР через систему приемных (заготовительных) пунктов;
- отдельный сбор ТКО от населения путем установки специальных контейнеров для отдельных видов ВМР и их досортировка;
- сортировка смешанных коммунальных отходов на мусороперерабатывающих заводах (далее – МПЗ) с последующим извлечением ВМР;
- закупка вторичного сырья по договорам купли-продажи от юридических лиц, в процессе хозяйственной деятельности которых образуются такие отходы.

Опыт работы показывает, что объем извлечения ВМР, пригодных к повторному использованию, из смешанных ТКО составляет в зависимости от сезона не более 10–15 % от общего объема поступающих отходов (как правило, это отходы бумаги, стекла, пластика, текстиля, изношенных шин), остальной объем отходов образует балластную часть и вывозится на захоронение.

При этом объемы сбора (заготовки) отдельных видов ВМР отвечают европейскому уровню. Так, объемы сбора отходов бумаги и картона составляют более 70 % от объема образования, отходов стекла – более 60 %, а отходов полимеров – менее 20 %.

Мы предлагаем технологию использования жидких отходов нефтепродуктов без дополнительной переработки, в качестве наполнителя полимерных материалов с широким спектром их применения.

Использование нефтесодержащих добавок в качестве наполнителей полимерных материалов может стать эффективным решением ряда экологических и социальных проблем, а также позволит частично снизить применение дорогостоящих методов утилизации [2].

Опытные образцы изготавливали методом горячего прессования в виде столбов длиной 3000 мм.

Предварительное испытание материала на сжатие проводилось в научно-исследовательской лаборатории «ДИИСМиК» УО «БелГУТ» на гидравлическом испытательном прессе Matest C040N в соответствии с ГОСТ 10180–2012 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам» (рисунок 2).

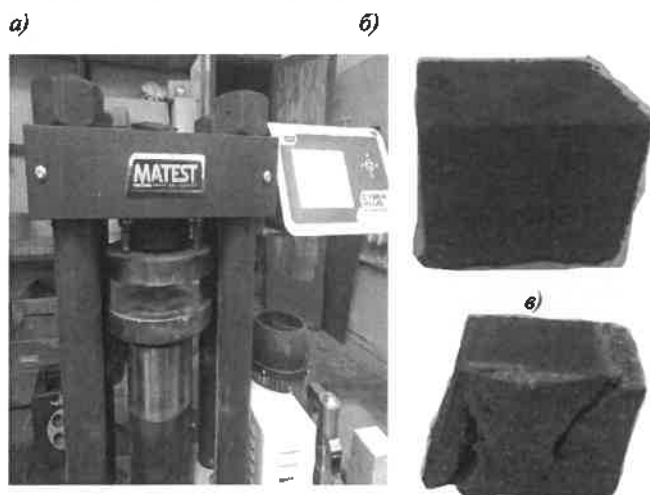


Рисунок 2 – Испытание материала:
а – оборудование для испытания; б – кубик до испытания;
в – кубик после испытания

Испытанию подвергались изделия в виде куба со стороной 30 мм.

Результаты испытания свидетельствуют о возможности применения данного материала в качестве конструкционного. При возникновении максимального усилия материал начинает плавно разрушаться и деформироваться (красная кривая), в то время как бетон резко теряет свои свойства и разрушается (зеленая кривая) на рисунке 3 и в таблице 1.

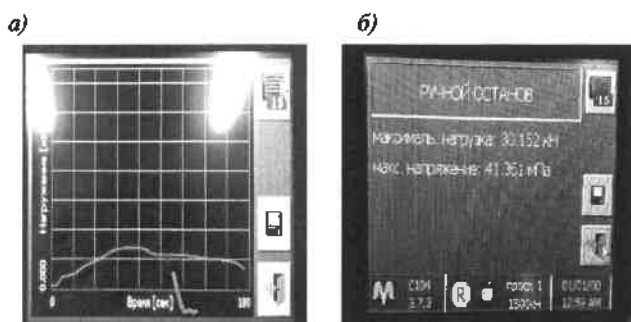


Рисунок 3 – Результаты испытания:
а – зависимость нагрузки от времени;
б – средняя нагрузка и напряжение

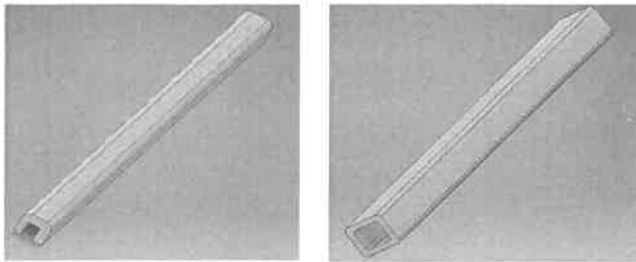
Таблица 1 – Сравнение прочности разработанного материала с прочностью бетона разных марок

Применение	Класс	Марка	Прочность (кгс/см ²)
В качестве штукатурки	B5	M75	6,37
Монтаж бордюрного камня	B7.5	M100	9,6
	B12.5	M150	12,8
Стяжки, дорожки	B15	M200	19,2
Фундаменты	B22.5	M300	28,8
Монолитные стены, ЖБИ	B25	M350	32
Мосты, банковские хранилища, взлетно-посадочные полосы, гидроэлектростанции	B30	M400	38,5
Фундаменты под многоэтажные здания	B35	M450	40

Мы предлагаем изготовление из разработанного композиционного материала на основе полиолефинов и нефтешламов элементов дорожных настилов [3].

Исходя из полученных данных можно утверждать, что возможно использование данного материала для изготовления опытных образцов столбов как несущих опор для монтажа систем охранной сигнализации (колочей проволоки или металлической сетки), для монтажа всевозможных ограждений, а также как конструкционные материалы в качестве балок, перекрытий (рисунок 4).

а)



б)

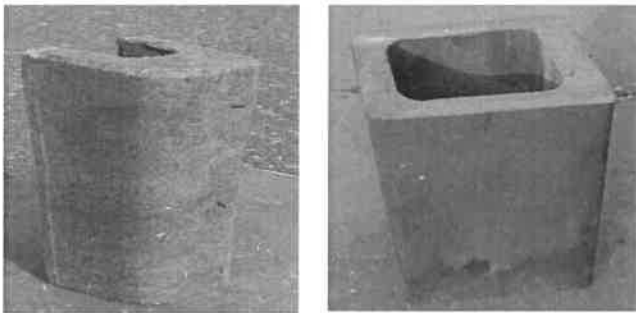


Рисунок 4 – Варианты изготовления опор, балок: а – проектируемые; б – изготовленные

Размер опытного образца составляет 88×88×3000 мм, вес – около 25 кг.

На основании данных, приведенных в таблице 1, а также плотности материала (1,74 г/см³) можно сделать вывод о некоторых преимуществах физико-механических характеристик разработанного материала над бетоном.

Получено 25.10.2020

A. A. Poddubny, O. A. Yermalovich, K. V. Yefimchyk. The problem of reuse of secondary material resources and preliminary tests of developed composite materials based on them.

The problem of reuse of secondary material resources, development of composite materials based on them, conducting preliminary tests are considered, and a technology for manufacturing fence elements from composite materials based on polyolefins and oil sludge is proposed.

Преимущества данного материала:

- небольшая масса, обеспечивающая удобный монтаж (в 1,35 раз легче бетона), следовательно и уменьшение затрат на транспортировку;
- высокая прочность и пластичность (материал не раскалывается, не деформируется);
- не подвержен коррозии;
- не требует бетонирования основания;
- не проводит электричество;
- не требует обслуживания в процессе эксплуатации;
- легко поддается окраске;
- легко поддается вторичной переработке как в опору, так и в другие изделия;
- низкая стоимость.

Полученный материал не имеет ограничений в обработке, его можно сверлить, пилить, смачивать, склеивать, фрезеровать, красить.

Вывод. Разработанные элементы опор на основе полиолефинов и нефтешламов сочетают в себе удовлетворительные физико-механические характеристики, обладают высокой антикоррозионной эффективностью, и могут быть рекомендованы к промышленному производству.

Одновременно с изготовлением данных материалов выполняются требования главы государства по эффективной переработке вторичного сырья.

Список литературы

1 Национальная стратегия по обращению с твердыми коммунальными отходами и вторичными материальными ресурсами в Республике Беларусь на период до 2035 года : постановление Совета Министров Республики Беларусь от 28.07.2017 № 567. – Минск, 2017.

2 Функциональные композиционные материалы на основе полиолефинов и жидких отходов нефти / А. А. Поддубный [и др.] // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2019. – № 2 (39). – С. 33–36.

3 Поддубный, А. А. Изготовление элементов дорожных настилов из композиционных материалов на основе полиолефинов и нефтешламов / А. А. Поддубный, О. А. Ермолович, К. В. Ефимчик // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2020. – № 1 (40). – С. 62–63.

УДК 691.32 : 620.193/.199

А. С. ЧУГУНОВА, магистр технических наук, А. А. ВАСИЛЬЕВ, кандидат технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КАРБОНИЗАЦИИ ПО СЕЧЕНИЮ БЕТОНА С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ МОРОЗНОЙ ДЕСТРУКЦИИ

Приведены результаты исследования карбонизации бетона (карбонатной составляющей и степени карбонизации) по сечению бетона класса по прочности на сжатие $C^{12}/_{15}$. Показано, что в условиях воздействия морозной деструкции степень карбонизации бетона в поверхностных слоях значительно повышается (с уменьшением по сечению бетона). Так, после 150 циклов замораживания-оттаивания образцов бетона, степень карбонизации на поверхности бетона (по сравнению с контрольными образцами, хранившимися такое же время в лабораторных условиях) достигает критических значений, свидетельствуя о его полной деградации.

Введение. Основным фактором, оценивающим структурные изменения бетона под воздействием агрессивности эксплуатационной среды и определяющим техническое состояние железобетонных элементов (ЖБЭ) и конструкций (ЖБК), эксплуатирующихся в условиях открытой атмосферы, является карбонизация бетона. Она нейтрализует бетон и способствует возникновению и развитию в нем коррозии стальной арматуры различной степени интенсивности [1–3]. Развиваясь во времени, деградационные процессы в бетоне и арматуре приводят к потере ЖБЭ и ЖБК несущей способности и возникновению аварийной ситуации. Таким образом, от развития процессов карбонизации в бетоне, напрямую зависит изменение технического состояния и, как следствие – долговечность ЖБЭ и ЖБК, эксплуатирующихся в открытой атмосфере.

В условиях открытой атмосферы значительное влияние на долговечность ЖБЭ и ЖБК оказывают повреждения бетона вследствие размораживания. Процессы, проходящие при замораживании бетона на воздухе и оттаивании в воде, систематизированы в зависимости от наиболее распространенных условий замораживания, определяющих механизм разрушающего процесса [4]. При этом выделяются четыре основных вида процессов: быстрое замораживание и оттаивание на воздухе с разрушением бетона вследствие различий в коэффициентах температурного расширения; медленное одностороннее замораживание бетона ограждающей конструкции (при положительной температуре внутреннего помещения) с постепенным продвижением фронта вглубь бетона; быстрое всестороннее замораживание бетона тонкостенных конструкций с образованием льда в поверхностных слоях, что приводит к «закупорке» воды внутри конструкции и при достаточно высокой степени водонасыщения – к разрушению бетона; одностороннее замораживание пористого материала, в котором возможна миграция воды в парообразном состоянии к холодной поверхности и образование линз льда – аналогично процессу пучения грунта.

Механизм воздействия мороза на бетон и морозостойкость бетона изучался различными авторами. Существует множество теорий о механизме воздействия мороза и разрушения, вследствие этого бетона. Однако они носят противоречивый характер [1]. Обобщая разнообразные гипотезы, авторы [5] констатируют, что механизм нарушения структуры бетона, подвергаемого попеременному замораживанию и оттаиванию в насыщенном водой состоянии, чрезвычайно сложен. Он

представляет собой сочетание ряда деструктивных факторов, включая: давление льда при кристаллизации свободной воды; гидродинамику ее перемещения под влиянием градиента тепла и влагосодержания; гидростатическое давление заземленной в тупиковых порах и дефектах структуры жидкости; напряжения, возникающие от разницы температурных деформаций составляющих бетона и цементного камня; усталостные дефекты структуры от многократно повторяющихся знакопеременных деформаций; понижение со временем концентрации растворенных в «поровой» жидкости продуктов гидролиза цемента, как за счет образования нерастворимых гидрокристаллов, так и из-за «подсоса» жидкости развивающимися дефектами структуры в период оттаивания образцов и др.

