



ВЕСТНИК

Белорусского
Государственного
Университета
Транспорта

НАУКА и ТРАНСПОРТ

1/2023



ВЕСТНИК
Белорусского
Государственного
Университета
Транспорта

Научно-практический журнал

НАУКА
и ТРАНСПОРТ

№ 1 (46)/2023

«ВЕСТНИК БелГУТа: НАУКА И ТРАНСПОРТ»

Научно-практический журнал № 1 (46) 2023 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

ВЕСТНИК БелГУТа: НАУКА И ТРАНСПОРТ
научно-практический журнал

2023. № 1 (46)

СОДЕРЖАНИЕ

Ерофеев А. А., Кузнецов В. Г. Профессор Грунтов Петр Степанович – ученый с фундаментальным научным мышлением..... 4

АВТОМАТИКА, ТЕЛЕМЕХАНИКА И СВЯЗЬ

Комнатный Д. В. Изучение трехполостников в курсе теории линейных электрических цепей для специальности «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте» 12

Громыко И. Л., Мирош Д. В., Галушко В. Н., Белькин В. О. Анализ и совершенствование существующей системы диагностирования неисправностей трансформаторов железнодорожной отрасли 15

АВТОМОБИЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ

Карасевич С. Н., Аземша С. А. Обоснование безопасных условий видимости в зоне одноуровневого пересечения автомобильной и железной дорог 21

Попов В. Б., Баран И. А. Исследование скоростей аэродинамического потока в системе очистки самоходного зерноуборочного комбайна с помощью компьютерного моделирования 26

Климовцов В. М., Копытков В. В., Сейдалини М. М. Анализ влияния антропометрических параметров сотрудников гарнизона противопожарной службы города Кокшетау на предельно-габаритные размеры пожарных автомобилей... 30

ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС

Жданович П. В., Жданович В. П., Ковтун П. В., Ялтыхов В. В. Способы определения радиусов круговых кривых и влияние погрешности в их определении на длину железнодорожного пути 33

Ковтун П. В., Дубровская Т. А., Кравченко Н. Н., Никитин Е. В. Развитие путевого хозяйства Белорусской железной дороги на современном этапе 36

Поддубный А. А., Демидович И. С. Особенности применения сборно-разборных быстровозводимых мостов..... 39

Поддубный А. А., Печенев Е. В. Концепция интеллектуальной системы поддержки принятия решений по восстановлению мостовых переходов..... 42

Васильев А. А. Оценка остаточного ресурса железобетонных элементов и конструкций по модифицированной методике с применением логистической зависимости 45

ПОДВИЖНОЙ СОСТАВ

Бурченков В. В. Оценка влияния солнечного излучения на работу измерительных трактов аппаратуры КТСМ..... 49

Максимчик К. В., Чернин Р. И., Монсеенко В. Л. Снегоуборочный поезд СМ-2. Обобщенная методика измерения несущих конструкций рам при капитальном ремонте 52

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА

Ерофеев А. А., Кузнецов В. Г., Дулуп П. М. Особенности правового моделирования положений закона «О железнодорожном транспорте» 57

Ахраменко Г. В., Ахраменко П. Г. Формирование оптимальной стратегии снятия ограничений скорости с целью повышения скоростей движения пассажирских поездов на межрегиональных линиях 64

Ковтун П. В., Дубровская Т. А., Кравченко Н. Н., Никитин Е. В. Путейские аспекты контейнерных мультимодальных перевозок..... 69

Михальченко А. А. Оптимизация инвестиций в основную деятельность локомотивного хозяйства железной дороги 76

Отока А. Г., Каргузов Н. А., Холодильов О. В. Проверка герметичности пневматического и газового оборудования пузырьковым методом на примере технологической оснастки Гомельского вагонного депо 81

Власюк Т. А. Анализ влияния внутренней миграции населения агломерации на формирование регионального пассажиропотока на железнодорожном транспорте 84

ИСТОРИЯ НАУКИ И ТЕХНИКИ

Ерофеев А. А., Васильев А. А. К юбилею Либаво-Роменской железной дороги. История образования, техническое описание дороги 88

УДК 001.8:656.2.07

А. А. ЕРОФЕЕВ, кандидат технических наук, доцент; В. Г. КУЗНЕЦОВ, кандидат технических наук, доцент, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

ПРОФЕССОР ГРУНТОВ ПЕТР СТЕПАНОВИЧ – УЧЕНЫЙ С ФУНДАМЕНТАЛЬНЫМ НАУЧНЫМ МЫШЛЕНИЕМ

К 90-летию со дня рождения профессора П. С. Грунтова

Петр Степанович Грунтов всю свою жизнь связал с наукой, педагогикой, железной дорогой, БелИИЖТом-БелГУТом. Основой его яркой научно-педагогической, административной деятельности была наука, которой он увлекся в годы учебы в институте и внес своими дальнейшими исследованиями значительный вклад в развитие теории транспортных систем, формирования научной школы в области управления процессами перевозок на железнодорожном транспорте.

Родом из д. Горново Сенненского района Витебской области П. С. Грунтов получил отличное образование в буквальном смысле: Оршанский техникум и БелИИЖТ МПС СССР закончил с отличием. Он вошел в плеяду первых выпускников молодого вуза – БелИИЖТа. Имея направление в аспирантуру, он решил поработать на железной дороге, его распределили на Московскую железную дорогу дежурным по станции. Однако стремление к науке пересилило, и после двух лет работы он поступает в аспирантуру БелИИЖТа к профессору Тихомирову Ивану Георгиевичу.



Весь путь П. С. Грунтова в науке прошел под девизом «к решению сложных проблем необходимо подходить системно, опираясь на фундаментальные знания естественных наук и предлагая новые научно обоснованные идеи развития транспорта».

Профессор Тихомиров И. Г. предложил аспиранту для кандидатской диссертации актуальную для того времени тему «Исследование влияния неравномерности движения на технологию работы сортировочных станций». Решение этой сложной научной задачи потребовало от молодого ученого новых глубоких познаний, прежде всего, в математике и ее прикладного решения к процессам на железной дороге. Несколько лет упорной работы и в 1965 году на первом открытом заседании ученого совета БелИИЖТа, имея блестящие отзывы профессоров МИИТа, П. С. Грунтов успешно защищает кандидатскую диссертацию. Эта была первая защита диссертации в новом белорусском транспортном вузе.

Петр Степанович смог глубоко изучить и проникнуть в природу неравномерности транспортных потоков и ее сущности. Опираясь на труды профессоров А. И. Платонова и И. Г. Тихомирова, которые сформировали теорию взаимодействия станционных процессов, выполнил исследования технико-экономических и эксплуатационных факторов появления неравномерности на основе использования детерминированных и вероятностных методов. Установленные закономерности прибытия и отправления поездов он реализовал в определении режимов работы сортировочной станции и ее парков, обеспечении устойчивой работы станции на основе применения оперативных мер интенсификации станционных процессов. В выводах диссертации он писал: «Применение соответствующих технологических режимов позволяет в значительной степени ликвидировать вредные влияния неравномерности на технологию сортировочной станции, сгладить эту неравномерность и управлять ею». В диссертации молодой ученый предложил первые аналитические зависимости расчета числа путей в парках прибытия и отправления с учетом неравномерности движения, которые давали приемлемые для сортировочных станций результаты. Исследования П. С. Грунтова явились важным теоретическим вкладом в развитие *теории устойчивости транспортных процессов, работы сортировочных комплексов*.

Защита диссертации была для Грунтова Петра Степановича, уже кандидата технических наук, первой стартовой площадкой для последующего изучения тех-

нологии наиболее сложных станций на сети железных дорог СССР: от станций Брестского, Минского, Гомельского, Витебского железнодорожных узлов до суперстанций Ленинградского, Московского, Харьковского, Донецкого, Ростовского узлов, крупнейших станций Урала, Сибири и Дальнего Востока. Этому способствовали планируемые МПС СССР научно-исследовательские темы, выполнение которых было поручено БелИИЖТу, бригаде ученых: П. С. Грунтову, П. А. Шульженко, В. Е. Ярмоленко и др. под руководством профессора И. Г. Тихомирова. Выполнение научных работ требовало длительных командировок на крупные станции СССР. Была собрана масса материалов, наблюдений о процессах перевозок в условиях самой большой в мире грузонапряженности, с которой работали в то время железные дороги. Разработанные рекомендации легли в основу Типовых (нормативных) технологических процессов производственной деятельности таких крупнейших станций, как Инская (Новосибирский сортировочный узел), Батайск (Ростовский узел), Свердловск-Сортировочный и Челябинск – главный на Урале, Ясиноватая и Дебальцево в Донбассе, Орехово-Зуево и Люблено в Московском узле и многих других. Все эти сложные транспортные объекты Петр Степанович обошел в буквальном смысле пешком, изучил каждую деталь технологии, что позволило в дальнейшем дать глубокие теоретические обоснования устойчивости работы сортировочных станций.

Докторская диссертация П. С. Грунтова «Теоретические основы технологии и развития сортировочных станций как основных элементов транспортных систем» стала важной фундаментальной работой, в которой впервые даны научные исследования эксплуатационной надежности работы станций и разработаны методы ее оптимизации и повышения в условиях возрастающей загрузки крупных сортировочных станций.

П. С. Грунтов провел исследования данной проблемы как в ретроспективном, так и в перспективном аспектах и сформулировал научно-методические основы поэтапного повышения эксплуатационной надежности станций на текущий год эксплуатации и на перспективу.