Понятно, что, разрушая поверхностный слой бетона защитного слоя, размораживание ускоряет воздействие агрессивной среды на глубинные слои бетона. Однако влияние морозной деструкции на ускорение карбонизации бетона оценивают преимущественно только вероятно [6, 7].

Результаты экспериментов и их обсуждение. Для количественной оценки влияния морозной деструкции на карбонизацию бетона исследовали распределение по сечению бетона класса по прочности на сжатие $C^{12}/_{15}$ образцов, находившихся в различных атмосферных условиях, карбонатной составляющей (показателя КС), поскольку именно он характеризует количественное содержание карбонатов в цементно-песчаной фракции бетона и его влияние на изменение показателя pH, являющегося основной количественной характеристикой перерождения цементного камня в карбонаты под воздействием внешней среды, и служащего универсальной характеристикой состояния бетона и его защитных свойств по отношению к стальной арматуре.

Были заформованы по 6 образцов (две серии: № 1 и 2 – по три образца) бетона (кубики сеч. $100 \times 100 \times 100$ мм) класса по прочности на сжатие $C^{12}/_{15}$. Для подбора состава бетона использовался многофакторный метод проф. В. В. Бабицкого. Состав бетона приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Состав бетона класса по прочности на сжатие $C^{12}/_{15}$ серий № 1 и 2

В/Ц	Осадка конуса, см	Состав смеси, кг/м ³			
		Ц	П	Щ	В
0,866	2	237	832	1072	205

Заформованные образцы набирали прочность в камере нормального твердения 28 суток.

Отбор проб и определение карбонатной составляющей по сечению образцов выполняли по [3], в соответствии с разработанным экспресс-анализом определения показателя КС. Сверление осуществляли с двух противоположных граней каждого кубика. Для каждой грани получили кривые l -КС. На рисунке 1 представлена усредненная кривая l -КС₂₈ для образцов серий 1 и 2 (сразу после изготовления).

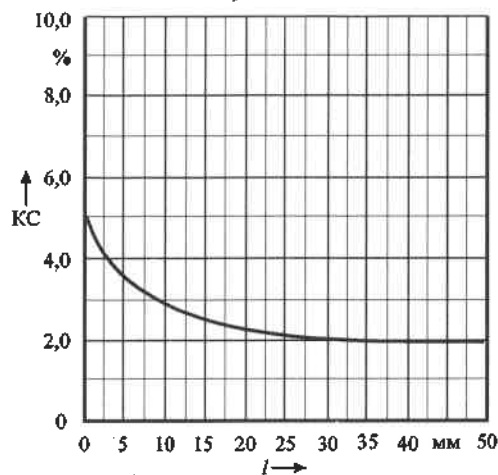


Рисунок 1 – Усредненная экспериментальная зависимость l -КС₂₈ для серий образцов № 1 и 2

Поскольку абсолютные значения карбонизации бетона зависят от количества использованного цемента, а определенный класс бетона по прочности на сжатие можно получить различными составами (причем их значительным количеством), для объективной оценки карбонизации (не зависящей от количества использованного цемента), ее определяли по показателю степени карбонизации (показателю СК, оценивающему процент гидроксида кальция и гидратированных клинкерных материалов, перешедших в карбонаты на разной глубине бетона). Показатель СК рассчитывается из пропорции

$$\begin{aligned} \% \text{КС}_{\max} &= 100 \% \text{СК}_i; \\ \% \text{КС}_i &= X \% \text{СК}_i; \\ X \% \text{СК}_i &= \frac{\% \text{КС}_i \cdot 100}{\% \text{КС}_{\max}}, \end{aligned} \quad (1)$$

где СК_i и КС_i – соответственно, значения степени карбонизации и карбонатной составляющей, %, в рассматриваемом сечении бетона.

Предлагаемый показатель не имеет никакого отношения к общепринятому понятию степени карбонизации, в соответствии с которым степень карбонизации бетона определяется количеством поглощенного бетоном CO_2 воздуха.

На рисунке 2 приведена расчетная кривая l -СК₂₈ для образцов серий 1 и 2.

Для оценки влияния морозной деструкции на карбонизацию образцы бетона разделили на две группы по три штуки. После чего образцы группы 1 подвергли процессу попеременного замораживания в водонасыщенном состоянии, при температуре -18°C , и оттаивания в воде, при температуре $+18^\circ\text{C}$. Время оттаивания в ванне с водой составило не менее 2,5 часов, замораживания в водонасыщенном состоянии – не менее этого же времени.

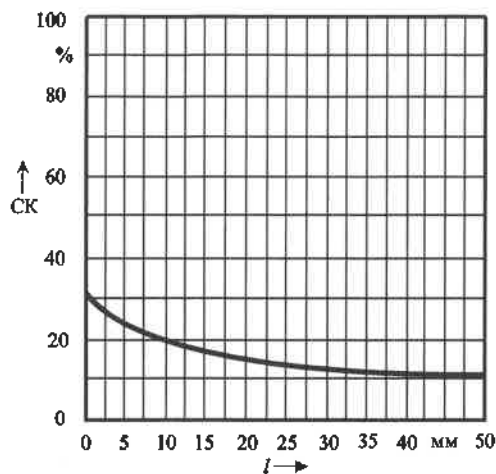


Рисунок 2 – Усредненная экспериментальная зависимость l -СК₂₈ для серий образцов № 1 и 2

Было проведено 150 циклов замораживания-оттаивания. В этот же период образцы серии 2 хранились в условиях лаборатории ($t = 18 \pm 2^\circ\text{C}$; $W = 45 \dots 55\%$). Срок хранения составил, аналогично сроку испытания образцов серии 1, 360 суток.

По окончании эксперимента в образцах серий 1 и 2 были отобраны пробы цементно-песчаной фракции по сечению кубиков (с двух противоположных граней) и определены показатели КС и СК. Усредненные кривые l -КС для образцов серий 1 и 2 представлены на рисунке 3, расчетные l -СК – на рисунке 4.

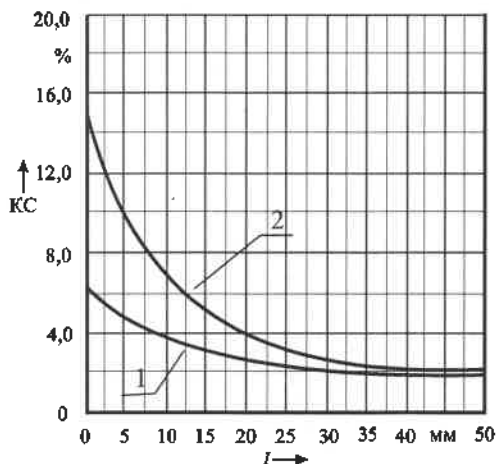


Рисунок 3 – Усредненная экспериментальная зависимость l -КС для серий образцов № 1 и 2:
1 – l -КС₃₆₀ – для образцов серии 1;
2 – l -КС₁₅₀ – для образцов серии 2

На основании выполненных исследований карбонизации по сечению бетонов различных классов по прочности на сжатие и расчетов в [3] предложена усредненная регрессионная зависимость изменения показателя СК во времени по сечению бетона класса по прочности на сжатие $\text{C}^{12}/_{15}$ для условий эксплуатации открытой атмосферы области повышенной карбонизации

$$\text{СК}(l,t) = \frac{2,39 + (0,500 + 0,962\sqrt{t}) e^{\left(14,2 - \left(\frac{t+100}{3,05}\right)^{0,85}\right)}}{19,5\alpha}, \quad (2)$$

где t – срок эксплуатации ЖБЭ (годы); l – сечение бетона, мм; α – степень гидратации цемента.

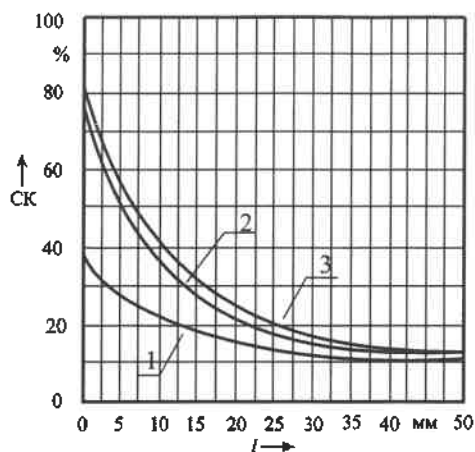


Рисунок 4 – Усредненная экспериментальная зависимость l -СК для серий образцов № 1 и 2:
 1 – I -СК₃₆₀ – для образцов серии 1;
 2 – I -СК₁₅₀ – для образцов серии 2;
 3 – I -СК_{4,5} – для прогнозного значения 4,5 года

Степень гидратации цемента, определяли по методике проф. Бабицкого В. В.

Степень гидратации цемента в возрасте 28 суток твердения, %,

$$\alpha_{28}^{20} = 60X - \sqrt[3]{(1,65X)^2 e^{1,65X}}, \quad (3)$$

где X – относительное водосодержание цементного теста. Для исследуемого бетона принимали $X_{cp} = 1,25$.

Увеличение степени гидратации цемента с течением времени

$$\alpha = \alpha_{28}^{20} [1 + 0,21lg \tau (X - 0,63)(\varphi - 0,6)], \quad (4)$$

где τ – время твердения цементного камня (бетона), мес.; φ – относительная влажность воздуха среды, доли единицы. Для области ускоренной карбонизации эксплуатационной среды открытой атмосферы принимали $\varphi = 0,85$.

Полученные зависимости показывают, что за 150 циклов морозная деструкция значительно увеличивает показатель степени карбонизации в поверхностных слоях и в поверхностном слое показатель СК после циклов замораживания-оттаивания в процентном отношении выше на 85 % (с уменьшением по сечению бетона) по сравнению с бетоном образцов, хранившихся в лабораторных условиях.

С учетом того, что в соответствии с [8] для Гомельской области среднее число перепадов температуры через 0 °С составляет 68, можно принять среднее число циклов замораживания-оттаивания – 34. Таким образом, 150 циклов испытания бетона можно приравнять к четырем с половиной годам эксплуатации бетона в условиях открытой атмосферы, области ускоренной карбонизации.

Для бетона возраста 4,5 года, эксплуатирующегося в условиях открытой атмосферы, зависимость l -СК_{4,5} полу-

чен по выражению (2), в графическом виде представлена на рисунке 4 (кривая 3). Из графической зависимости видно, что кривые 2 и 3 достаточно хорошо коррелируют между собой. Это указывает достаточно хорошую точность прогнозирования карбонизации для бетона класса по прочности на сжатие $C^{12}/_{15}$.

Полученные зависимости позволяют оценить состояние бетона по предложенным в [3] критериям оценки технического состояния железобетонных элементов и конструкций с учетом карбонизации бетона. Так, после 150 циклов замораживания-оттаивания в поверхностном слое бетона СК = 78 %, что соответствует V степени карбонизации бетона (полной деградации бетона). При хранении образцов в лабораторных условиях тот же период времени, в поверхностном слое бетона СК = 38 %, что соответствует III степени карбонизации бетона (деградации бетона средней степени интенсивности).

Проведенные исследования показывают, что морозная деструкция оказывает значительное влияние на скорость карбонизации бетона, изменение его защитных свойств по отношению к стальной арматуре и, как следствие, долговечность железобетонных элементов и конструкций.

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 Textbook on behavior, design and performance, Structural Concrete, December 2009. – Bulletin 53. – 2nd ed. – Fid. 3. – 2010. – Vol. 3. – 381 p.
- 5 Батяновский, Э. И. Морозо- и солестойкость бетона, подверженного механическим нагрузкам / Э. И. Батяновский, А. И. Бондарович // Проблемы современного бетона и железобетона : сб. трудов. – Минск : Стринко, 2007. – Ч. 2. – С. 72–90.
- 6 Бородай, Д. И. Прогноз долговечности типовых железобетонных пролетных строений автодорожных мостов / Д. И. Бородай // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2011. – Вып. 87. – С. 169–176.
- 7 Васильев, А. А. К вопросу оценки влияния морозной деструкции на карбонизацию бетона / А. А. Васильев, А. А. Такунов, А. С. Чугунова // «European Scientific Conference» : сб. статей XV Междунар. науч.-практ. конф. – Пенза : Наука и Просвещение. – 2019. – С. 59–62.
- 8 СНБ 2.04.02–2000. Строительная климатология. – Введ. 2001-07-01. – Минск : М-во архит. и стр-ва Респ. Беларусь, 2001. – 37 с.