В результате обобщения, анализа, систематизации хронометражных, статистических и проектных материалов П. С. Грунтов выявил основные закономерности и тенденции в изменении основных показателей, отказов, загрузки станций, внешних и внутренних транспортных потоков. Математической основой решения задачи стали теория сложных систем, теория вероятностей, математической статистики, теории надежности, динамического программирования. С помощью такой фундаментальной основы Петр Степанович исследовал структуру сортировочной станции как большой технологической системы, выполнил композицию элементов в системы и декомпозицию в подсистемы. В своей работе он представил обобщенные результаты исследований влияния нагрузки на системы разной структурной сложности, методы расчета фазовых и управляющих переменных (продолжительности отказов, простоев путей и т. д.), условия формирования графа вариантов и целевой функции при оптимизации эксплуатационной надежности, технологии и развития сортировочных станций как системы.

Петром Степановичем значительно расширены теоретические основы технологии и оптимизации взаимодействия в работе подсистем, даны новые предложения по систематизации технологических линий, систем и подсистем, разработаны методы расчета сортировочных, сортировочно-отправочных, местных, группировочных и других парков.

Диссертация была защищена в 1977 году в МИИТе (сейчас РУТ, г. Москва) с единогласным голосованием. Значимы слова, которые высказал после защиты профессор, д-р техн. наук Константин Алексеевич Бернгард: «Я полностью подписываюсь под выводами этой диссертации».



Разработанные Петром Степановичем методы расчета путевого развития и выполненные научные обоснования использованы проектно-изыскательными институтами и железными дорогами при реконструкции Донецкого, Дебальцевского, Ростовского железнодорожных узлов, а также ряда других крупных станций Белорусской, Московской, Юго-Западной, Северной и других железных дорог.

После защиты диссертации приказом МПС СССР П. С. Грунтова назначают Председателем Комиссии по развитию Ростовского железнодорожного узла. В состав Комиссии включаются работники ЦД МПС. Требовалось выработать эффективные меры по его развитию в срочном режиме. Представленная комиссией записка с предложениями (более 100 страниц текста) рассмотрена в МПС, а затем и в ЦК КПСС (транспортным отделом). Предложения были одобрены, а через год П. С. Грунтова вместе с заместителем председателя НТС МПС посылают проверять выполнение мер. Много уже было сделано: развиты стыковые станции узла с Донецкой и Приволжской дорогами, заканчивалось сооружение полукольцевого обхода и другие меры.

На основе диссертации и дальнейших научных исследований профессором П. С. Грунтовым были сформулированы *системные подходы к оценке эксплуатационной надежности транспортных систем*. В этой области Петром Степановичем была написана фундаментальная монография «Эксплуатационная надежность станций» [2], в которой впервые системно использовано множество разделов математических наук применительно к большим технологическим транспортным системам.

Основанием для формирования нового научного направления на железнодорожном транспорте стала большая научная работа ученых СССР по изучению

надежности подвижного состава (электровозов, тепловозов, вагонов, моторвагонного подвижного состава), систем автоматики, телемеханики и связи, устройств железнодорожного пути. На железных дорогах разработаны классификаторы причин отказов оборудования и узлов подвижного состава и других технических средств, совершенствуется учет отказов и сбоев в работе, начала проводится широкомасштабная разработка автоматизированных систем управления надежностью работы технических средств.

Петр Степанович отметил и другую сторону надежности работы транспорта: технические средства, подвижной состав работают с высокими скоростями движения, большими, а в ряде случаев близкими к предельным нагрузкам, большими величинами массы грузовых поездов. Актуальность проблемы возросла и в связи с большой загрузкой транспортных систем (станций, узлов, железнодорожных направлений) и высокой степенью заполнения пропускной способности. Возникающие при этом технические и технологические отказы вызывали значительные сбои в эксплуатационной работе, что приводило в свою очередь к значительным экономическим потерям.

Надежность технических средств профессор П. С. Грунтов предложил рассматривать не только с учетом качества изготовления этих средств на заводах (при этом отмечал, что конструктивная надежность постоянно должна повышаться), но и с точки зрения человеко-машинных систем, имея в виду режимы управления, эксплуатации и обслуживания. Нарушение режимов обслуживания и эксплуатации устройств инфраструктуры и железнодорожного подвижного состава, ошибки в управлении, недостаточная квалификация управляющего персонала понижают надежность работы технических средств.

Методы теории надежности П. С. Грунтов предложил использовать для обоснования высокоэффективной работы и оценки функционирования больших технологических систем. Надежность работы сортировочных и участковых станций тесно связана с работой участков, влияет на эффективность работы железнодорожных участков и направлений в целом. Исходя из этого П. С. Грунтов поставил вопрос о надежности работы железнодорожного участка, графика движения как технологической системы, надежности перевозочного процесса, выполнения нормативных сроков доставки грузов для удовлетворения обоснованных требований заказчиков на перевозки. На основе таких подходов П. С. Грунтов разработал методику расчета оптимальной этапности повышения эксплуатационной надежности станций.

Монография была востребована инженерно-техническими работниками железнодорожного транспорта и специалистами проектных и научных институтов транспорта; была рекомендована Главным управлением учебными заведениями МПС в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений железнодорожного транспорта. Эту книгу можно найти в крупных научных библиотеках многих стран мира.

В дальнейшем под руководством профессора П. С. Грунтова сформировалось научно-практическое направление, связанное с *теоретическим обоснованием безопасности движения на железнодорожном*

транспорте, базой для которого стала теория надежности транспортных систем. Одной из первых работ в этой области стало издание в соавторстве с доцентом Ф. П. Пищиком пособия «Безопасность движения на железнодорожном транспорте» [28].

Вопросы обеспечения безопасности движения поездов и маневровой работы на железнодорожном транспорте рассмотрены в контексте системной классификации отказов и видов нарушений эксплуатационной работы, что позволяет иметь комплексный факторный анализ безопасности движения и аргументировано осуществлять меры, направленные на возможное повышение уровня безопасности.

Петр Степанович Грунтов отмечал, что нарушения в эксплуатационной работе связаны с безопасностью транспортных процессов и приводят к невосполнимым потерям пропускных и провозных способностей линий, наносят значительный материальный ущерб, а в некоторых случаях создают угрозу для жизни и здоровья людей. Поэтому задача безусловного обеспечения безопасности движения должна рассматриваться через системное решение совокупности задач, через призму надежности технических устройств, соблюдения технологии перевозочного процесса, ремонта и восстановления работоспособного состояния устройств и подвижного состава, подготовку квалифицированного персонала и многих других.

Глубина и системность взглядов на фундаментальные основы транспортных процессов связаны с тем, что Петр Степанович имел обширное коммуникационное поле: он посещал множество конференций, семинаров, сам активно выступал с популяризацией новых научных подходов. С благодарностью он говорил о прослушанных лекциях писательницы и математика Елены Сергеевны Вентцель (г. Москва), академика Виктора Михайловича Глушкова (г. Киев) и др. На семинаре (3 месяца) в МИИТе Петра Степановича попросили прочитать лекции. Ректор МИИТа профессор Ф. П. Кочнев это предложение одобрил, и П. С. Грунтов прочитал цикл лекций по методам сетевого планирования и управления, их использованию в теории развития сортировочных станций.

В конце 1970-х годов Петр Степанович всё чаще стал обращаться к новому научному направлению работы – информационным технологиям. Объехав огромную страну, общаясь с железнодорожниками верхнего и нижнего, что особенно важно, уровней управления, он пришел к потребности скорейшего развития и внедрения информационных и автоматизированных технологий. Это новое направление диктовало жизнь, практика. Читая в 1960–1970-х годах первый в БИИЖТе лекционный курс «ЭВМ и их применение на транспорте», он начал работать над структурой автоматизированных систем диспетчерского управления.

Изучая системы документооборота, информационного обеспечения оперативного управления, П. С. Грунтов отмечал, что в технологических процессах перерабатывают множество документов о грузах, вагонах, поездах практически вручную. Это огромная ответственность и изнурительный, во многом рутинный труд в течение смены. При встречах железнодорожники часто жаловались П. С. Грунтову, принимая за работника министерства. Но... «дорога-то железная, а люди – золотые».

И они обеспечивали «самые большие в мире» показатели: грузооборот, пассажирооборот и т. д. В то время спрос на перевозки опережал выделение ресурсов, прежде всего вагонов. АСУ стали приоритетными проблемами.



В середине 1960-х годов в БелИИЖТе стали читать студентам лекции об автоматизированных системах управления, а позже П. С. Грунтов вместе с доцентами П. А. Шульженко и В. П. Казанцевым напишет пособие «Электронные вычислительные машины и их применение на транспорте» [9]. Чтение лекций и работа над пособием дали ему необходимую базу знаний: он изучил математические и физические основы электронных вычислительных машин, применение математической логики в организации вычислительных процессов, принципов алгоритмизации задач. Петр Степанович занимался не просто вопросами программирования, а реальным его применением: разрабатывались программы расчета плана формирования, пропускной способности, нормирования оборота вагона и другие.

Грунтов П. С. решил использовать теорию информации, прикладного программирования применительно к самой напряженной сфере управления железнодорожного транспорта – диспетчерскому управлению. Начался новый этап научного творчества на фундаментальных основах теории транспортных систем и процессов. Это направление в то время не было разработано ни в СССР, ни за рубежом. В БелИИЖТе под руководством П. С. Грунтова в период с 1979 по 1985 год выполнен комплекс научно-исследовательских работ по концентрации диспетчерского управления и созданию автоматизированных центров управления эксплуатационной работой дорог.

Учеными БелИИЖТа совместно с инженерно-техническими работниками железных дорог, Главного Управления движения МПС, Проектно-конструкторского и технологического бюро АСУЖТ, института «Гипротрансигнализация», МИИТа, ЛИИЖТа и других организаций проведен комплекс научно-исследовательских работ по анализу существующей системы управления и планирования эксплуатационной работы железных дорог, теоретическому обоснованию необходимости централизации диспетчерского руководства, разработке методических основ и эксплуатационно-технических требований на систему автоматизированного диспетчерского управления эксплуатационной работой. Многие теоретические обоснования, экспериментальные результаты получены в ходе научно-исследовательских работ с участием специалистов Донецкой и Белорусской железных дорог, в том числе специалистов вычислительных центров.