Получено 25.09.2020

A. S. Chugunova, A. A. Vasilyev. Study of carbonization variation in concrete cross section taking into account frost degradation effects.

The results of the study of concrete carbonation (carbonate component and carbonization degree) on the cross section of concrete of compression strength class $C^{12}/_{15}$ are provided. It has been shown that under conditions of frost destruction, the degree of concrete carbonation in surface layers increases significantly (with a decrease in the concrete cross-section). So, after 150 cycles of freezing-thawing of concrete samples, the degree of carbonation on the surface of concrete (compared to control samples stored the same time in laboratory conditions) reaches critical values, indicating its complete degradation.

УДК 629.114.2

В. Б. ПОПОВ, кандидат технических наук, Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого, г. Гомель

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЗМОЖНОСТИ АГРЕГАТИРОВАНИЯ КОСИЛКИ-ПЛОЩИЛКИ НАВЕСНОЙ КПН-6-Ф С ТРАКТОРАМИ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ «БЕЛАРУС»

Обоснована возможность навески косилки-площилки навесной фронтальной КПН-6-Ф на колесные тракторы общего назначения «БЕЛАРУС». Анализ процесса подъема косилки-площилки выполнен на основе разработанных функциональных математических моделей. Результаты расчета выходных параметров подъемно-навесного устройства колесных тракторов «БЕЛАРУС», нагруженных КПН-6-Ф, подтверждают возможность и целесообразность агрегатирования.

Введение. Среди кормоуборочной техники, производимой на ОАО «Гомсельмаш», косилка-площилка навесная ротационная двухсекционная КПН-6-Ф (рисунок 1), предназначенная для кошения зеленых сеяных и естественных трав с одновременным площением и укладкой скошенной массы на стерню в два вала на равнинных полях с уклоном до 9° . Она была разработана РКУП «ГСКБ» (Научно-технический центр комбайностроения ОАО «Гомсельмаш») в соответствии с заданием программы Союзного государства «Создание и организация серийного производства комплексов высокопроизводительных сельскохозяйственных машин на базе универсального мобильного энергосредства мощностью 200–450 л. с.».



Рисунок 1 – Косилка-площилка навесная фронтальная КПН-6-Ф, агрегируемая с универсальным энергетическим средством УЭС-2-280А

Обязательство по разработке УЭС-210/280 российской стороной не было выполнено, поэтому в настоящее время КПН-6-Ф обычно агрегируется с серийным универсальным энергосредством УЭС-2-280А (см. рисунок 1). Использование в качестве энергоносителя других мобильных энергетических средств (МЭС), и, в частности, колесных тракторов общего назначения «БЕЛАРУС», позволит навешивать КПН-6-Ф на тракторы, имеющиеся как в отечественных, так и в зарубежных хозяйствах.

Таким образом, актуальной является задача оценки возможности агрегатирования тракторов «БЕЛАРУС» и КПН-6-Ф в режиме её перевода из рабочего в транспортное положение по результатам вычислительного эксперимента.

Анализ возможности агрегатирования косилки-площилки навесной КПН-6-Ф с тракторами общего назначения «БЕЛАРУС».

Необходимым и достаточным условиями агрегатирования трактора и навесной машины (НМ-КПН-6-Ф) является выполнение совокупности требований:

– по расчетной минимальной грузоподъемности ПНУ трактора, определенной для заданных веса и коор-

динат центра тяжести НМ. При этом грузоподъемность ПНУ должна превышать вес НМ:

– по обеспечению управляемости машинно-тракторного агрегата [1];

– по выполнению компоновочных ограничений для транспортного положения НМ [2] и обзорности рабочих органов НМ с рабочего места тракториста.

Для подтверждения энергетической обеспеченности подъема КПН-6-Ф в транспортное положение были выполнены проверочные расчеты на базе разработанных функциональных математических моделей (ФММ) [3, 4] и выполнен анализ выходных параметров нагруженного ПНУ, а также его компонента – механизма навески, представленного плоским аналогом (рисунок 2).

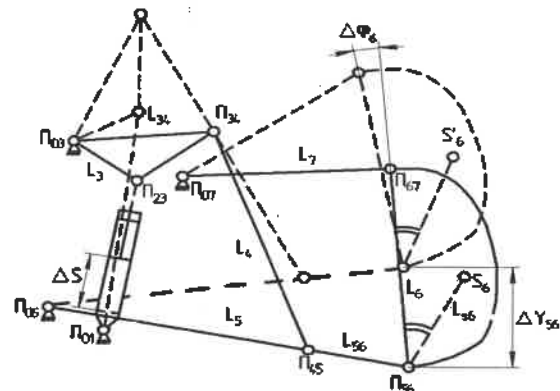


Рисунок 2 – Кинематическая цепь, состоящая из плоского аналога механизма навески (в рабочем и транспортном положениях) ПНУ трактора «БЕЛАРУС» и аналога КПН-6-Ф – L_6 .

Первый в линейке тракторов общего назначения колесный трактор «БЕЛАРУС-2022» оборудован подъемно-навесным устройством (ПНУ) с паспортной грузоподъемностью на оси подвеса механизма навески – $G_m = 65$ кН [5]. Казалось бы, заявленная паспортная грузоподъемность ПНУ, почти в два раза превышающая вес КПН-6-Ф (33 кН), достаточна для подъема косилки и её перевода в транспортное положение. Однако для положительного заключения о возможности агрегатирования КПН-6-Ф с трактором «БЕЛАРУС-2022» этой информации недостаточно: требуется знание КПД ПНУ и координат центра тяжести косилки. Был выполнен вычислительный эксперимент, показавший, что для серийного ПНУ запас по грузоподъемности близок к минимуму – 5 % [6], а в плане компоновки транспортное положение КПН-6-Ф реализуется неудовлетворительно, так как завал стойки составляет больше 29° [2, 4].

Результаты вычислительных экспериментов

Результаты расчета основных геометрических, кинематических и силовых параметров ПНУ трактора «БЕЛАРУС-2422» при переводе КПН-6-Ф в транспортное положение представлены в таблице 1 и на рисунке 3. Энергетический аспект возможности агрегатирования с КПН-6-Ф ($P_6 = 33$ кВт) был просчитан на ФММ. При этом запас грузоподъемности составил

$\Delta G_S = 30,0$ % (рисунок 3), а максимум угла наклона стойки $\Delta\varphi_6 = 11,7^\circ$, что удовлетворяет требованиям стандарта [2]. Аналогичные расчеты выходных параметров были выполнены для ПНУ трактора «БЕЛАРУС-3022» (см. таблицу 1). Запас грузоподъемности составил $\Delta G_S = 106,0$ % (рисунок 4), а угол наклона стойки $\Delta\varphi_6 = 12,9^\circ$, что вполне удовлетворяет требованиям стандарта [2].

Таблица 1 – Выходные параметры ПНУ тракторов «БЕЛАРУС» при подъеме КПН-6-Ф ($P_6 = 33$ кВт)

S [м]	Y_{56} [м]	φ_6 [град]	φ_3' [1/м]	U_{63} [-]**	I_m [-]	I_{56} [-]	F [кН]	$p_{гн}$ [МПа]
«БЕЛАРУС-2422»								
0,440	*	–	–	–	–	–	–	–
0,465	0,597	90,070	4,546	0,211	3,518	4,725	155,94	12,893
0,490	0,678	91,164	4,403	0,258	3,417	4,843	159,85	13,214
0,515	0,749	91,935	5,352	0,309	3,327	5,008	165,26	13,665
0,540	0,834	92,035	5,357	0,366	3,239	5,217	172,12	14,236
0,565	0,891	93,529	5,410	0,430	3,146	5,469	180,46	14,921
0,590	0,959	94,492	4,511	0,499	3,041	5,756	189,98	15,705
0,615	1,021	95,013	5,665	0,573	2,917	6,064	200,11	16,546
0,640	1,089	97,182	5,882	0,646	2,770	6,358	209,88	17,351
0,665	1,153	99,073	6,183	0,709	2,587	6,583	216,89	17,936
0,690	1,206	101,708	6,706	0,746	2,364	6,599	217,81	18,006
«БЕЛАРУС-3022»								
0,490	*	–	–	–	–	–	–	–
0,465	0,578	90,039	4,526	0,039	2,750	2,944	97,16	9,239
0,490	0,646	90,381	4,403	0,068	2,682	3,013	99,44	9,455
0,515	0,712	90,908	4,352	0,101	2,622	3,102	102,43	9,735
0,540	0,777	91,642	4,357	0,136	2,564	3,211	106,01	10,077
0,565	0,840	92,613	4,410	0,174	2,503	3,343	110,32	10,489
0,590	0,902	93,862	4,511	0,217	2,434	3,500	115,50	10,984
0,615	0,962	95,443	4,665	0,265	2,354	3,688	121,73	11,574
0,640	1,019	97,423	4,882	0,315	2,261	3,910	129,01	12,270
0,665	1,075	99,883	5,183	0,368	2,150	4,164	137,42	13,068
0,740	1,127	102,909	5,606	0,416	2,018	4,439	146,51	13,928

* Подсоединение КПН-6-Ф выполняется, когда высота оси подвеса МН (Y_{56}) составляет 0,55 м.

** Безразмерная величина.

Примечание – S – обобщенная координата, отражающая ход поршня гидроцилиндра (ΔS); Y_{56} – вертикальная координата оси подвеса (Π_{56}); φ_6 – угол наклона звена L_6 ; φ_3' – аналог угловой скорости поворотного рычага (L_3, L_{34}); I_m, I_{56} – передаточные числа МН на оси подвеса и в центре тяжести НМ; U_{63} – передаточное отношение угловых скоростей звеньев (L_6, L_3); F – приведенная к гидроцилиндру полезная нагрузка; $p_{гн}$ – давление в гидроцилиндре.

Таким образом, по результатам расчетов, выполненных при помощи ФММ, можно заключить, что агрегатирование косилки КПН-6-Ф с тракторами «БЕЛАРУС-2422» и «БЕЛАРУС-3022» как в энергетическом аспекте, так и со стороны расположения косилки в транспортном положении обеспечивается полностью. Характеристики ПНУ трактора «БЕЛАРУС-2822» условно можно рассматривать как средние от характеристик ПНУ тракторов «БЕЛАРУС-2422» и «БЕЛАРУС-3022» ($G_m = 81 \approx 0,5(100-65)$). Например, паспортная грузопод-

ъемность ПНУ «БЕЛАРУС-2822» на оси подвеса равна 81 кН [5], что составляет приблизительно половину от суммы грузоподъемностей ПНУ «БЕЛАРУС-2422» и «БЕЛАРУС-3022». Поэтому обеспечение необходимого запаса по грузоподъемности ПНУ «БЕЛАРУС-2822» реально достижимо. Что же касается ограничений по наклону стойки [2] в транспортном положении КПН-6-Ф, то при необходимости его можно обеспечить, выполнив процедуру параметрической оптимизации [7] МН ПНУ «БЕЛАРУС-2822».