По результатам исследований разработана проектная и научно-техническая документация, содержащая решение проблем построения новых систем, комплекса технических средств, информационного обеспечения и средств отображения состояния управляемых объектов. Доклады Грунтова П. С. с результатами разработок на международных конференциях и конгрессах по транспорту вызывали большой интерес, получали одобрение. Бурные обсуждения его докладов были на коллегиях и научно-технических советах МПС, технических советах Донецкой, Белорусской и других железных дорог.

Результаты исследований были обсуждены на Всесоюзной научно-технической конференции «Пути совершенствования перевозочного процесса и управления транспортом» (Гомель, 1985 г.). Разработка теоретических основ создания новой автоматизированной системы управления координировалась Научным советом АН СССР по комплексной проблеме управления транспортными процессами под руководством академика А. А. Воронова. Авторитет профессора П. С. Грунтова в научных транспортных кругах позволил привлечь к участию в конференции и широкому обсуждению ведущих ученых академической науки и транспортных исследовательских институтов и вузов.

Теоретические подходы к развитию АСУ на железнодорожном транспорте были одобрены на Научно-технических советах МПС в 1984 и 1985 гг., и было принято решение о создании первых в СССР центров автоматизированного диспетчерского управления на Донецкой, Белорусской и Северной дорогах, а также автоматизированного центра диспетчерского управления в МПС. Создание автоматизированных центров управления на железнодорожном транспорте стало важным фактором перестройки существующей системы производственного управления [14, 24].

В этот период коллектив ученых БелГУТа под руководством П. С. Грунтова публикует многочисленные статьи, в том числе оформленные в отдельные сборники научных статей [20–23]. Кроме того, под редакцией Грунтова П. С. издаются 4 части учебного пособия «Автоматизированные системы управления на железнодорожном транспорте» [15–18], в которых обобщается и представляется в систематизированном виде научный материал.

Автоматизированные центры оперативного (диспетчерского) управления эксплуатационной работой в узлах, на железных дорогах, в МПС составили основу будущей структуры АСУ на железнодорожном транспорте. Работа вычислительных центров и других подразделений направлена на информационное, техническое, математическое и другие виды обеспечения автоматизированных центров управления. Основная особенность развития АСУ на железнодорожном транспорте в тот период – создание автоматизированных рабочих мест диспетчеров, операторов и других работников, связанных с управлением движением поездов и переработкой информации с соответствующим функционалом.

Много внимания профессор П. С. Грунтов уделял рассмотрению вопросов, связанных с функционально-структурным построением системы дорожного автоматизированного диспетчерского централизованного управления эксплуатационной работой (ДАДЦУ) и информационного обеспечения оперативных работников

диспетчерских центров управления. Он понимал, что от этого будет зависеть устойчивость оперативного управления. На железных дорогах, где происходило внедрение ДАДЦУ, активно осуществлялись научные исследования, проводилась серьезная техническая модернизация, изменялась практика диспетчерского управления. Петром Степановичем предложен метод решения задач оптимального функционального распределения на основе анализа структуры процессов перевозки и информационного обеспечения работников центра.



Исследования диспетчерских систем управления на железнодорожном транспорте профессор П. С. Грунтов всегда рассматривал с учетом антропоцентрических свойств, и прежде всего, загрузки оперативного персонала диспетчерских центров управления, групп и коллективов работников с учетом автоматизации их функций. На основе общесистемного подхода к информационному обеспечению оперативного персонала, занятого диспетчерским управлением поездной и грузовой работой на участках и станциях П. С. Грунтовым дано обоснование использования совокупности различных методов расчета информационной загрузки персонала при наличии технических средств по управлению движением поездов с учетом технологии управления с помощью таких средств. Помимо классической методики ЦД МПС расчет загрузки диспетчеров по затратам рабочего времени на выполнение всех функций предлагалось выполнять расчет информационной загрузки (на основе методов оценки статистической, семантической и структурной мер информации).

По результатам исследований, выполненных БелИИЖТом на железных дорогах под научным руководством профессора П. С. Грунова, разработаны и приведены типовые нормативы на единичные виды работ, выполняемых диспетчерским персоналом. Эти нормативы использованы специалистами дорог и отделений для расчета загрузки диспетчеров и другого оперативного персонала в существующих и новых условиях работы.

Научный коллектив во главе с профессором Петром Степановичем Груновым за разработки в области автоматизации управления на железнодорожном транспорте был награжден медалями ВДНХ.

Петр Степанович рассматривал процессы развития информационных систем на транспорте как одно из главных средств интенсификации. Он считал, что

именно этим путем возможно обеспечить значительный прирост производительности труда. Исходя из этого он полагал, что существовавшая в тот период времени система управления эксплуатационной работой железных дорог требует коренной модернизации.

Многолетние научные работы коллектива ученых под руководством профессора П. С. Грунова вылились в издание монографии «Автоматизированные диспетчерские центры управления эксплуатационной работой железных дорог» [1], в которой представлены теоретические обоснования создания автоматизированных центров управления дорожными полигонами, центров управления узлами и центра диспетчерского управления МПС как основы принципиально новой структуры управления эксплуатационной работой железных дорог. Основа информационного обеспечения центров управления в значительной степени формируется за счет автоматизации исполнительских процессов, в том числе при съеме информации со станционных и перегонных систем телесигнализации, использования других технических средств. В этом случае обеспечивается возможность создания достоверных баз данных, соответствующих реальному размещению поездов на станциях и перегонах.

Создание центров позволило решить задачу повышения таких кардинальных параметров управления, как степень управляемости движением поездов, координируемости работы станций, участков, депо, направлений, дорог. Очень важно также, что центры управления позволили повысить устойчивость управления, т. е. в большей степени, чем при существующей системе, поддерживать стабильность выполнения заданных плановых нормативов и показателей. Новые системы управления позволили повысить обзоримость управляемых систем посредством создания динамических и прогнозных моделей поездного состояния на станциях и участках, выработки вариантов управляющих решений, автоматизации регистрации и анализа выполненной работы, учета и отчетности.

Монография [1] представляет собой фундаментальный и уникальный труд, т. к. представлена первая попытка авторов изложить принципы организации новой автоматизированной системы централизованного диспетчерского управления с учетом основополагающих факторов функционирования системы управления на железнодорожном транспорте и соответствующего мотивированного построения иерархических систем, а также определить эффективность перехода с трехуровневого управления на дороге на двухуровневое.

Сегодня централизованные системы оперативного управления функционируют на железных дорогах Республики Беларусь, РФ, на дорогах стран СНГ, Европы и других стран, что подтверждает правильность концептуальных подходов, выработанных в начале 1980-х годов профессором П. С. Груновым.

Развивая *теорию систем управления на железнодорожном транспорте*, профессор П. С. Грунтов считал, что объективной основой изучения любой системы является исследование структуры и динамики изменения эксплуатационной нагрузки. Специалисты по технологии и управлению перевозочным процессом на железнодорожном транспорте в своей производственной

деятельности постоянно анализируют, рассчитывают, планируют и прогнозируют транспортные потоки. Поэтому, продолжая исследования в этой области, Петр Степанович постоянно исследовал закономерности транспортного потока и его изменение [4, 6, 7, 11].

Грунтов П. С. дифференцирует методы и способы изучения транспортных потоков. Транспортные потоки в зависимости от целей их последующего использования могут изучаться, рассчитываться и анализироваться в широком смысле с позиций общей теории функционирования транспортных систем, а в более узком смысле – с позиций основных характеристик потоков и их распределений. Если изучаются выполненные потоки за какой-то прошедший отрезок времени, то эти потоки рассматриваются как статистические или отчетные величины. Мощности транспортных потоков определяются в оперативных планах, их величины рассчитываются и прогнозируются на будущее в годовых, пятилетних и других перспективных планах и прогнозах. Транспортные потоки определяют нагрузки на транспортные системы и от их объемов зависит потребная мощность транспортных систем в целом (станций, депо, участков, полигонов), потребность в подвижном составе, топливе, материалах и других ресурсах. Они необходимы в качестве исходных данных при разработке технологии и расчетах мощности всех типов станций, при расчете плана формирования и графика движения поездов и других технических и технологических документов.

В своих исследованиях П. С. Грунтов указывал, что с помощью теории транспортных потоков, изучения основных характеристик законов теории вероятностей, используемых для аппроксимации поездо- и вагонопотоков на железнодорожном транспорте возможно создание достаточно достоверных алгоритмов программ по исследованию закономерностей потоков поездов (составов) по отдельным участкам и на входах станций. Исходя из этого Петр Степанович определил области правомерного использования теоретических законов распределения темпа поездов (составов) и интервалов между ними.

Изучая закономерности транспортных потоков на входах и выходах железнодорожных станций, П. С. Грунтов впервые представил математическое обоснование трансформации потоков в подсистемах станций, на участках, направлениях.

Теорию транспортных потоков профессор П. С. Грунтов реализовал и в идее прогнозирования показателей работы сортировочных станций методом моделирования на ЭВМ [8, 13]. П. С. Грунтов понимал, что для анализа и исследования работы больших систем моделирование нередко является наиболее достоверным методом: строгие научные методы функционирования этих систем разработаны не для всех классов систем. Используя основы теории систем и системологии, а также новые возможности ЭВМ, он убедился в том, что исследование работы больших систем методом моделирования может стать эффективным средством. Имитационное моделирование с использованием заранее разработанных алгоритмов и программ может быть применено к большому классу транспортных систем, в которых целый ряд параметров и сам процесс функционирования носит вероятностный характер. Поэтому все подобные системы содержат некоторую неопределенность, оцениваемую энтропией. В транспортных и других системах управле-

ние процессом направлено на максимально возможное снижение неопределенности, энтропии, на повышение степени детерминированности событий, происходящих в системе. Однако в силу сложности этих систем, большого числа составляющих их элементов, воздействия разнообразных внутренних и внешних помех превратить эти системы в детерминированности не удастся. Именно для проектирования, анализа и оптимизации работы таких систем, в которых процессы носят стохастический характер, наиболее эффективно используются методы имитационного моделирования на ЭВМ.

На примере транспортных систем П. С. Грунтов доказал, что полученные на ЭВМ методом моделирования параметры при достаточно совершенном алгоритме и программе можно использовать с необходимой для практических целей точностью в реальных системах управления. При этом разработка алгоритмов функционирования больших систем нередко представляет собой самостоятельную научную проблему. Методологические подходы, разработанные П. С. Грунтовым и его коллегами, были использованы в моделях имитации работы сортировочных станций и железнодорожных узлов.



В начале 1990-х годов П. С. Грунтов включился в решение насущных для того периода научно-практических задач. Возникшие проблемы между государствами, связанные с передачей вагонопотока через стыковые пункты, подняли вопрос системной организации перевозок. Профессор Грунтов П. С. выпустил пособие по транспортной логистике в контексте новых подходов к транспортным процессам [30].

Системный взгляд на экономику в сложный период начала 90-х формирования национальных экономик позволил П. С. Грунтову в коллективе ученых и руководителей железных дорог сформировать новые подходы к тарифной политике, снизить негативное влияние нарушений интеграционных процессов в экономике и обеспечить необходимую устойчивость работы железных дорог в условиях значительного уменьшения объема перевозок.

Профессор Грунтов П. С. принял эстафету научной школы его учителя д-ра техн. наук, профессора И. Г. Тихомирова и расширил ее рамки с учетом тенденций и исследований, выполненных в НИЛ под его руководством. Научные направления школы профессора П. С. Грунтова включают:

– автоматизированные системы диспетчерского управления перевозками (исследования с 1979 года);

- надежность и безопасность функционирования транспортных объектов (исследования с 1966 года);
- теория экстремальных состояний и расчет путевого развития железнодорожных станций (исследования с 1965 года);
- теоретические основы технологии и развития сортировочных станций и участков железнодорожных систем (исследования с 1955 года под руководством профессора И. Г. Тихомирова и с 1977 года под руководством профессора П. С. Грунтова).

Петр Степанович является автором более 240 работ, а коллективом его научной школы опубликовано более 500 научных и методических работ.

П. С. Грунтов подготовил двух докторов технических наук, десять кандидатов наук, работающих в вузах и на производстве в Республике Беларусь, РФ и других странах. Многократно выступал оппонентом и рецензентом по докторским и кандидатским диссертациям в РФ, Республике Беларусь, на Украине, а также в Египте, Вьетнаме, Болгарии, Китае.

Как ректор вуза профессор П. С. Грунтов активно способствовал расширению научных исследований по всем направлениям транспортного комплекса, активно создавал отраслевые лаборатории, ориентированные на актуальные проблемы, объединял для решения транспортных проблем опытных и молодых ученых в творческие коллективы с производственниками.

Грунтов П. С. понимал, что качество подготовки специалистов зависит от научного уровня вуза и активно создавал необходимые условия для успешной защиты диссертаций. Такой подход во многом предопределил дальнейшее лицо университета. Росту научно-педагогических кадров, несомненно, способствовало и утверждение в 1992 г. ВАКом Республики Беларусь специализированного совета по защите докторских и кандидатских диссертаций по железнодорожным специальностям.

Петр Степанович способствовал фундаментальной подготовке молодых ученых – в вузе проводились на постоянной основе научные семинары по различным разделам естественных и технических наук, например, надежности и безопасности транспортных систем, моделированию транспортных процессов, ресурсосбережению, методам научных исследований и других, на которых выступали ведущие научные специалисты и руководители транспортных предприятий.

П. С. Грунтов поддержал публичные научные дискуссионные площадки по проблемам транспорта: в БелГУТе проводятся многочисленные научные конференции по различным научно-практическим направлениям.

Кроме того, профессор П. С. Грунтов выступал сторонником активного внедрения научных достижений в учебный процесс. В 1985–1995 гг. в вузе проводятся многочисленные межвузовские и вузовские научно-методические конференции по совершенствованию учебного процесса, по развитию творческих способностей студентов, по повышению эффективности использования в учебной работе филиалов кафедр, компьютеризации учебного процесса, повышению функциональной и экономической устойчивости работы транспортного комплекса и его кадрового обеспечения, развитию экономической модели управления учебным процессом в вузе в условиях перехода к рынку и другие.

Для молодых ученых и специалистов по инициативе П. С. Грунтова в 1988 году в БелИИЖТе состоялась первая научно-практическая конференция, посвященная 150-летию железнодорожного транспорта СССР, которая впоследствии стала регулярной.

В начале 1990-х годов по инициативе П. С. Грунтова и С. И. Шкапича (министра транспорта и коммуникаций Республики Беларусь) расширяется участие БелИИЖТа в отраслевых программах: «О состоянии транспортной системы, приоритетных направлениях и обеспечении функционирования и развития отрасли до 1995 г.», «Основы стратегической концепции развития транспортной системы», «Государственная программа функционирования и развития транспорта» (1992 г.).

Под руководством П. С. Грунтова была проведена большая подготовительная работа по многоуровневой системе образования. Петр Степанович стал инициатором преобразования в 1993 году БИИЖТа в БелГУТ – Белорусский государственный университет транспорта. Всё это повлекло переход к новому статусу вуза: новый стиль работы, новые задачи, новые возможности, новые требования и повышенная ответственность. Характерной чертой в работе стало открытие новых специальностей и специализаций, востребованных транспортным комплексом Республики Беларусь.

Научный авторитет профессора П. С. Грунтова был важен для формирования проблемной публичной дискуссии: длительное время П. С. Грунтов являлся членом редколлегии журнала «Транспорт: наука, техника, управление», издаваемого ГК по науке и технике и АН РФ, институтом ВИНТИ, редакционно-авторского совета журнала «Железнодорожный транспорт». В 1994 году по инициативе П. С. Грунтова совет университета принял решение об издании республиканского журнала «Вестник БелГУТа: Наука и транспорт» – издания для обсуждения научных транспортных проблем.

Мировоззренческие взгляды П. С. Грунтова базировались на культурно-исторических ценностях, сформированных обществом на протяжении множества столетий. Он проводил большую просветительскую деятельность будучи вице-президентом Гомельского Общества Кирилла Туровского. «Общение – самый дорогой ресурс в человеческой жизни», – отмечал профессор.

Много времени П. С. Грунтов отдавал общественной деятельности: в областной организации общества «Знание», бюро горкома и обкома КПБ (1980-е годы), Гомельского городского совета и областного совета народных депутатов, являясь председателем депутатских комиссий по науке и техническому прогрессу в отраслях народного хозяйства, председателем комиссии по социальным вопросам и учебным заведениям, в Гомельском комитете Мира, Славянском Союзе Республики Беларусь и других общественных организациях.

Научная, учебно-методическая, организационная деятельность высоко оценена государством: Петру Степановичу Грунтову присвоено звание Заслуженный деятель науки и техники БССР, он награжден орденом «Знак Почета», знаком «Почетный железнодорожник» и иными многочисленными наградами министерств и ведомств, общественных организаций, являлся лауреатом премии Совета Министров СССР, отмечен золотой медалью ВДНХ.

Научно-педагогический путь П. С. Грунтова является примером для нынешнего поколения ученых БелГУТа в их научных исследованиях, фундаментальности в подходах к решению проблем транспорта, новых идей развития транспорта.