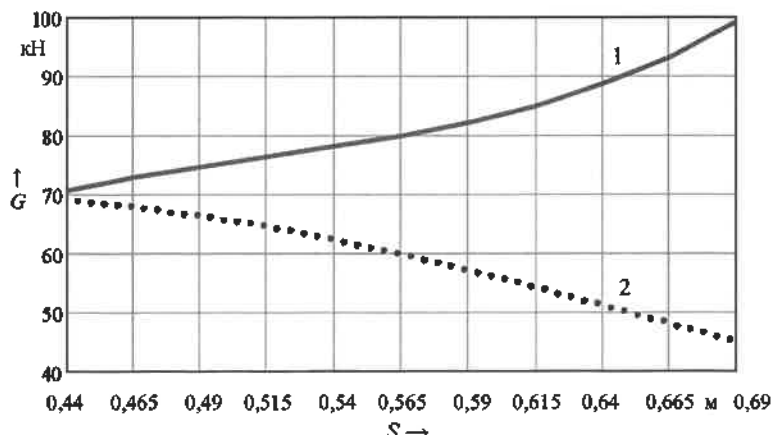


Рисунок 3 – Грузоподъемность ПНУ «БЕЛАРУС-2422» на оси подвеса механизма навески (1) и в центре тяжести КПН-6-Ф (2) в процессе её подъема ($G_m = 70,5$ кН, $G_S = 42,8$ кН, $\Delta G_S = 0,30P_6$)

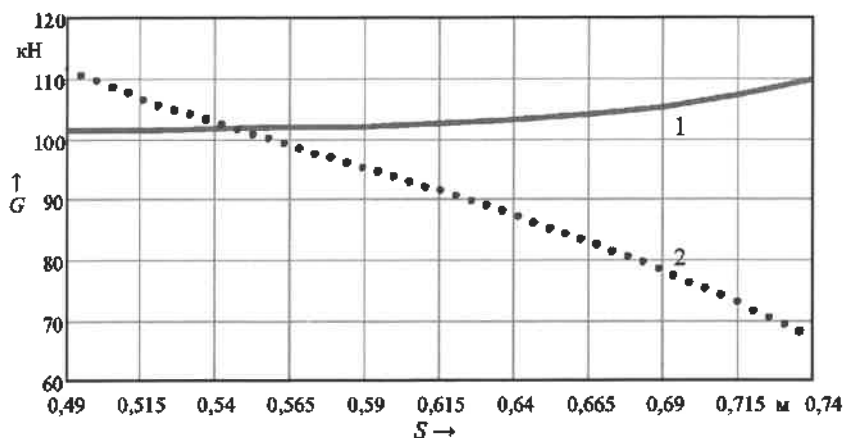


Рисунок 4 – Грузоподъемность ПНУ «БЕЛАРУС-3022» на оси подвеса механизма навески (1) и в центре тяжести КПН-6-Ф (2) в процессе её подъема ($G_m = 101,8$ кН, $G_S = 68,0$ кН, $\Delta G_S = 1,06P_6$)

Обеспечение управляемости машинно-тракторного агрегата. Для устойчивого управления движением МТА во время транспортного переезда часть его веса, приходящаяся на мост управляемых колес трактора, должна составлять не менее 20 % от его общего веса [1].

Для расчёта управляемости МЭС (рисунок 5) было составлено уравнение равновесия моментов сил, действующих на компоненты МТА относительно точки опоры ведущих колес

$$\sum M_B = P_{тр}(a+L) + P_{МЭС}b - P_6 X_{S6} - R_A L = 0,$$

где $P_{тр}$ – вес балласта, $P_{МЭС}$ – вес МЭС, P_6 – вес НМ, R_A – нагрузка, приходящаяся на мост управляемых колес, X_{S6} – горизонтальная координата центра тяжести КПН-6-Ф в транспортном положении.

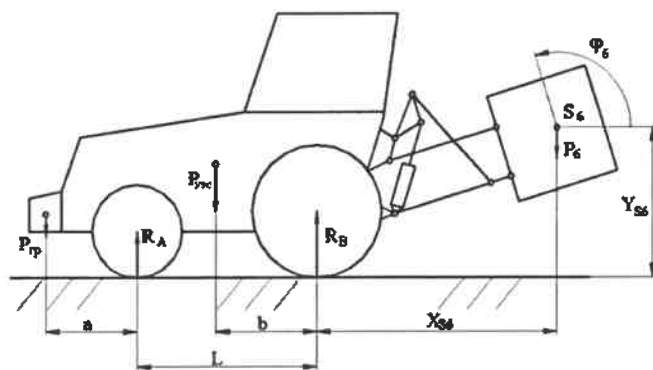


Рисунок 5 – Схема сил, действующих на МТА с КПН-6-Ф в транспортном положении:

L – база МЭС, a и b – расстояния от вертикальной проекции центра тяжести МЭС до вертикальных проекций центра тяжести балласта и оси моста ведущих колес соответственно

Разрешив уравнение моментов сил относительно реакции на управляемом колесе – R_A , получим

$$R_A = \frac{P_{тр}(a+L) + P_{МЭС}b - P_6 X_{S6}}{L}.$$

Результаты расчетов по распределению веса МЭС и МТА на ведущие и управляемые колеса МЭС представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Развесовка МЭС и МТА по управляемому и ведущему мостам

В процентах

МТА	КПН-6-Ф			
	МЭС		МЭС+КПН-6-Ф в транспортном положении	
МЭС	R_A	R_B	R'_A	R'_B
«БЕЛАРУС-3022»	46,43	53,57	23,8* 28,03	76,2* 71,97
«БЕЛАРУС-2422»	47,94	52,06	21,05	78,91

* Развесовка без балласта:
МТА с «БЕЛАРУС-3022»: $P_{тр} = 13,5$ кН, $P_{МЭС} = 115$ кН;
МТА с «БЕЛАРУС-2422»: $P_{тр} = 8,1$ кН, $P_{МЭС} = 87$ кН.

Во всех вариантах на управляемые колеса МТА с НМ (КПН-6-Ф) в транспортном положении приходится более 20 % от его общего веса (см. таблицу 2), поэтому требования по управляемости МЭС удовлетворяются.

Заключение

В энергетическом аспекте агрегатирование тракторов «БЕЛАРУС» с КПН-6-Ф посредством ПНУ вполне осуществимо. Требования по управляемости МТА при переводе КПН-6-Ф в транспортное положение также удовлетворяются. В случае с трактором «БЕЛАРУС-2022» увеличение запаса грузоподъемности и уменьшение наклона стойки в транспортном положении навесной косилки-плющилки КПН-6-Ф возможно обеспечить путем оптимизации параметров МН ПНУ по аналогии с тем, как это представлено в статье [6]. Характеристики ПНУ тракторов «БЕЛАРУС-1523», «БЕЛАРУС-1822» [5] уступают аналогичным характеристикам трактора «БЕЛАРУС-2022», поэтому последние не могут агрегатироваться с навесной косилкой-плющилкой КПН-6-Ф.

Заключение об эффективной обзорности рабочих органов навесной косилки-плющилки КПН-6-Ф с рабочего места тракториста можно будет сделать после дополнительных исследований.

В целом проведенная работа теоретически обосновывает обеспечение возможности агрегатирования КПН-6-Ф с тракторами общего назначения «БЕЛАРУС», а при необходимости и соответствующей настройки параметров ПНУ этих колесных тракторов, что способствует распространению КПН-6-Ф как в нашей стране, так и за рубежом.

Список литературы

1 ГОСТ 12.2.111–85. Система стандартов безопасности труда. Машины сельскохозяйственные навесные и прицепные. Общие требования безопасности (Межгосударственный стандарт). – Минск, 2006. – С. 10.

2 ГОСТ 10677–2001. Устройство навесное заднее сельскохозяйственных тракторов классов 0,6–8. Типы, основные параметры и размеры (Межгосударственный стандарт). – Минск, 2002. – С. 8.

3 Попов, В. Б. Функциональная математическая модель анализа подъемно-навесных устройств мобильных энергетических средств / В. Б. Попов // *Механика–2011* : сб. науч. тр. V Белорус. конгр. по теорет. и прикладной механике, Минск, 2011 г. / Объед. ин-т машиностроения НАН Беларуси ; редкол.: М. С. Высоцкий [и др.]. – Минск, 2011. – Т. 1. – С. 169–176.

4 Попов, В. Б. Расчет грузоподъемности подъемно-навесного устройства универсального энергетического средства третьего поколения / В. Б. Попов // *Вестник ГГТУ им. П. О. Сухого*. – 2012. – № 3. – С. 43–48.

5 Тракторы «БЕЛАРУС» / ПО «Минский тракторный завод». – 2013. – 138 с.

6 Попов, В. Б. Анализ возможности агрегатирования ко-силки-плющилки навесной КРН-6-Ф с трактором «Беларус-2022» / В. Б. Попов, А. В. Голопятин // *Вестник ГГТУ им. П. О. Сухого*. – 2013. – № 3. – С. 19–24.

7 Попов, В. Б. Параметрическая оптимизация подъемно-навесного устройства универсального энергетического средства УЭС 290/450 «Полесье», агрегатируемого с навесным кормоуборочным комбайном КНК-500 / В. Б. Попов // *Вестник ГГТУ им. П. О. Сухого*. – 2013. – № 1. – С. 35–43.

Получено 21.05.2020

V. Popov. Results of the study of the possibility of aggregating the mounted mower-conditioner KPN-6-F with general purpose tractors "BELARUS".

The possibility of hitching a front mounted mower conditioner KPN-6-F to wheeled tractors of general purpose "BELARUS" has been substantiated. The analysis of the process of lifting the mower-conditioner is based on the developed functional mathematical models. The results of calculating the output parameters of the lifting-hinged device of the wheeled tractors "BELARUS" loaded with KPN-6-F confirm the possibility and expediency of aggregation.

ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

УДК 656.0.224.072

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УРОВНЯ КАЧЕСТВА ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК НА ИНВЕСТИЦИОННУЮ ПОЛИТИКУ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

Приведены результаты исследований изменения уровня качества при использовании различных методов оценочных расчетов. Дана оценка влияния основных параметров качества железнодорожных пассажирских перевозок на интегральный оценочный показатель. Рассматриваются результаты исследований данной проблемы учеными различных стран и использования опыта её решения в Республике Беларусь. Оцениваются возможности повышения уровня качества пассажирских перевозок в зависимости от значений структурных элементов и его влияния на инвестиционную политику железной дороги в области пассажирских перевозок.

Качество пассажирских перевозок на любом виде транспорта играет важную роль по условиям конкуренции, привлекательности оказываемых услуг для пассажиров, получаемой валовой добавленной стоимости, привлечения инвестиций в пассажирское хозяйство. Качество транспортной услуги – характеристика предлагаемой железной дорогой пассажирам услуги, обусловленной ее назначением, которая включает определенный комплекс свойств и характеристик, уровень которых формируется ГП «Белорусская железная дорога» с целью удовлетворения обязательных, обусловленных или ожидаемых требований внутреннего или внешнего потребителя её услуг. На железной дороге к качеству относятся характеристика транспортной услуги, определенная одним интегральным или несколькими разрозненными показателями [5, 10].

Показатели качества транспортных услуг для пассажиров включают: скорость, время и надежность доставки пассажира точно в срок, степень безопасности перевозки, тарифную стоимость, наличие большого количества сопутствующих услуг и т. д. При этом *основная услуга* в транспортном обслуживании – перемещение пассажиров из пункта отправления в пункт назначения. При перевозке пассажиров наряду с основной услугой пассажиру предоставляются сопутствующие услуги, которые необходимы для того, чтобы наилучшим образом использовать основную услугу. Как правило, сопутствующие услуги не существуют отдельно от основной её составляющей. К ним относятся:

а) продажа проездных билетов, доставка их потребителю по месту требования, информационные услуги, доставка пассажира или багажа от места проживания до вокзала или станции отправления;

б) услуги в пути следования: предоставление постельного белья, его заправка, обеспечение питанием, напитками, кондиционирование и отопление вагона, туалетные принадлежности и др.

Пассажирам в пути следования также предоставляются дополнительные услуги, придающие основной услуге дополнительную выгоду и помогающие отличить данную услугу от другой, конкурирующей с ней. Так при перевозке пассажиров это телекоммуникационные услуги, обеспечение пассажиров свежей прессой и журналами, предметами личной гигиены, персональным сейфом, охраной, услуги вагона-бара.

Дополнительные услуги относятся к группе сервисных услуг, которым присуща следующая специфика:

– в сфере сервиса используется большая доля ручного труда, качество которого зависит от квалификации персонала;

– исполнитель услуги не является собственником ее результата, а сами услуги не сохраняемы и их нельзя накапливать;

– процесс предоставления и потребления транспортной услуги является одновременным, часто в период перевозки пассажира;

– услуга предоставляет собой сочетание процесса ее оказания и результата;

– объект предоставления транспортной услуги (потребитель) часто является участником процесса ее оказания (проводники вагонов, работники вокзалов и др.).