Список литературы

- 1 Автоматизированные диспетчерские центры управления эксплуатационной работой железных дорог [монография] / П. С. Грунтов [и др.] ; под общ. ред. П. С. Грунтова. – М. : Транспорт, 1990. – 288 с.
- 2 Грунтов, П. С. Эксплуатационная надежность станций : [монография] / П. С. Грунтов. – М. : Транспорт, 1986. – 247 с.
- 3 Грунтов, П. С. Расчет эксплуатационной надежности и путевого развития сортировочных станций // Труды БелИИЖТа. – Гомель : БелИИЖТ, 1970. – Вып. 94. – 108 с.
- 4 Грунтов, П. С. Влияние неравномерности движения на технологию сортировочных станций / П. С. Грунтов // Вестник ЦНИИ МПС. – 1966. – № 6.
- 5 Тихомиров, И. Г. Расчет путей в парках приема и отправления сортировочных станций / И. Г. Тихомиров, П. С. Грунтов // Железнодорожный транспорт. – 1968. – № 3.
- 6 Грунтов, П. С. Расчет и анализ транспортных потоков / П. С. Грунтов, В. А. Захаров, В. П. Ярошевич. – Гомель : БелИИЖТ, 1983. – 39 с.
- 7 Грунтов, П. С. Исследование закономерностей транспортных потоков на участках и сортировочных станциях / П. С. Грунтов, В. А. Захаров // Труды БелИИЖТа. – Гомель : БелИИЖТ, 1973. – Вып. 123. – С. 4–43.
- 8 Грунтов, П. С. Оптимальная этапность развития сортировочных станций (теория и примеры расчета) / П. С. Грунтов, В. Д. Чижонков, Г. В. Козлов ; под общ. ред. П. С. Грунтова. – Гомель : БелИИЖТ, 1982. – 66 с.
- 9 Грунтов, П. С. Электронные вычислительные машины и их применение на транспорте / П. С. Грунтов, В. П. Казанцев, П. А. Шульженко. – Минск : Выш. шк., 1971.
- 10 Грунтов, П. С. Расчет путей в парках приема и отправления сортировочных станций / П. С. Грунтов // Железнодорожный транспорт. – 1972. – № 3. – С. 11–16.
- 11 Грунтов, П. С. Исследование влияния неравномерности движения на технологию работы сортировочных станций : дис. ... канд. техн. наук. – Гомель : БелИИЖТ, 1965.
- 12 Грунтов, П. С. Теоретические основы технологии и развития сортировочных станций как основных элементов транспортных систем : дис. ... д-ра техн. наук. – Гомель : БелИИЖТ, 1977.
- 13 Грунтов, П. С. Прогнозирование показателей работы сортировочных станций методом моделирования на ЭВМ / П. С. Грунтов, В. А. Захаров. – Гомель : БелИИЖТ, 1981. – 60 с.
- 14 Кожушко, А. М. Концентрация диспетчерского управления / А. М. Кожушко, И. М. Жуков, П. С. Грунтов // Железнодорожный транспорт. – 1983. – № 9. – С. 64–68.
- 15 Грунтов, П. С. Автоматизированные системы управления на железнодорожном транспорте : учеб. пособие. Ч. I / П. С. Грунтов, С. А. Бабченко, В. А. Захаров ; под ред. П. С. Грунтова. – Гомель : БелИИЖТ, 1985. – 56 с.
- 16 Грунтов, П. С. Автоматизированные системы управления на железнодорожном транспорте : учеб. пособие. Ч. II / П. С. Грунтов, С. А. Бабченко, И. Е. Захаров ; под ред. П. С. Грунтова. – Гомель : БелИИЖТ, 1987. – 69 с.
- 17 Грунтов, П. С. Автоматизированные системы управления на железнодорожном транспорте : учеб. пособие Ч. III / П. С. Грунтов, А. А. Михальченко, В. Г. Кузнецов ; под ред. П. С. Грунтова. – Гомель : БелИИЖТ, 1988. – 80 с.
- 18 Автоматизированные системы управления на железнодорожном транспорте : учеб. пособие Ч. III / П. С. Грунтов [и др.] ; под ред. П. С. Грунтова. – Гомель : БелИИЖТ, 1988. – 80 с.
- 19 Грунтов, П. С. Создание региональных автоматизированных центров управления эксплуатационной работой железных дорог // Пути совершенствования перевозочного процесса и управления транспортом : межвуз. сб. науч. ст. – Гомель : БелИИЖТ, 1985. – С. 427–429.
- 20 Централизация диспетчерского управления эксплуатационной работой дороги : межвуз. сб. науч. ст. ; под ред. П. С. Грунтова. – Гомель : БелИИЖТ, 1984. – 101 с.
- 21 Проблемы централизации диспетчерского управления на железных дорогах : межвуз. сб. науч. ст. ; под ред. П. С. Грунтова. – Гомель : БелИИЖТ, 1985. – 120 с.
- 22 Проблемы структурного и функционального построения автоматизированной системы централизованного управления эксплуатационной работой дороги : межвуз. сб. науч. ст. ; под ред. П. С. Грунтова. – Гомель : БелИИЖТ, 1986. – 180 с.
- 23 Проблемы построения и функционирования центров управления железными дорогами и узлами : межвуз. сб. науч. ст. ; под ред. П. С. Грунтова. – Гомель : БелИИЖТ, 1988. – 106 с.
- 24 Кожушко А. М. Дорогам – новую систему оперативного управления / А. М. Кожушко, П. С. Грунтов // Железнодорожный транспорт. – 1987. – № 2. – С. 14–19.
- 25 Организация движения на железнодорожном транспорте / И. Г. Тихомиров [и др.] под ред. И. Г. Тихомирова. – М. : Транспорт, 1969.
- 26 Технология работы участковых и сортировочных станций / И. Г. Тихомиров [и др.] ; под ред. И. Г. Тихомирова. – М. : Транспорт, 1966.
- 27 Интенсификация использования подвижного состава и перевозочной мощности железных дорог / И. Г. Тихомиров [и др.] ; под ред. И. Г. Тихомирова. – М. : Транспорт, 1968.
- 28 Грунтов, П. С. Безопасность движения на железнодорожном транспорте / П. С. Грунтов, Ф. П. Пищик. – Гомель : БелИИЖТ, 1989. – 122 с.
- 29 Грунтов, П. С. Управление и технология работы сортировочной станции : метод. указания / П. С. Грунтов, В. А. Захаров. – Гомель : БелГУТ, 1990. – 53 с.
- 30 Ринг, В. И. Основы транспортной логистики (железнодорожный транспорт) / В. И. Ринг, Л. А. Редько, О. Р. Грунтова ; под ред. П. С. Грунтова. – Гомель : БелГУТ, 2002. – 100 с.
- 31 Кузнецов, В. Г. Первый ректор БелГУТа / В. Г. Кузнецов // Путь в науку. – Гомель : БелГУТ, 2006. – Вып. 1. – С. 45–50.
- 32 Ерофеев, А. А. Ученый эксплуатационник плеяды 60-х годов / А. А. Ерофеев // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2015. – № 2 (30). – С. 45–50.

АВТОМАТИКА, ТЕЛЕМЕХАНИКА И СВЯЗЬ

УДК 621.372.011.7: 656.25(075.8)

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

ИЗУЧЕНИЕ ТРЕХПОЛЮСНИКОВ В КУРСЕ ТЕОРИИ ЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ДЛЯ СПЕЦИАЛЬНОСТИ «АВТОМАТИКА, ТЕЛЕМЕХАНИКА И СВЯЗЬ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ»

Рассматриваются вопросы изучения трехполосников в курсе теории линейных электрических цепей для специальности «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте». Отбор теоретического материала ориентирован на его практическое приложение: измерение параметров оборудования рельсовых цепей. Отобранный материал организован в виде семи положений. Приведены краткие обоснования для каждого положения, а также примеры расчетных соотношений для трехполосников в общем виде и для трехполосников, сведенных к классическим четырехполосникам. Материал статьи может использоваться для подготовки инженеров-электромехаников на уровне, требуемом развитием железнодорожной автоматики и телемеханики.

При проектировании и эксплуатации рельсовых цепей существует необходимость измерения параметров их оборудования. Как показано в [1], наиболее точные результаты дает метод измерений, разработанный в Пензенском политехническом институте [2] и основанный на положениях теории трехполосных электрических цепей. Таким образом, знание этого раздела теории линейных электрических цепей становится актуальным для специалистов по железнодорожной автоматике и телемеханике.

Тем не менее в учебной литературе для подготовки указанных специалистов [3, 4] теория трехполосных электрических цепей не рассматривается. Имеющиеся литературные источники [5–9] не содержат систематического изложения этой теории. В [2] изложены только вопросы, непосредственно относящиеся к реализации методов измерений. Монографии [5–8] содержат общую теорию многополосных цепей, но не останавливаются на практически важных аспектах теории трехполосных цепей. Учебник [9] описывает трехполосники применительно к транзисторным схемам, а в курсе теории линейных электрических цепей практически востребовано рассмотрение пассивных трехполосников.

Следовательно, необходима методическая разработка теории трехполосных электрических цепей для целей преподавания в транспортном вузе. Изложение этой теории в учебной литературе и на лекционных занятиях должно обладать достаточной общностью, включать материал, имеющий практические приложения. В курсе теории линейных электрических цепей допустимо ограничиться теорией трехполосников, составленных из пассивных линейных элементов.

Исходя из этих соображений, в статье предлагается для учебных целей излагать теорию трехполосных цепей в объеме приведенных далее положений. Положения упорядочены от общего к частному. В статье приводятся соображения, подтверждающие справедливость положения, либо примеры к положению. Подробные доказательства можно найти в литературе, перечисленной в списке.

Итак, изучение теории трехполосных цепей начинается с наиболее общего положения 1.

Положение 1. Многополосная электрическая цепь может быть приведена к трехполосной в виде трехлучевой звезды (далее – звезды) или в виде треугольника [2].

Структура сложной электрической цепи характеризуется некоторым множеством полюсов p и множеством ветвей z . Подмножество ветвей z' имеет общий полюс. У подмножества полюсов p' вторые выводы ветвей цепи принадлежат подмножеству ветвей z' . При замыкании полюсов из подмножества p' накоротко возникает треугольник. Многополосник в виде многолучевой звезды путем объединения полюсов сводится к трехлучевой звезде [2].

Положение 2. Треугольник может быть заменен эквивалентной звездой; звезда может быть заменена эквивалентным треугольником (теорема Кеннели) [2, 10].

Следует указать, что доказательство теоремы должно осуществляться символическим методом, на котором базируется дальнейшее изложение теории. Формулы эквивалентной замены звезды треугольником записываются через проводимости лучей звезды, а формулы замены треугольника звездой – через сопротивления сторон треугольника. Это оказывается необходимым для обоснования последующих положений.

В [11] приведены упрощенная формулировка и доказательство теоремы Кеннели, в которых выведены формулы для сопротивлений ветвей исходной и эквивалентной цепи при заменах «треугольник – звезда» и «звезда – треугольник». Этот способ доказательства целесообразен при изучении эквивалентных преобразований электрических цепей постоянного тока.

Положение 3. Полная система уравнений трехполосной цепи в Y -параметрах формируется методом наложения [9] при питании цепи от источников ЭДС (рисунок 1). Система имеет вид

$$\begin{cases} I_1 = Y_{11} E_1 + Y_{12} E_2 + Y_{13} E_3 \\ I_2 = Y_{21} E_1 + Y_{22} E_2 + Y_{23} E_3 \\ I_3 = Y_{31} E_1 + Y_{32} E_2 + Y_{33} E_3 \end{cases}, \quad (1)$$

где \underline{Y}_{jj} – комплексная входная проводимость со стороны зажима j , при исключении всех источников ЭДС, кроме подключенного к зажиму j , \underline{Y}_{ij} – передаточная проводимость от зажима i к зажиму j при таком же исключении источников ЭДС.