Качество пассажирских перевозок во многом зависит от вида сообщения и класса обслуживания пассажиров [11]. На Белорусской железной дороге используются:

а) виды пассажирских сообщений: международное, межрегиональное, региональное, городское;

б) класс обслуживания: бизнес, эконом. На международных линиях используются вагоны СВ, приравняемые к VIP обслуживанию.

Качество пассажирских перевозок оценивается условиями стандарта. С учетом того, что показатель качества оценивается на многокритериальной основе, то большинство железнодорожных администраций использует интегральный показатель, который оценивает уровень качества пассажирских перевозок и степень влияния факторов, определяющих объемы перевозок.

Качество пассажирских перевозок условно можно разделить на несколько уровней:

а) требуемый уровень сервиса обслуживания пассажиров, который определяется как сумма численности благоприятных критериев качества;

б) целевой показатель качества пассажирской перевозки – оценочный индекс качества, к которому стремится производитель пассажирских транспортных услуг;

в) фактический индекс качества предоставляемых услуг при пассажирской перевозке – фактически достигнутый уровень качества пассажирских перевозок производителем транспортных услуг за учетный период. Состоит из двух элементов: 1) предлагаемое качество обслуживания оценивается пассажиром (ответ-

ность отсутствует и используются наблюдательные методы); 2) количество отказов в предоставлении услуги (данные имеются в системе Экспресс-3 на железнодорожном транспорте);

г) воспринимаемое пассажиром качество обслуживания – это тот уровень качества, который зависит от личного опыта пассажиров в отношении транспортных услуг или дополнительных услуг и информации об обслуживании.

Критерий качества отражает мнение клиента и возможности производителя о предоставляемой услуге. В международной практике этот критерий разделен на следующие категории [5]:

а) вид транспорта, его взаимодействие с другими видами, объем предоставляемых услуг, их география, время, частота;

б) доступность – доступ пользователей к системе пассажирского транспорта по критерию удаленности, тарифов, периода года и суток;

в) наличие информации – систематическое предоставление необходимой пользователям данных о системе пассажирского транспорта с целью планирования и осуществления поездок;

г) качество обслуживания пользователей транспортных услуг – элементы обслуживания, введенные для обеспечения максимально возможного соответствия стандартов обслуживания требованиям каждого отдельного пассажира;

д) комфорт – элементы сервиса в пути следования пассажира, введенные с целью сделать пребывание в пассажирском транспорте приятным;

е) безопасность – чувство личной безопасности, испытываемое пассажирами, основанное на фактически принятых мерах и действиях перевозчика, направленных на то, чтобы пассажиры были уведомлены об этих мерах;

ж) экологические воздеятельные пассажирского транспорта на окружающую среду;

з) энергопотребление при выполнении пассажирских перевозок.

Использование отдельно всех показателей качества пассажирских перевозок становилось трудоёмким процессом с односторонним выделением положительных и негативных значений их элементов. Для всеобъемлющей оценки уровня качества железнодорожных пассажирских перевозок был введен интегральный целевой показатель, оценивающий качество выполнения пассажирских перевозок. Он не противоречил международному стандарту менеджмента качества выполняемых работ и услуг организациями и предприятиями по достижению устойчивого результата их деятельности в конкретной области (ISO 9000). Основная задача данного стандарта качества услуг на пассажирском транспорте – это установление единого уровня предоставляемых услуг в соответствии с потребностями пассажиров и возможностями транспортных организаций. При разработке интегрального показателя качества пассажирских перевозок использованы стандарты, входящие в эту серию [4, 7]:

– ISO 9000. Словарь терминов о системе менеджмента, свод принципов менеджмента качества. Текущая версия – «ISO 9000:2015. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь»;

– ISO 9001. Содержит набор требований к системам менеджмента качества. Текущая версия – «ISO 9001:2015 Системы менеджмента качества. Требования»;

– ISO 9004. Содержит руководство по достижению устойчивого успеха любой организацией в сложной, требовательной и постоянно изменяющейся среде путём использования подхода с позиции менеджмента качества. Текущая версия – «ISO 9004:2018 Менеджмент для достижения устойчивого успеха организации. Подход на основе менеджмента качества» – определяет комфортность (уровень удобства пользования услугами по перевозке, отсутствие физиологического и психологического дискомфорта в процессе потребления транспортной услуги);

– ISO 10001. Менеджмент качества. Удовлетворенность потребителей транспортных услуг. Руководство, касающееся кодексов поведения организации по отношению к потребителям транспортных услуг.

В целях изучения восприятия пассажирами качества транспортных услуг по их стоимости для железной дороги необходимо иметь постоянный процесс его оценки. Проведение оценки качества пассажирских перевозок по всем предлагаемым показателям является сложным и трудоёмким процессом. Такая оценка может быть определена единым интегральным показателем с использованием процессного подхода с целью постоянного улучшения качества. Интегральный показатель наиболее полно оценивает конкурентоспособность пассажирских перевозок. Это минимальный уровень, который даёт возможность вхождения в рынок пассажирских перевозок по отношению к другим видам транспорта и другим администрациям железнодорожного транспорта, работающим на Белорусской железной дороге [6].

Интегральный целевой показатель качества при выполнении пассажирских перевозок железнодорожным транспортом объединяет комплексные измерители: объём перевозок (пассажирооборот), доходы, расходы, скорости движения поездов различного класса обслуживания и сообщения, уровень энергопотребления, состояние транспортных средств (степень износа пассажирских вагонов, мотор-вагонных поездов). Целевой показатель рассчитывается на основании установленных данных ведомственной отчетности, которые объединяются общим комплексным измерителем [8]. Все комплексные измерители по каждому виду класса обслуживания пассажиров и видам сообщения объединяются в интегральную зависимость по двум критериям: 1) суммарному пассажирообороту, выполненному на Белорусской железной дороге; 2) по валовой добавленной стоимости от пассажирских перевозок, т. е.

$$C_{\text{инт}}^{\text{пс}} = \iint f K_j^{\text{пс}} d(AI) d(\varphi), \quad (1)$$

где $K_j^{\text{пс}}$ – комплексный измеритель оценки качества пассажирских перевозок, выполняемых на уровне вида сообщения по j -му классу обслуживания пассажиров; AI – пассажирооборот, выполняемый Белорусской железной дорогой суммарно по всем видам сообщения и классу обслуживания; φ – валовая добавленная стоимость, полученная Белорусской железной дорогой от выполнения пассажирских перевозок.

Комплексный измеритель оценки качества пассажирских перевозок, выполняемых на уровне вида сообщения рассматривается по бизнес- и эконом-классу обслуживания пассажиров с учетом уровня доходности, расходов, скорости движения поездов, энергопотребления, состоя-

ния транспортных средств. Таким образом этот измеритель рассчитывается на основании используемой ведомственной отчетности железной дороги для вида сообщения и класса обслуживания пассажиров

$$K_j^{nc} = \sqrt{\prod \left(\frac{\rho_j^\phi}{\rho_j^{баз}} \sqrt{\rho_j^\phi} \right)}, \quad (2)$$

где ρ_j^ϕ , $\rho_j^{баз}$ – уровень изменения оценочного показателя качества пассажирских перевозок за рассматриваемый и базовый период; ρ_j^ϕ – уровень изменения финансирования использования цифровых и информационных технологий при выполнении пассажирских перевозок.

Для вида сообщения и класса обслуживания пассажиров комплексный измеритель оценки качества пассажирских перевозок рассчитывается следующим образом (на примере бизнес-класса обслуживания [2]):

$$K_j^{б-кл} = \sqrt{\delta_j^{б-кл} \varphi_j^{б-кл} \beta_j^{б-кл} \omega_j^{б-кл} \varepsilon_j^{б-кл} \gamma_j^{б-кл} \eta_j^{б-кл} \cdot \sqrt{\lambda_j^{б-кл}}}, \quad (3)$$

где $\delta_j^{б-кл}$ – индекс изменения доходов от выполнения пассажирских перевозок в бизнес-классе за отчетный и базовый периоды в межрегиональном и региональном сообщении, $\delta_j^{б-кл} = D_j^{б-кл} / D_j^{б-кл}$; $\varphi_j^{б-кл}$ – индекс изменения расходов на выполнение пассажирских перевозок в бизнес-классе за отчетный и базовый периоды в межрегиональном и региональном сообщении, $\varphi_j^{б-кл} = E_j^{б-кл} / E_j^{б-кл}$; $\omega_j^{б-кл}$ – индекс изменения скорости движения поездов бизнес-класса в межрегиональном и региональном сообщении за отчетный и базовый периоды, $\omega_j^{б-кл} = v_j^{б-кл} / v_j^{б-кл}$; $\varepsilon_j^{б-кл}$ – индекс изменения затрат электроэнергии на тягу поездов бизнес-класса за отчетный и базовый периоды, $\varepsilon_j^{б-кл} = E_j^{б-кл} / v_j^{б-кл}$; $\gamma_j^{б-кл}$ – индекс изменения затрат топлива на тягу поездов бизнес-класса за отчетный и базовый периоды, $\gamma_j^{б-кл} = G_j^{б-кл} / G_j^{б-кл}$; $\eta_j^{б-кл}$ – индекс изменения затрат топлива на тягу поездов бизнес-класса за отчетный и базовый периоды, $\eta_j^{б-кл} = F_j^{б-кл} / F_j^{б-кл}$.

Комплексный измеритель оценки качества пассажирских перевозок, выполняемых на Белорусской железной дороге на уровне класса обслуживания и вида сообщения:

а) бизнес-класс в межрегиональном и региональном сообщении

$$K_{мр-р}^{б-кл} = \sqrt{1,10 \cdot 1,32 \cdot 1,13 \cdot 1,04 \cdot 0,99 \cdot 0,92 \cdot 0,96 \cdot \sqrt{1,44}} = 1,395;$$

б) в международном сообщении

$$K_{мр-р}^{инт} = \sqrt{1,01 \cdot 0,87 \cdot 0,99 \cdot 1,30 \cdot 1,31 \cdot 0,97 \sqrt{1,15}} = 1,257;$$

в) эконом-класс в межрегиональном, региональном и городском сообщении

$$K_{мр-р}^{э-кл} = \sqrt{1,06 \cdot 1,13 \cdot 1,01 \cdot 1,0 \cdot 0,97 \cdot 0,95 \cdot 1,04 \sqrt{0,77}} = 1,005.$$

В мировой практике принято использовать комплексный измеритель оценки качества железнодорожных пассажирских перевозок. По железнодорожным администрациям величина этого измерителя существенно изменяется (рисунок 1).

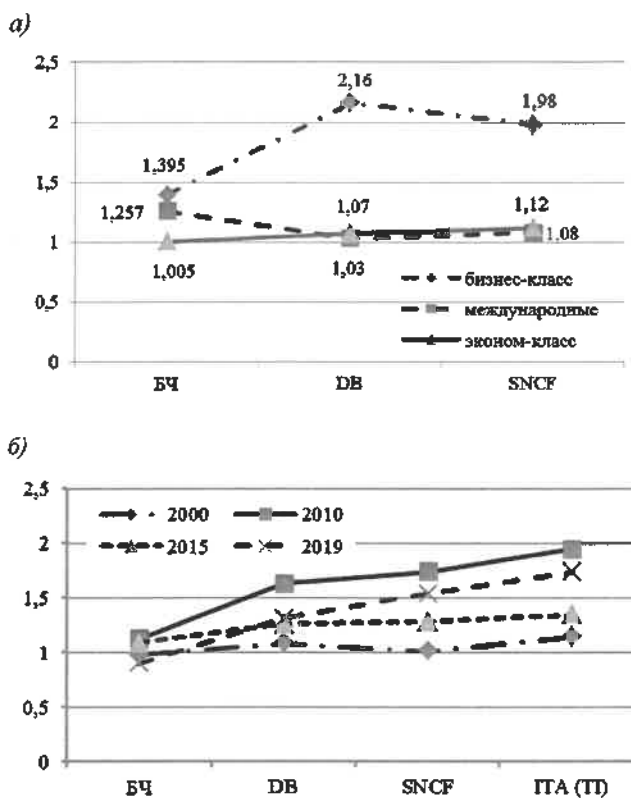


Рисунок 1 – Значения комплексного (а) и интегрального (б) измерителей оценки качества пассажирских перевозок

Из приведенного рисунка видно, что если рассматривать по объему перевозок пассажиров в бизнес-классе, то лучшая ситуация у DB [1]. Это связано с тем, что у DB все перевозки пассажиров межрегиональным сообщением (*InterCity*) относятся к бизнес-классу, а в региональном – используется сообщение (*Regon-R*). Городское сообщение относится к классу бюджетной перевозки, которая исключается из показателя качества железнодорожной перевозки и включена в состав качественных показателей городского сообщения в совокупности с другими видами городского транспорта. С учетом того, что в большинстве стран железнодорожное международное сообщение используется ограничено для туристических поездов, а SNCF – только в системе Eurostar (сообщение Лондон – Париж и Лиль, Брюссель), для которой создано отдельное приложение стандарта качества. Для железных дорог DB и SNCF принята государственная стратегия, исключающая межрегиональные перевозки пассажиров другими видами транспорта и предполагающая государственную поддержку этого вида перевозок.

Итоговый расчет интегрального показателя производится таким образом:

– выполняется расчет интегральной функции по критерию пассажирооборота:

$$C_{п-о}^{nc} = \int f(K_{б-кл}, K_{мжд}, K_{э-кл}) d(AI), \quad (4)$$

– выполняется итоговый расчет интегральной функции по критерию валовой добавленной стоимости от пассажирских перевозок:

$$C_{ин}^{nc} = \int f(K_{б-кл}, K_{мжд}, K_{э-кл}, C_{п-о}^{nc}) d(\varphi). \quad (5)$$

Для железнодорожной администрации составляется подинтегральная функция по критерию пассажирооборота (применение формулы (4):

$$Y(AI) = -0,0844x^2 + 0,1706x + 1,253, \quad (6)$$

при этом $Y(AI) = 1,339$.

$$\text{Тогда } Y(\varphi) = 0,1041x^2 - 0,5459x + 1,8186. \quad (7)$$

Интегральная функция для Белорусской железной дороги примет вид

$$C_{ин}^{nc} = \int f(0,1041x^2 - 0,5459x + 1,8186) d(\varphi). \quad (8)$$

Интегральный показатель качества пассажирских перевозок для железнодорожных различных администраций может существенно различаться (рисунок 1, б).

Из приведенных на рисунке 1, б диаграмм видно следующее:

- наиболее активный рост интегрального измерителя за 20 лет наблюдается на железных дорогах Италии;
- администрация DB занимает второе место.

Рассматривается темп роста индекса качества пассажирских перевозок на отмеченных дорогах (рисунок 2).

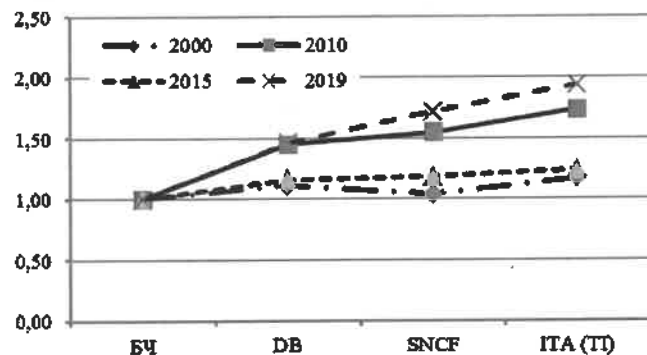


Рисунок 2 – Динамика темпа роста индекса качества пассажирских перевозок

Из приведенных на рисунке 2 диаграмм видно, что наибольший темп роста индекса качества пассажирских перевозок отмечается на DB и IT. Это связано с активным развитием высокоскоростного пассажирского движения в межрегиональном и региональном сообщении в этих государствах.

Наибольшее влияние на изменение индекса качества пассажирских перевозок в Италии связано с организацией нескольких операторов пассажирских перевозок, которые отвечают за выполнение стандарта качества. В результате в стране введен единый и обязательный для выполнения всеми операторами стандарт качества [12].

Это привело к резкому скачку в повышении качества пассажирских перевозок, максимально приблизило их к бизнес-классу обслуживания пассажиров. Опыт железных дорог Италии является полезным в том, что при наличии высокого уровня закредитованности страны (свыше 300 млрд евро) проводятся значительные инвестиции в пассажирские перевозки, которые не всегда являются окупаемыми. Это позволило на 1000 км железнодорожной инфраструктуры Италии ежегодно вкладыв

ать 268 млн евро государственных инвестиций, находясь по этому показателю на первом месте в Европе.

Результативность таких вложений в следующем:

- оператор *Nuovo Trasporto Viaggiatori (NTV)* с государственными инвестициями приобрел 25 высокоскоростных поездов AGV у французского производителя *Alstom*;

- максимальная скорость высокоскоростных поездов в Италии составляет 300 км/ч при технической возможности до 360 км/ч;

- разработаны поезда высокоскоростного экспресса категории «Красная Стрела» (*Frecciarossa*), которые используются только на новых высокоскоростных линиях;

- поезда, составленные из вагонов более ранней конструкции категории «Серебряная стрела», (*Frecciargento*) используются как на специализированных высокоскоростных, так и на обычных линиях (совмещенная система), достигают скорости 250 км/ч;

Инвестиции, вложенные в международные и ночные внутригосударственные поезда на уровне категории *EuroNight*, работающие по единому стандарту качества, позволили поднять уровень качества на международных линиях и расширить сеть международных перевозок:

- 1) внутри страны соединить города с большим ночным пассажиропотоком – Рим с Триестом, Больцано, Леччо, Реджо-ди-Калабрия, Палермо, Сиракузами;
- 2) международные линии для связи с Парижем, Мюнхеном, Цюрихом, Венной, Москвой.

Следует также отметить, что на качество пассажирских перевозок оказывают влияние также косвенные факторы:

- геополитические изменения в регионе транспортного обслуживания;

- платежеспособность граждан и уровень инфляции в Республике Беларусь;

- изменение сервиса и качества выполнения пассажирских перевозок [3];

- степень развития и использования IT-технологий при обслуживании пассажиров [9];

- индекс изменения тарифной политики Белорусской железной дороги и государства;

- сезонность перевозок пассажиров.

Влияние косвенных факторов на величину индекса качества пассажирских перевозок имеет математическую зависимость, которая позволяет вводить корректировочные поправки. При этом в формулу (2) вносятся корректировка:

$$K_j^{nc} = \beta_j^{nc} K_j^{nc}, \quad (9)$$

где β_j^{nc} – интегрированный показатель, объединяющий косвенные факторы относительно объема пассажирских перевозок

$$\beta_j^{nc} = 1 + \frac{\sqrt{\frac{\beta_{AI(\gamma, \varphi, \nu, \delta, \mu, \tau)}^{тренд} \cdot (AI)_j^{nc}}{(AI)_j^{бас}}}}{\sqrt{\text{mid}((AI)_j^{nc}; (AI)_j^{nc}; (AI)_j^{бас})}}, \quad (10)$$

$\beta_{AI(\gamma, \varphi, \nu, \delta, \mu, \tau)}^{тренд}$ – трендовые индексы по факторам, характерным для Белорусской железной дороги: геополитических изменений территории транспортного обслуживания; платежеспособности населения и инфляции в Республике Беларусь; изменения уровня сервиса пассажирских перевозок; степени использования цифровых и

информационных технологий при обслуживании пассажиров; индекс изменения тарифной политики Белорусской железной дороги и государства; сезонности перевозок пассажиров; $(AI)_j^{пр/ис}$ – среднее значение пассажирооборота за предыдущий и последующий периоды статистического учета; $(AI)_j^{баз}$ – пассажирооборот, достигнутый за базовый период статистического учета; $(AI)_j^{пр}$ – пассажирооборот, достигнутый за предыдущий к базовому периоду статистического учета; $(AI)_j^{ис}$ – пассажирооборот за последующий к базовому периоду статистического учета.

С учётом показателей влияния, объединяющих косвенные факторы, индексы качества пассажирских перевозок для рассматриваемых железнодорожных администраций существенно изменяются (рисунок 3).

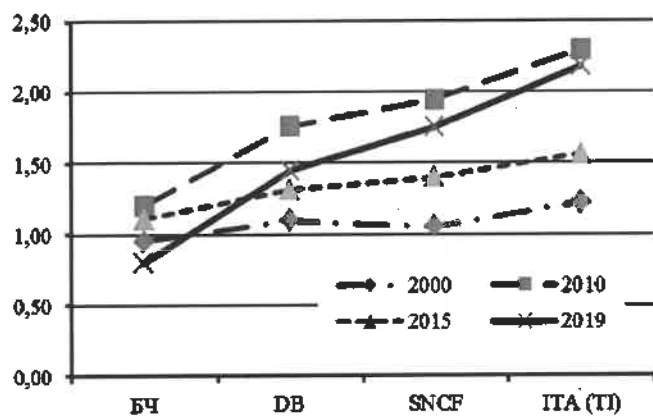


Рисунок 3 – Значения индексов качества с учетом факторного влияния

Из рисунка 3 видно, что на итальянских железных дорогах с учетом факторов косвенного влияния индекс качества пассажирских перевозок в 2019 году резко вырос. В итоге произошёл индекс роста валовой добавленной стоимости от пассажирских перевозок в Италии, что хорошо видно из рисунка 4.

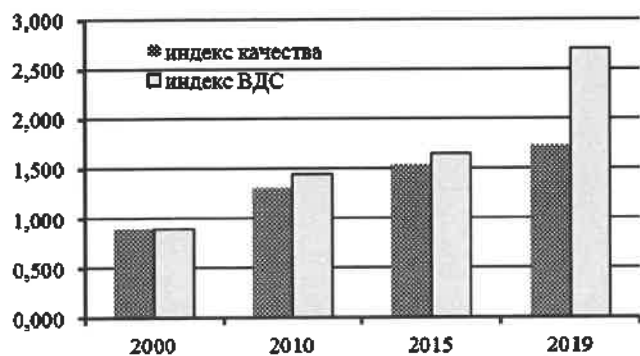


Рисунок 4 – Динамика индекса качества и валовой добавленной стоимости

Из рисунка 4 видно, что валовая добавленная стоимость увеличивается с опережением роста индекса качества пассажирских перевозок. Индекс качества пассажирских перевозок в международном и межрегиональном сообщении определяет гарантии инвестирования в транс-

портные средства и инфраструктуру высокоскоростных железных дорог. При высоком уровне индекса качества пассажирских перевозок проявляется интерес государства в инвестициях в высокоскоростное железнодорожное межрегиональное сообщение (рисунок 5, а).

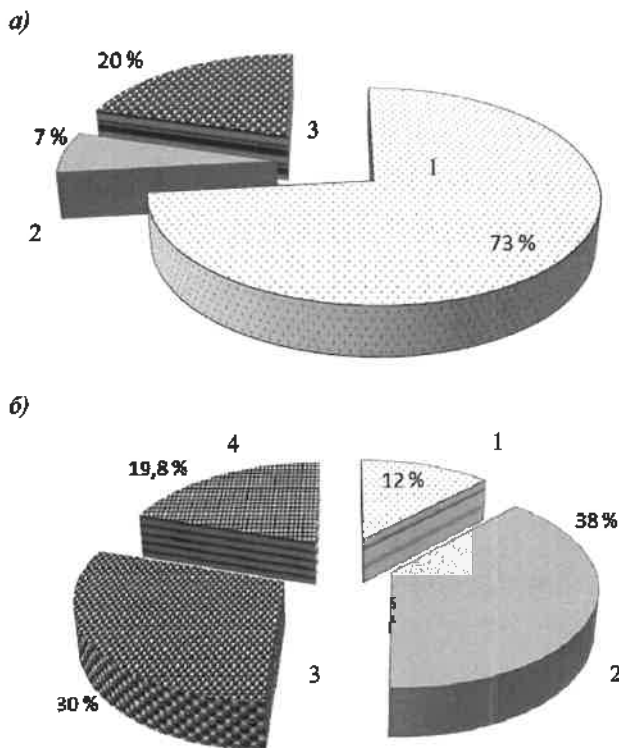


Рисунок 5 – Долевое распределение инвестиций в развитие высокоскоростных железных дорог в 2000 г. (а) и 2019 г. (б):
1 – собственные средства; 2 – бюджет; 3 – средства ЕБРР; 4 – средства МВФ

Необходимо отметить, что в 2000 г. при величине индекса качества пассажирских перевозок 0,897 инвестиции в высокоскоростное пассажирское движение в основном вкладывались за счет собственных средств железной дороги (73 %). При этом из бюджета инвестировалось только 7 %, остальное инвестирование выполнялось за счет Европейского банка реконструкции и развития (20 %).