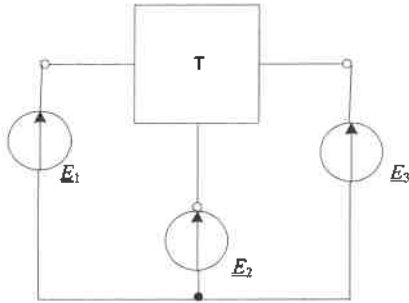


Рисунок 1 – Питание трехполосника от источников ЭДС

Полная система уравнений трехполосной цепи в Z -параметрах формируется методом наложения [9] при питании цепи от источников тока (рисунок 2). Система имеет вид

$$\begin{cases} \underline{U}_1 = \underline{Z}_{11} \underline{I}_1 + \underline{Z}_{12} \underline{I}_2 + \underline{Z}_{13} \underline{I}_3 \\ \underline{U}_2 = \underline{Z}_{21} \underline{I}_1 + \underline{Z}_{22} \underline{I}_2 + \underline{Z}_{23} \underline{I}_3 \\ \underline{U}_3 = \underline{Z}_{31} \underline{I}_1 + \underline{Z}_{32} \underline{I}_2 + \underline{Z}_{33} \underline{I}_3 \end{cases} \quad (2)$$

Коэффициенты системы (2): \underline{Z}_{ij} – комплексное входное сопротивление со стороны зажима j , при исключении всех источников тока, кроме подключенного к зажиму j , \underline{Z}_{ij} – передаточное сопротивление от зажима i к зажиму j при таком же исключении источников тока.

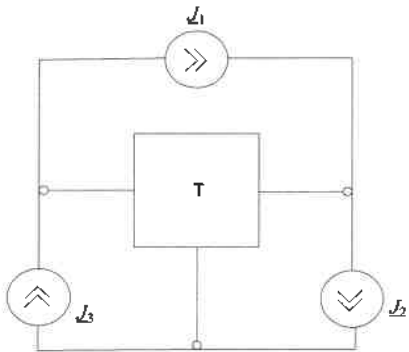


Рисунок 2 – Питание трехполосника от источников тока

Эти коэффициенты рассчитываются методом эквивалентных преобразований [9]. При расчете коэффициентов систем уравнений (1) и (2) для схемы «треугольник» исходными являются комплексные проводимости сторон треугольника. При расчете коэффициентов систем уравнений (1) и (2) для схемы «звезда» исходными являются комплексные сопротивления лучей звезды. Тогда расчетные соотношения для коэффициентов получаются в дуальной математической форме.

Так для схемы «треугольник»

$$\underline{Y}_{11} = \underline{Y}_1 + \underline{Y}_2,$$

$$\underline{Z}_{11} = \frac{1}{\underline{Y}_2 + \frac{\underline{Y}_1 \underline{Y}_3}{\underline{Y}_1 + \underline{Y}_3}},$$

а для схемы «звезда»

$$\underline{Y}_{11} = \frac{1}{\underline{Z}_1 + \frac{\underline{Z}_2 \underline{Z}_3}{\underline{Z}_2 + \underline{Z}_3}},$$

$$\underline{Z}_{11} = \underline{Z}_1 + \underline{Z}_3,$$

где $\underline{Y}_1, \underline{Y}_2, \underline{Y}_3$ – комплексные проводимости ветвей схем, См; $\underline{Z}_1, \underline{Z}_2, \underline{Z}_3$ – комплексные сопротивления ветвей схем Ом.

Следует оговорить, что допустим и противоположный подход, в котором для схемы «треугольник» исходными являются комплексные сопротивления сторон «треугольника» а для схем «звезда» – комплексные проводимости лучей звезды. В существующей литературе [9] предпочтение отдается первому подходу.

Положение 4. Сумма элементов каждой строки матрицы коэффициентов системы (1) $[Y]$ и сумма элементов каждого столбца этой матрицы равна нулю. То же справедливо для элементов каждой строки и каждого столбца матрицы коэффициентов системы (2) $[Z]$. Таким образом, матрицы $[Y]$ и $[Z]$ являются матрицами с нулевой суммой [12].

Равенство суммы элементов отдельных столбцов матрицы $[Y]$ нулю следует из первого закона Кирхгофа, примененного к узлу O (подробнее в [12]).

Напряжения между полюсами трехполосной цепи зависят от разности контурных токов, втекающих в полюсы, поэтому сумма элементов в строке матрицы $[Z]$ равна нулю. Сумма напряжений между полюсами равна нулю по второму закону Кирхгофа, из этого следует равенство нулю сумм элементов каждого столбца матрицы $[Z]$ (подробнее в [12]).

Найденные методом наложения элементы указанных матриц соответствуют положению 4, в чем можно убедиться путем простых, но трудоемких алгебраических преобразований.

Положение 5. Параллельным соединением трехполосных цепей называется соединение, при котором объединены их одноименные полюсы (рисунок 3). Матрица $[Y]$ составной цепи равна сумме матриц $[Y]$ каждой из параллельно соединенных цепей. Это положение следует из того, что токи объединенных полюсов складываются, потенциалы полюсов равны между собой [12].

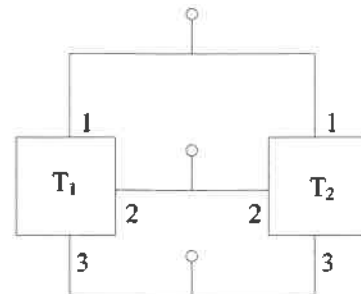


Рисунок 3 – Параллельное соединение трехполосников

Положение 6. Системы уравнений (1) и (2) не могут быть преобразованы друг в друга [9]. Поэтому на практике удобны схемы, в которых один из полюсов является общим для двух источников питания. Тогда схемы трехполюсников преобразуются в классические схемы Т- и П-образных четырехполюсников. Уравнения для таких схем известны [2, 13, 14].

Например, для П-схемы четырехполюсника, к которой сведена схема трехполюсника «треугольник», справедлива система уравнений в матричной форме [2]

$$\begin{bmatrix} \underline{I}_1 \\ \underline{I}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{Y}_1 + \underline{Y}_2 & -\underline{Y}_2 \\ -\underline{Y}_2 & \underline{Y}_2 + \underline{Y}_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{U}_1 \\ \underline{U}_2 \end{bmatrix}. \quad (3)$$

где \underline{I}_1 – ток на входе цепи, А; \underline{I}_2 – ток на выходе цепи, А; $\underline{Y}_1, \underline{Y}_2, \underline{Y}_3$ – комплексные проводимости сторон треугольника, См; $\underline{U}_1, \underline{U}_2$ – напряжения на входе и выходе цепи, В.

Для Т-схемы четырехполюсника, к которой сведена схема трехполюсника «звезда», справедлива аналогичная система уравнений в матричной форме [2]

$$\begin{bmatrix} \underline{I}_1 \\ \underline{I}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 & -\underline{Z}_2 \\ -\underline{Z}_2 & \underline{Z}_2 + \underline{Z}_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{U}_1 \\ \underline{U}_2 \end{bmatrix}. \quad (4)$$

где $\underline{Z}_1, \underline{Z}_2, \underline{Z}_3$ – комплексные сопротивления лучей звезды, Ом.

В [2] приведены системы уравнений для других комбинаций входных и выходных электрических величин Т и П – четырехполюсников.

Положение 7. Приведенные положения, а также материалы [12] дают основание заключить, что трехполюсные цепи «треугольник» и «звезда» являются дуальными.

Предлагаемые в статье порядок изложения теории трехполюсных цепей и объем теоретических сведений обеспечивают необходимые и достаточные для курса теории линейных электрических цепей полноту и строгость, логические и методические связи, доступность для студентов. Материал охватывает все существенные результаты теории трехполюсных цепей. Так как методы измерений параметров электротехнической аппаратуры, в том числе рельсовых цепей, основаны на представленных выше положениях [2], то теоретический материал завершается выходом на практическое применение в специальных измерениях систем железнодорожной автоматики и телемеханики. Так практико-ориентированное обучение заключается не в бездумном сокращении изучаемых по программе дисциплины тем, а в отборе того, что имеет важное практическое

приложение. Более того, без знания выбранных теоретических положений становится невозможным освоение и применение практических методов.

Следовательно, допустимо сделать вывод, что изложенные в статье методические разработки по преподаванию теории трехполюсных цепей необходимы для фундаментальной подготовки инженеров-электромехаников железных дорог на современном уровне, освоения ими прогрессивных методов специальных измерений.

Список литературы

- 1 Медведев, Д. Д. Совершенствование расчета ТРЦ на основе использования микропроцессорного измерителя параметров четырехполюсников : дис. ... магистра : 1-37 80 01 / Д. Д. Медведев ; Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель, 2022. – 70 с.
- 2 Мартяшин, А. И. Преобразователи параметров многополюсных электрических цепей / А. И. Мартяшин, Л. В. Орлова, В. М. Шландин. – М. : Энергоиздат, 1989. – 72 с.
- 3 Каллер, М. А. Теория линейных электрических цепей железнодорожной автоматики, телемеханики и связи / М. А. Каллер, Ю. В. Соболев, А. Г. Богданов. – М. : Транспорт, 1987. – 335 с.
- 4 Волков, Е. А. Теория линейных электрических цепей железнодорожной автоматики, телемеханики и связи / Е. А. Волков, Э. И. Санковский, Д. Ю. Сидорович. – М. : Маршрут, 2005. – 509 с.
- 5 Сигорский, В. П. Алгоритмы анализа электронных схем / В. П. Сигорский, А. И. Петренко. – Киев : Техника, 1970. – 394 с.
- 6 Адонц, Г. Г. Многополюсник. Теория и методы расчета / Г. Г. Адонц. – Ереван : АН Арм. ССР, 1965. – 368 с.
- 7 Зелях, Э. В. Основы общей теории линейных электрических цепей / Э. В. Зелях. – М. : Изд. АН СССР, 1959. – 336 с.
- 8 Воронов, А. Г. Общая теория четырехполюсников и многополюсников / А. Г. Воронов. – М.–Л. : Госэнергоиздат, 1952. – 192 с.
- 9 Ляшев, В. А. Основы теории цепей : в 2 ч. Ч. 2 / В. А. Ляшев, Н. И. Мережин, В. П. Попов. – М. : Юрайт, 2021. – 323 с.
- 10 Бессонов, Л. А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи / Л. А. Бессонов. – М. : Высш. шк., 1978. – 528 с.
- 11 Вольнский, Б. А. Электротехника / Б. А. Вольнский, Е. Н. Зейн, В. Е. Шатерников. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – 526 с.
- 12 Справочник по теоретическим основам радиотехники : в 2 т. / А. Ф. Богданов [и др.] ; под ред. Б. Х. Кривицкого. – М. : Энергия, 1977. – Т. 2. – 472 с.
- 13 Теория линейных электрических цепей / Б. П. Афанасьев [и др.]. – М. : Высш. шк. 1973. – 592 с.
- 14 Шебес, М. Р. Задачник по теории линейных электрических цепей / М. Р. Шебес, М. В. Каблукова. – М. : Высш. шк. 1990. – 544 с.