Но по мере развития скоростного пассажирского движения на железной дороге уже в 2019 г. стала видна перспектива высокого индекса качества пассажирских перевозок и уровня валовой добавленной стоимости, а также налоговых отчислений в бюджет. Дополнительно бюджет увидел возможность прироста за счет дивидендов, перечисляемых в бюджет от этого вида деятельности.

Собственные затраты в инвестирование сократились за 20 лет с 73 до 12 % (рисунок 5, б). Но при этом появился новый инвестор – МВФ (19,8 %), финансирование от которого происходит при увеличении индекса более 5 %. При этом следует отметить увеличение доли ЕБРР (30 %).

В большинстве стран индекс качества пассажирских перевозок в региональном и городском сообщении выделен в отдельное делопроизводство. При этом структура инвестиций в данный вид сообщения также изменялась в соответствии с динамикой изменения индекса качества. Региональный и городской пассажирский транспорт

удовлетворяет транспортные потребности людей в конкретном регионе, что определяется географическими, демографическими и экономическими критериями, включаемыми в индекс качества пассажирских перевозок. Региональный пассажирский транспорт используется только в пределах границ определенного региона (начальная и конечная остановка находятся в одном регионе), что является очень важным фактом с точки зрения инвестирования транспорта местными бюджетами. Причем бюджет вносит инвестирование только в те проекты, которые могут поднять уровень индекса качества. С использованием индекса качества региональных пассажирских перевозок определяется уровень инвестирования в транспортную инфраструктуру и подвижной состав. При этом при расчете индекса качества пассажирских перевозок в региональном и городском сообщении использованы составляющие при расчете индекса качества:

- доступность населения ко всем пунктам городской и пригородной инфраструктуры;
- скорость перемещения населения в агломерациях;
- тарифы увязываются с платежеспособностью населения и новыми формами оплаты за проезд путем использования единых транспортных карт на городские и региональные перевозки;
- обеспечение комфорта поездки с учетом климатических условий местностей;
- расширенное использование информационных технологий в транспортной деятельности;
- периоды работы в течение суток: круглосуточная работа городского и регионального транспорта с учетом жизнедеятельности агломераций.

В результате при высоком уровне кредитов страны (Италия, Греция) создана современная сеть регионального и городского сообщения: метро совмещено с региональной железнодорожной сетью, что позволяет выполнять перевозки пассажиров по единому проездному документу с интегрированным использованием инфраструктуры и по единым стандартам обслуживания пассажиров.

Заключение

Исследование влияния уровня качества пассажирских перевозок на инвестиционную политику железной дороги показало следующее:

- расширено использование международного стандарта менеджмента качества выполняемых работ и услуг организациями и предприятиями по достижению устойчивого результата их деятельности в области пассажирских перевозок;
- качество пассажирских перевозок оценивается условиями стандарта на многокритериальной основе, степенью влияния факторов, определяющих объемы перевозок;

Получено 25.08.2020

A. A. Mikhalchenka. Study of the influence of the quality level of passenger transportation on the investment policy of the railway.

The results of studies of changes in the level of quality when using various methods of evaluation calculations are presented. An assessment of the influence of the main parameters of the quality of railway passenger traffic on the integral evaluation indicator is given. The results of studies of this problem by scientists from different countries and the use of the experience of its solution in the Republic of Belarus are considered. Possibilities of improving the quality level of passenger transportation are evaluated depending on the values of structural elements and its influence on the investment policy of the railway in the field of passenger transportation.

- качество пассажирских перевозок условно разделено на несколько уровней, которыми можно управлять, изменяя составляющие элементы индекса качества;
- определены условия использования индекса качества пассажирских перевозок на инвестирование транспортной деятельности по пассажирским перевозкам из различных источников;
- определены интересы бюджетного финансирования приобретения подвижного состава и развития железнодорожной инфраструктуры для совершенствования пассажирских перевозок.

Список литературы

- 1 Bertil, I. Deregulation of passenger rail transport in Western Europe / I. Bertil // *Public Transport International magazine*. – 2000. – No. 6. – P. 42–47.
- 2 Public Transport Travel-Time Variability Definitions and Monitoring / L. M. Kieu [et al.] // *Journal of Transportation Engineering*. – 2014. – No. 7. – P. 122–130.
- 3 Бычкова, А. А. Методика оценки мероприятий по повышению уровня сервисного обслуживания и качества услуг на вокзалах / А. А. Бычкова // *Современные проблемы совершенствования работы железнодорожного транспорта : межвуз. сб. науч. тр.* – М. : МИИТ, 2012. – С. 123–125.
- 4 Версан, В. Стандарты ИСО 9000: закономерности развития / В. Версан // *Стандарты и качество*. – 2008. – № 1. – С. 56–59.
- 5 Всеобщее управление качеством : учеб. / В. Н. Азаров [и др.]. – М. : ФГБОУ, 2013. – 572 с.
- 6 Друкер, П. Ф. Задачи менеджмента в XXI веке / П. Ф. Друкер. – М. : 2000. – 315 с.
- 7 European Committee for Standardization. EN 13816:2002. Transportation – Logistics and services – public passenger transport – Service quality definition, targeting and measurement.
- 8 Каган, Д. З. Влияние макроэкономических факторов на показатели пассажирских перевозок / Д. З. Каган // *Экономика железных дорог*. – 2018. – № 11. – С. 21–27.
- 9 Косова, Е. Н. Обобщенная информационная модель системы управления пассажирскими перевозками / Е. Н. Косова, А. Г. Вельд // *Актуальные проблемы современной науки : материалы Междунар. науч.-практ. конф.* – Ставрополь, 2017. – С. 177–180.
- 10 Минченкова, Л. М. Повышение конкурентоспособности системы управления пассажирскими железнодорожными перевозками / Л. М. Минченкова // *Вестник университета (Государственный университет управления)*. – 2010. – № 18. – С. 34–38.
- 11 Об утверждении Правил перевозок пассажиров и багажа железнодорожным транспортом общего пользования в Республике Беларусь : постановление М-ва трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь от 6 октября 2015 г. № 47 (зарегистрировано в Нац. реестре – № 8/30320 от 28.10.2015 г.).
- 12 Росляков, Ю. А. Зарубежный опыт реформ на железнодорожном транспорте / Ю. А. Росляков // *Локомотив*. – 2010. – № 10. – С. 44–47.

ПОДГОТОВКА КАДРОВ

УДК 81'271:656.08

Н. А. ГРИЩАНКОВА, кандидат филологических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

РАЗВИТИЕ НАВЫКОВ УСТНОЙ РЕЧИ НА ИНОСТРАННОМ ЯЗЫКЕ
В АСПЕКТЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК

Анализируется роль профессионально ориентированной направленности обучения иностранному языку. Предлагаются способы предъявления и закрепления лексического материала.

Выявляется способ, положительно влияющий на сохранение лексики в долговременной памяти. На основании статистического анализа формулируются соответствующие выводы.

Для обеспечения безопасности пассажирских перевозок сегодняшним студентам, магистрантам Белорусского государственного университета транспорта в их будущей профессиональной деятельности предстоит работать с большим объемом информации.

Многим из них в дальнейшем может потребоваться умение прочитать доклад или лекцию на иностранном языке, прослушать и понять сообщение на интересующую их тему и высказать своё мнение в рамках обсуждаемой проблемы, поскольку наиболее распространенной формой общения ученых разных стран является участие в международных научных конференциях, симпозиумах, семинарах, а также беседы при посещении зарубежных научных центров [4, 9].

Очевидно, что выполнение данной деятельности невозможно без предварительного овладения базовой профессиональной и научной лексикой, усвоения базовых научных и технических понятий, умения классифицировать, давать определения, описывать, обобщать, формулировать основные мысли и выводы. Иностранный язык как учебная дисциплина призван в первую очередь формировать именно эти умения [13, 16].

В силу различий между устной речью на бытовые темы и темы, связанные со специальностью, они будут по-разному соотноситься с обучением чтению. Разница заключается прежде всего в языковом материале. Поскольку у нас нет возможности использовать разговорный вариант отраслевого языка с присущим ему сленгом и профессионализмами, которыми пользуются зарубежные специалисты при устном общении у себя на родине (из-за отсутствия этих вариантов в зафиксированном и систематизированном по специальности виде), источником материала для устной речи является текст по специальности [2, 11, 14].

Практика показала, что преодоление языкового барьера оказалось не столь уж трудным.

Первая ступень в этом направлении – чтение иностранной научной литературы по вопросам безопасности пассажирских перевозок. Дело облегчается насыщенностью текстов специальными понятиями, математическими выражениями, хорошо знакомыми учёному и составляющими неотъемлемую часть его повседневной работы [3, 5].

Возможность использования технической литературы для развития навыков устной речи изучалась многочисленными учеными: Б. Блоком, Л. Е. Аушерманом, И. И. Глезом, Л. В. Щербой, Р. Бахманом, Т. В. Сафоной, И. Л. Бимом и др.

В техническом вузе речь идет о создании потенциальных возможностей для развития устной речи на темы, связанные с вопросами безопасности пассажирских

перевозок. Под потенциальными возможностями подразумеваем создание достаточного и хорошо отработанного активного словаря, включающего и термины по специальности обучаемого [1, 8].

Большое значение приобретает в этой связи умение извлекать информацию из читаемого текста, находить основные идеи, переданные в нем. Для этого, кроме знания лексики, необходимо умение разбираться в форме – грамматических структурах, характерных для научно-технического стиля, глубоко проникать в содержание – в логические и смысловые связи между словами [6, 10].

Сочетание устных форм работы с другими способами введения и закрепления лексики текста, предназначенного для устного воспроизведения, требует определения соотношения устных форм работы и зрительной опоры. Проверка влияния различных способов предъявления и закрепления лексики проводилась в опытном обучении. Для проверки нами были выделены следующие способы введения и первичного закрепления лексики:

- чисто устный;
- устный с одновременным использованием зрительной опоры;
- комбинированный (чисто устные формы работы, чередующиеся с устными упражнениями с одновременным использованием печатного текста).

Статистический анализ результатов сохранения лексического материала в долговременной памяти позволил выделить наиболее эффективный способ запоминания лексики (таблица 1).

Таблица 1 – Статистический анализ результатов сохранения лексического материала в долговременной памяти

Способы предъявления и закрепления лексики	Количественное соотношение, %	
	1-й срез	2-й срез
Чисто устный	12,2	6,1
Устный с одновременным использованием зрительной опоры	13,1	5,5
Комбинированный (чисто устные формы работы, чередующиеся с устными упражнениями с одновременным использованием печатного текста)	13,9	12,7

Как видно из приведенных данных, первый срез имеет довольно высокий процент сохранения слов в долговременной памяти при всех трёх способах предъявления и закрепления лексики (разница между лучшим и худшим результатом составляет всего 8,6 %). Во втором срезе разрыв между лучшим и худшим результатом составил 48 %.

На основании приведенных данных мы пришли к выводу, что комбинированный способ введения и закрепления положительно влияет на сохранение лексики в долговременной памяти.

Поскольку любая наука развивается плодотворно только на основе всех полученных ранее достижений, то интересно посмотреть, что говорят ученые по этому поводу.

Так, академик Л. В. Щерба считает, что учащиеся должны мыслить на иностранном языке *в меру своих познаний* [15].

К. Д. Ушинский говорит, что язык не есть что-то оторванное от мысли и что развивать язык отдельно от мысли невозможно.

В этих высказываниях крупнейших ученых говорится, во-первых, что *надо* делать, во-вторых, дается предостережение – чего *абсолютно нельзя* делать и, в-третьих, указывается, *как* надо делать.

Первое из этих положений иногда вызывает недоумение из-за того факта, что мыслить на иностранном языке можно только, зная его в совершенстве. И часто приходится слышать: «Вот когда студенты его выучат, тогда и будут мыслить на нем».

Но говорящие так явно игнорируют вторую часть мысли академика Л. В. Щербы, являющуюся для нашей цели основополагающей: ту, где он говорит о мышлении обучаемыми на иностранном языке *не полным, а «в меру своих познаний»*. А это означает обучение такому же постепенному, методически последовательному развитию мышления на иностранном языке, как и его любому другому аспекту.

Что же может привести к единению мысли и слова на каждом этапе обучения иностранному языку? «Беспременное упражнение и повторение, – отвечает К. Д. Ушинский, – *предупреждающее забвение*» [12].

До 70-х годов XX в. большинство психологов разных направлений сходились на том, что забывание является постепенным угасанием образа запечатленного объекта. В разработанных позднее моделях вербальной памяти важную роль играют связи запоминаемого слова с уже усвоенными словами [17]. На основании указанных моделей разработаны рекомендации для определения степени забывания лексики. Забывание слов проверяется в двух аспектах: дезактивизация связей и угасание следа.

Лексика должна воспроизводиться или узнаваться в условиях, схожих с условиями запоминания. Например, если слово запоминалось в условиях речевой деятельности, не допустимо проверять забывание способом, где стимулом служит лексическая единица родного языка. Хранимое в памяти слово может быть не воспроизведено из-за того, что не активизируются его связи с другими иностранными речевыми образцами. Слово, воспринятое в речевой деятельности, считается твердо усвоенным и не нуждающимся в дополнительной работе над ним, если оно воспроизводится в связи с нейтральными словами, то есть словами, не связанными с ним логическими или понятийными связями, а также частотой совместного употребления. Например, забывание слова «die Fahrkarte» можно проверить в предложении типа «Der Zugschaffner kontrolliert (показ железнодорожного билета)».

Частично забытыми словами, нуждающимися в повторном употреблении в речи, считаются слова, воспроизводимые лишь вместе с более или менее тесно связанными с ними известными словами. Степень забывания тем силь-

ней, чем теснее связь с ним стимулирующих его припоминание слов. Забытая лексика переучивается путем многократного употребления в речи.

Показателем угасания следа являются ошибки – искажение элементов слова. Например, «das Verkehrswesen» вместо «das Verkehrswesen». Такие слова переучиваются путем восприятия их на слух и прочтения в текстах.

Отбор текстов по вопросам безопасности пассажирских перевозок является одним из факторов успешного обучения языку специальности. Материал должен быть информационно емким, актуальным, в достаточной степени раскрывать тему, тексты должны быть интересными как самому преподавателю, так и обучаемым. В языковом аспекте материал должен быть аутентичным, стилистически корректным, наполненным терминологической лексикой. Подбор тематики, как правило, определяется стандартом или учебной программой специальности.

Послетекстовые задания используются для развития навыков устной речи на основе прочитанного текста. Работа над текстом ведется в следующем порядке:

- чтение про себя;
- чтение отрывков текста вслух;
- деление текста на смысловые абзацы и выделение в них ключевых предложений.

На заключительном этапе работы над темой можно рекомендовать ролевую игру, конкурс презентаций, форум, круглый стол.

Хороший результат дает использование рисунков или фотографий, имеющих косвенное отношение к теме, например, изображение треугольника при изучении темы: «Угроза. – Безопасность. – Риск». Изображение может быть предъявлено на этапе введения темы и служит стимулом к созданию предметных и понятийных ассоциаций и формированию высказываний, содержащих специальную лексику.

Ранее существовала точка зрения, что, обучая говорению, преподаватель будет развивать у обучаемых навык аудирования, то есть восприятия речи на слух. Эта точка зрения неверна, что доказано как теорией, так и практикой обучения. З. М. Цветкова пишет: очень ошибаются те преподаватели, которые думают, что умение хоть немного говорить на иностранном языке обеспечивает умение свободно понимать устную речь. Хотя эти два понятия и находятся в известной взаимосвязи, добиться их равномерного развития можно только применяя специальные задания для развития умения понимать именно устную речь в разных условиях общения [7].

В неязыковых вузах мы учим таким аспектам языка, которые в процентном отношении можно разделить следующим образом: чтению – 50 %, говорению – 25 %, аудированию – 20 %, письму – 5 %. Из всех вышеназванных аспектов восприятия речи на слух является одним из самых сложных умений, без которого практическое использование иностранного языка немислимо. Следует отметить что студент учится аудированию в ходе всего процесса обучения, а не только при выполнении заданий, направленных на развитие навыков восприятия речи на слух.

Изучив работы многих методистов по данному вопросу, мы считаем приемлемыми следующие требования к текстам с профессионально ориентированной лексикой:

- в тексте должно быть не более 5 % незнакомых слов. Они не должны быть ключевыми. Незнакомые слова должны располагаться по всему тексту;

- объем фразы не должен превышать 7–10 слов. Следует избегать омонимии и полисемии;
- следует учитывать, что не только длина фразы влияет на её сохранение в памяти, но и её глубина. Легче запоминаются простые предложения, труднее сложные;
- текст должен звучать не более 2–4 минут, то есть его объем не должен превышать 1000–1200 печатных знаков;
- текст должен быть достаточно прост и доступен. Он должен содержать достаточно новой и полезной информации. Облегчает понимание текста название, если оно отражает главную мысль;
- текст должен быть сильным для восприятия и запоминаемым.

Дело в том, что понимание речи при однократном прослушивании – фундаментальная трудность аудирования. В настоящее время представляется целесообразным сразу «приучить обучающегося к естественным условиям», и уже в начале обучения предъявлять тексты только один раз. Но это мнение существует при обучении собственно аудированию. Если аудитивный текст используется для развития навыков разговорной речи (пересказ или письменное изложение), то, конечно, необходимо повторное прослушивание.

Следовательно, для развития навыков устной речи по вопросам безопасности пассажирских перевозок важную роль играет чтение профессионально значимого материала. Работа над аутентичными текстами положительно воздействует на личность обучающегося, ведет к активизации и обогащению словарного запаса.

Профессионально ориентированная направленность в обучении иностранному языку способствует развитию познавательного интереса в получении новой информации, необходимой будущему инженеру, подготовке к устному общению на иностранном языке в ситуациях, типичных для работников транспорта.

Подводя итог сказанному, отметим, что формирование навыков устной речи на иностранном языке – задача хотя и сложная, но реальная. Успех её зависит от ряда условий, которые уже сегодня значительно ускоряют формирование коммуникативной компетенции:

- открытость международных контактов как условие доступа к современной методической информации;
- высокий уровень методической готовности преподавателя к решению задач обучения практическому владению иностранным языком.

Список литературы

1 Белявская, Е. Г. Семантическая структура слова в номинативном и коммуникативном аспектах (Когнитивные основания формирования и функционирования семантической структуры слова) : автореф. дис. ... д-ра филол. наук / Е. Г. Белявская. – М., 1992. – 39 с.

Получено: 29.06.2020

N. A. Grishankova. Development of oral speech skills in a foreign language in the aspect of ensuring the safety of passenger transportation.

The role of professionally oriented focus of teaching a foreign language is analyzed. Methods for presenting and fixing lexical material are proposed.

A method is identified that positively affects the preservation of vocabulary in long-term memory. Based on the statistical analysis, the corresponding conclusions are formed.

2 Биболетова, М. З. Примерные требования к учебно-методическим материалам по иностранному языку для профильного обучения (при использовании интернет-технологий) [Электронный ресурс] / М. З. Биболетова – Режим доступа : <http://www.prof.ioso.ru/trebovania/inostr.html>. – Дата доступа : 25.04.2009.

3 Ионова, А. М. К вопросу о подходах к обучению иностранному языку для специальных целей / А. М. Ионова // Иностранные языки в школе. – № 11. – 2018. – С. 26–32.

4 Мазаева, И. А. Профессиональная коммуникативная культура в содержании подготовки специалиста (на материале профессий «человек – человек») : дис. ... канд. пед. наук : 13.00.08 / И. А. Мазаева. – М., 2003. – 239 с.

5 Мотина, Е. И. Язык и специальность: лингвистические основы обучения русскому языку студентов-нефилологов / Е. И. Мотина. – М. : Русский язык, 1983. – 170 с.

6 Образование для взрослых людей [Электронный ресурс] Postgraduate Education HR – news. – Режим доступа : <http://www.hr-journal.ru/hnews/news.shtml>. – Дата доступа : 03.02.2011.

7 Общеввропейские компетенции владения иностранным языком: изучение, обучение, оценка. – Вып. 618. – М. : МГЛУ, 2011.

8 Основные понятия и определения на железнодорожном транспорте : словарь-справочник по изучению железнодорожной терминологии на рус., англ., нем., фр. и исп. яз. / Д. В. Захаров [и др.]; под ред. Н. А. Гришанковой. – Гомель : БелГУТ, 2016. – 76 с.

9 Попова, Е. А. Резюме как метод профессионального самоопределения обучающегося / Е. А. Попова // Иностранные языки в школе. – № 7. – 2019. – С. 25.

10 Серова, Т. С. Психологические и лингводидактические аспекты обучения профессионально ориентированному иноязычному чтению в вузе. / Т. С. Серова. – Свердловск : Изд-во Урал. ун-та, 1988. – 229 с.

11 Сорокина, Н. Д. Перемены в образовании и динамика жизненных стремлений студентов / Н. Д. Сорокина // Социол. исслед., 2003. – № 10. – С. 59–64.

12 Ушинский, К. Д. Педагогические сочинения : в 6 т. Т. 2 / К. Д. Ушинский ; ред. М. И. Кондаков, вступ. ст. С. Ф. Егорова. – М. : Педагогика, 1998. – 350 с.

13 Цыбовский, В. Л. Активные методы в системе профильного обучения : метод. рек. / В. Л. Цыбовский. – Минск : БГПУ им. М. Танка, 2004. – 51 с.

14 Чернявская, В. Открытый текст и открытый дискурс / В. Чернявская [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://philologoz.ru/texts/Chernjavsckaya/Chernjavsckayaindd.htm>. – Дата доступа : 02.12.2010.

15 Щерба, Л. В. Преподавание иностранных языков в средней школе. Общие вопросы методики / Л. В. Щерба ; под ред. проф. И. В. Рахманова – 2-е изд. – М. : Высш. шк., 1974. – 112 с.

16 Cherifi, S. Travailler en français en entreprise 2 / S. Cherifi. – Paris : Didier, 2009. – 162 p.

17 Tulving, E. Organization of memory / E. Tulving, W. Donaldson. – New York : Academic Press, 1972. – P. 381–403.

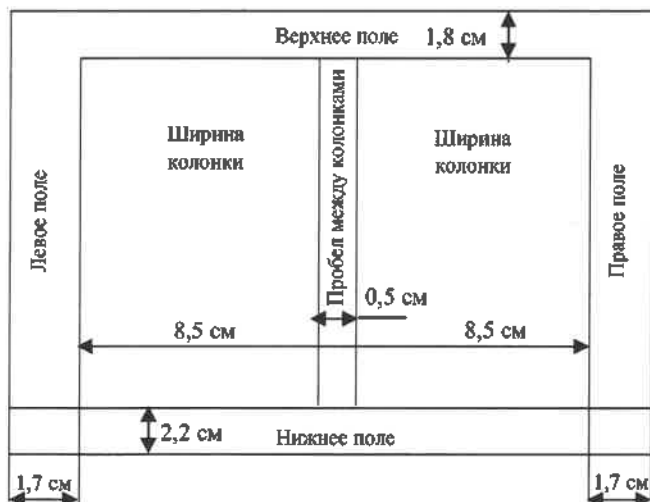
ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ

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 17,5 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 17,5 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 17,5 см – аннотация, в которой дается краткая характеристика статьи (размер шрифта – 9 pt, объем – до 10 строк, или 100–150 слов);

– через интервал в две колонки форматом 8,5 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 8,5 см каждая – список литературы (размер шрифта – 9 pt);

– через интервал – дата поступления рукописи в редколлегию (размер шрифта – 8 pt); например: Получено 05.06.2009;

– через интервал на формат 17,5 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 строчным), 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*
Корректор *Т. А. Пугач*
Компьютерная верстка – *С. В. Ужанкова*

Подписано в печать 29.12.2020 г. Формат 60x84¹/₈. Бумага офсетная. Гарнитура Times New Roman.
Печать цифровая. Усл. печ. л. 14,41. Уч.-изд. л. 13,81. Тираж 100 экз. Изд. № 76. Зак. № 3609.

Учреждение образования «Белорусский государственный университет транспорта»
ЛП № 02330/238 от 14.04.2014 г.
Ул. Кирова, 34, 246653, г. Гомель