Получено 07.02.2023

D. V. Komnatny Tree-terminal network study in line electric circuit theory course for railway automatic, telemechanics and communication speciality.

Questions of three-terminal network study in line electric circuit theory course for railway automatic, telemechanics and communication speciality are considered. The material selection is guided by its practical application: parameters of track circuit apparatus measurements. Chosen material is organized in the form of seven offers. The shot basis and literature references are adduced for every offer. Also calculation relations examples are adduced for tree-terminal networks in general and for three-terminal networks, reduced to classical four-terminal networks. The article material can be used for railway engineers-electromechanics training on modern railway automatic and telemechanics development level.

УДК 621.314

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

АНАЛИЗ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СУЩЕСТВУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ НЕИСПРАВНОСТЕЙ ТРАНСФОРМАТОРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ОТРАСЛИ

Рассмотрено применение самообучаемых систем на основе искусственных нейронных сетей (ИНС) для устранения недостатков существующих систем диагностирования трансформаторов, которые решают проблемы избыточности информации при системном подходе к мониторингу оборудования и позволяют унифицировать программное обеспечение. Для достижения высокой точности, хороших результатов по классификации и обнаружению неисправностей перспективным направлением является сверточная нейронная сеть с архитектурой глубокого обучения. Авторами был предложен и внедрен метод определения влажности изоляции с помощью фигур Лиссажу на основе сверточных нейронных сетей.

Разработка системы оценки технического состояния трансформаторов в системе железнодорожного нетягового электроснабжения линий сигнализации, централизации, блокировки, предприятий железнодорожных электрических сетей (ПЭ и АБ) и на подстанциях является актуальной задачей. На сегодняшний день более 50 % трансформаторов системы электроснабжения железнодорожной отрасли страны отработали установленный срок службы (25 лет), согласно ГОСТ 11677-85. Многие из таких трансформаторов могут эксплуатироваться еще длительное время, однако в этом случае должны предъявляться повышенные требования к методам диагностики их технического состояния. С другой стороны, многие специалисты отмечают, что менять трансформатор по истечении его назначенного ресурса (25 лет [1]) зачастую оказывается нецелесообразно [2]. В случае, если условия работы оборудования на протяжении срока эксплуатации соответствовали расчетным, а нагрузки не превышали номинальных значений, велика вероятность того, что состояние его твердой изоляции (основной параметр, определяющий реальный срок службы трансформатора) после завершения назначенного ресурса останется удовлетворительным.

Необходимо отметить, что за прошедшие годы была проделана большая работа по созданию методов диагностики трансформаторного оборудования, позволяющих при комплексном их применении адекватно оценить состояние обследуемого объекта с надежностью, достигающей 98 % [3]. Однако несмотря на это, количество трансформаторов, «доживающих» до отказов по причине термохимического старения твердой изоляции, составляет по разным источникам от 7 до 20 % [4]. То есть причиной отказа от 80 до 93 % трансформаторов являются различные своевременно не выявленные дефекты. Данная ситуация обусловлена низкой эффективностью традиционной схемы диагностики.

Например, для ШЧ наиболее распространенными являлись следующие типы трансформаторов: ПРТ-А в путевой коробке на питающем конце рельсовой цепи; СОС2-50 светофора; СОБС-2А; СТ-3; ПОС2-50. Статистика по выходу из строя трансформаторов с 2014 по 2022 г. указывает, что основной причиной выхода из строя являлись короткие замыкания (37 %), обрывы в обмотках (21 %), грозовые перенапряжения. Часто (бо-

лее 20 %) установление причин выхода из строя представлялось затруднительным. Так как надежность системы железнодорожной автоматики и телемеханики является важнейшим параметром функционирования железнодорожных перевозок, то отсутствие современной системы мониторинга состояния данного оборудования является актуальной задачей.

Традиционная схема (проведение плановых комплексных обследований) разрабатывалась для условий плановой экономики СССР, принципы которой исключали возможность эксплуатации большого количества оборудования сверх расчетного периода. Соответственно, период комплексных обследований выбирался с учетом вероятностей появления и скоростей развития дефектов в трансформаторах с наработкой до 25 лет и не учитывал особенности развития дефектов в состаренном оборудовании. Вследствие этого в современных условиях участились случаи, когда за период между обследованиями дефект успевает зародиться, развиваться и вызвать аварийный отказ трансформатора. При этом простое сокращение интервала проведения обследований приводит к неприемлемому увеличению затрат на диагностику, что говорит о необходимости разработки схемы диагностики, эффективной в современных условиях.

При этом следует помнить, что плановое техническое диагностирование позволяет решить следующие задачи: повысить надежность работающих трансформаторов; сократить время ремонтов; уменьшить количество запасных изделий на предприятиях; увеличить срок службы трансформаторов; сократить стоимость ремонтных работ; исключить повторные дефекты.

Для возможности реализации обслуживания оборудования по фактическому состоянию ведутся активные разработки и внедрение автоматизированных комплексных систем диагностики и диагностики, позволяющие в различных режимах без отключения оборудования, оценивать его текущее техническое состояние [5, 6]. Такие системы помогают выявлять различного вида дефекты, некоторые – формировать технические рекомендации по продлению срока эксплуатации, планировать сервисное обслуживание и ремонтные циклы.

Ряд авторов [7] доказывает экономическую целесообразность профилактических испытаний и постоянного мониторинга силового электрооборудования.

Современные автоматизированные системы диагностики состояния трансформаторов и электрических

машин чаще всего разрабатываются для конкретного вида оборудования и их применение на других типах оборудования требует трудоемкой настройки библиотеки базы данных и значительной технической доработки. Этого можно избежать за счет применения самообучающихся интеллектуальных систем. Применение ИИС позволяет унифицировать диагностические исследования, не прибегая к созданию библиотек баз данных для каждого типа трансформатора. Также оптимизируется применение данных систем за счет простоты практического применения и устранения человеческого фактора при анализе результатов. С ростом числа исследований снижается вероятность ошибки, а системный подход (оценка множества факторов между собой в динамике) позволяет увеличить точность прогнозирования [8–10].

Оценка состояния изоляции различными емкостными методами возможна только для волокнистой изоляции (класса А), так как для нее характерна зависимость явления поляризации от увлажненности. У многослойной изоляции класса В явление поляризации значительно, из-за чего емкостные методы в этом случае неэффективны.

В этой связи разработка и исследование высокоэффективных систем диагностического контроля состояния трансформаторов, в основу которых положен системный универсальный подход и возможность непосредственного применения разработанных систем диагностики в технологический процесс обслуживания представляет действительно актуальную научно-техническую проблему современной системы электроснабжения железнодорожных потребителей.

Авторы разработали высокоэффективную универсальную диагностическую систему для определения и классификации неисправностей трансформаторов и оценки остаточного ресурса изоляции обмоток на основе сверточных нейронных сетей для трансформаторов нетягового электроснабжения линий сигнализации, централизации, блокировки, предприятий железнодорожных электрических сетей.

Разработанная методика высокоэффективной диагностической системы и технология ее применения на основе сверточных нейронных сетей нашла положительные отзывы при практическом применении в практике эксплуатации таких подразделений железнодорожной отрасли, как ШЧ и локомотивные депо. Получены акты внедрения от дистанции электроснабжения железной дороги, ШЧ и локомотивного депо о высокой заинтересованности в применении разработанных технологий для диагностических исследований трансформаторов с воздушным охлаждением и дальнейшем развитии с целью диагностики масляных трансформаторов и тяговых асинхронных двигателей.

Материалы, полученные в ходе выполнения данной научно-исследовательской работы, используются как иллюстрационный, практический и лабораторный материал в образовательном процессе по курсу «Электрические машины и преобразователи» для студентов механического и электротехнического факультетов БелГУТа.

Система мониторинга, по сравнению с методами технического диагностирования, обладает рядом технических преимуществ, но экономически установка

данных систем на каждый трансформатор нецелесообразна. Для решения задачи можно рассмотреть внедрение системы мониторинга на основе данных технического диагностирования без отключения из эксплуатации либо при плановых диагностических испытаниях в лабораториях ШЧ, локомотивных депо, дистанций электроснабжения БДЖ.

Западноевропейские системы, в отличие от Республики Беларусь не ставят своей задачей продление срока службы электрооборудования, поскольку зарубежная практика предполагает замену оборудования после окончания его срока службы. Также существуют достаточно большие отличия в нормативной документации по обслуживанию, диагностированию, составу оборудования и его эксплуатации, которые не позволяют использовать зарубежные системы диагностирования оборудования.

Традиционные методы испытаний включают в себя измерение различных параметров, таких как полное сопротивление короткого замыкания, потери холостого хода, коэффициент трансформации, ток намагничивания, сопротивление обмотки.

Увлажнение внутриобмоточной изоляции трансформатора вызывает увеличение внутриобмоточных емкостей и приводит к уменьшению собственных частот составляющих обмотки (слоя, катушки) трансформатора и коэффициента передачи.

Если подать тестовое напряжение U_1 к выводам обмотки низкого напряжения силового трансформатора, а с выводов обмотки высокого напряжения снимать напряжение U_2 (плавно меняя частоту от десятков до сотен килогерц), и таким способом снять АЧХ при разных состояниях внутриобмоточной изоляции, то можно отметить, как изменяется разность напряжений $\Delta U = |U_1| - |U_2|$ от увлажнения или старения.

Из вышеизложенного можно заключить, что экстремальные точки АЧХ $k_1(f) = U_2/U_1$ и $k_2(f) = \Delta U$ смещаются относительно оси абсцисс в зависимости от изменения состояния (увлажнения, старения) витковой, слоевой или межобмоточной изоляции силового трансформатора. Значение амплитуды напряжения на разных экстремальных точках также изменяется в зависимости от состояния изоляции. Эти параметры можно рекомендовать как диагностические признаки состояния внутренней изоляции силовых трансформаторов, посредством создания специальных устройств.

В настоящее время разработано, проверено на практике и закреплено в стандартах три метода определения степени увлажненности трансформаторов связанных с измерением емкостей обмоток трансформаторов.

Одним из новых методов испытания является «емкость – время» с помощью прибора ЕВ-3. При этом методе производится заряд емкости изоляции C , а затем быстрый разряд и медленный (закорачиванием через 1 с после окончания заряда). В первом случае определяется емкость, во втором – прирост емкости за счет абсорбционной емкости, которая успевает проявиться за 1 с у влажного трансформатора, но не успевает у сухого. У сухого трансформатора ΔC незначительно ($0,02-0,08$), у влажного $\Delta C \gg 0,1C$.

Кроме емкостно-температурного метода, для оценки состояния волокнистой изоляции класса А, используется метод частотной зависимости емкости – метод ем-

костно-частотный. При этом методе емкость изоляции измеряется на частотах 2 (C2) и 50 (C50) Гц. При измерении емкости изоляции на частоте 50 Гц успевает проявиться только геометрическая емкость, одинаковая у сухой и влажной изоляции. При измерении емкости изоляции на частоте 2 Гц успевает проявиться абсорбционная емкость влажной изоляции, так как у сухой изоляции она меньше и заряжается очень медленно. У сухой изоляции отношение C2/ C50 в связи с этим близко к единице, а у влажной оно больше единицы.

Оценка состояния изоляции класса В в настоящее время производится успешно измерением токов утечки при приложении к изоляции выпрямленных напряжений различной величины, т. е. снятием характеристики $I_{ут} = f(U_{выпр})$, где $I_{ут}$ – ток утечки; $U_{выпр}$ – прикладываемое к изоляции выпрямленное напряжение.

Известно, что у машин, имеющих увлажненную изоляцию, зависимость токов утечки от приложенного выпрямленного напряжения нелинейна. Нелинейность тем больше, чем больше прикладываемое напряжение. Нелинейность у влажной изоляции связана с явлением ионизации, наступающей при определенном напряжении и резким увеличением в связи с этим тока утечки. Критерием увлажненности служит коэффициент нелинейности, являющийся отношением сопротивления изоляции постоянному току, определяемого по величине тока утечки при испытательном напряжении $0,5U_n$ к току утечки при $2U_n$.

Обмотки трансформатора представлены слоями, катушками и слоями катушек с постоянной индуктивностью и переменной емкостью, поэтому емкость является одним из основных критериев, определяющих состояние изоляции. Отсюда следует, что каждому слою витков, слою катушек или отдельным катушкам соответствуют собственные частоты.

При подаче тестового сигнала высокой частоты на обмотку трансформатора и совпадении частот приложенного напряжения с собственной частотой частей обмотки (витков, слоев или катушек) будет иметь место резонансное распределение напряжения в обмотке трансформатора.

Экстремальные точки зависимостей указывают на резонансные явления в слоях обмотки на частоте подаваемого сигнала, совпадающей с собственной частотой слоев обмотки.

Резонансное явление, происходящее в частях обмоток (слой, катушка), также можно наблюдать, если подключить к выводам трансформатора (например, к низковольтной обмотке) высокочастотный генератор тестового сигнала U_1 , а с соответствующих выводов высоковольтной обмотки снимать напряжение U_2 .

Увлажнение внутриобмоточной изоляции трансформатора вызывает увеличение внутриобмоточных емкостей и приводит к уменьшению собственных частот составляющих обмотки (слоя, катушки) трансформатора и коэффициента передачи.

На АЧХ (резонансных кривых) это отражается смещением экстремальных точек). Это смещение экстремальных точек можно рассматривать как диагностический признак состояния изоляции.

Акустический метод основан на измерении упругих колебаний (мощности или амплитуды контролируемого сигнала) в объекте контроля. Технология строится на

измерении величин сигналов в контрольных точках и сравнении их с пороговыми значениями.

Энергию излома или пластической деформации изоляции обнаруживают с помощью тензодатчиков или чувствительных микрофонов и преобразуют в электрический сигнал. Данные о скорости эмиссии, общем числе всплеск, их амплитуде накапливаются в памяти компьютера. Специальная программа обрабатывает полученные данные и определяет состояние изоляции. По амплитуде импульсов акустической эмиссии выдается результат о размерах дефектов в изоляции, а по частоте – об их числе.

Развитием данной технологии является информационная частотная технология, предполагающая выделение из измеряемого сигнала составляющих в определенных частотных диапазонах и дальнейший анализ выделенных составляющих. Также можно выделить информационную фазо-временную технологию, основанную на сравнении формы сигналов, измеренных через фиксированные интервалы времени.

Сравнение формы сигналов с эталоном выполняется с помощью информационной спектральной технологии, основанной на узкополосном спектральном анализе сигналов. При использовании такого вида анализа сигналов диагностическая информация содержится в соотношении амплитуд и начальных фаз основной составляющей и каждой из кратных ей по частоте составляющих. Она находит применение при анализе сигналов с датчиков вибрации и шума. Например, при магнитном насыщении сердечника искажается форма сигнала и увеличиваются составляющие вибрации на гармониках питающего напряжения.

Электрический метод основан на регистрации параметров электрического поля, взаимодействующего с объектом контроля или возникающего в результате внешнего взаимодействия. Данный метод является наиболее чувствительным к появлению частичных разрядов (ЧР), так как датчики подключаются непосредственно к высоковольтной шине объекта контроля или измерительным выводам высоковольтных вводов. Необходимость установки датчиков на исследуемый объект является ключевым недостатком метода относительно остальных методов диагностики ЧР. Среди преимуществ можно выделить возможность отстройки от наводимых помех, проведение анализа в штатном рабочем режиме (без подачи повышенного напряжения). Данный метод является единственным методом, применяемым для измерения ЧР в маслобарьерной изоляции.

При некорректной эксплуатации или вследствие старения в изоляции оборудования могут возникать частичные разряды (ЧР), которые могут привести к появлению искровых разрядов или дуговым пробоям в изоляции, поэтому анализ уровня частичных разрядов позволяет вовремя выявлять такие дефекты. Сегодня согласно нормативным документам для РФ предусматриваются только периодические испытания для выявления ЧР в изоляции высоковольтного энергетического оборудования.

На сегодняшний день распространенными методами определения ЧР в изоляции являются акустический, электромагнитный и электрический методы.

С помощью современной диагностической системы MPD800 можно обнаружить уже ЧР на ранней стадии и определить местоположение источника акустическим

способом. Это позволяет сделать вывод о состоянии изоляции.

Важнейшей характеристикой силовых трансформаторов является электродинамическая стойкость. Она характеризует способность трансформатора противостоять воздействиям ударных токов сквозных коротких замыканий, что выражается в способности к сохранению неизменной геометрии обмоток и межобмоточного пространства.

Традиционным параметром, позволяющим оценить снижение электродинамической стойкости, является сопротивление короткого замыкания. Метод измерения этого параметра достаточно прост, но недостаточно чувствителен. Одним из способов совершенствования метода является ориентирование его на определение реактивной (индуктивной) составляющей сопротивления короткого замыкания, более чувствительной к изменению геометрии обмоток трансформатора, чем полное сопротивление (импеданс). Современная аппаратура (например, измерительный комплекс M4000) позволяет выполнить это измерение с высокой точностью.

Другим направлением решения рассматриваемой задачи является разработка группы методов, связанных с подачей на трансформатор переходного напряжения определенной формы и применение частотного анализа напряжения, являющегося реакцией на данное воздействие. В зарубежной литературе эта методология получила название Frequency Responce Analysis.

Суть метода состоит в том, что от специального генератора на обмотку «расшинованного» трансформатора подается прямоугольный зондирующий импульс низкого напряжения (100–500 В) и одновременно осциллографируются реакции обмоток на воздействие этого импульса – напряжения на измерительных сопротивлениях, подключенных к другим обмоткам. Изменения в осциллограммах и их спектрах свидетельствуют о наличии деформаций обмоток трансформатора.

Современные диагностические системы одного из ведущих мировых производителей диагностического оборудования для предприятий электроэнергетической отрасли компании OMICRON, например TESTRANO 600 позволяют измерять полное сопротивление короткого замыкания, потери холостого хода, коэффициент трансформации, ток намагничивания, сопротивление обмотки и динамическое сопротивление переключателя ответвлений в одном устройстве. Системой можно управлять с помощью TESTRANO Touch Control на встроенном дисплее или с помощью программного обеспечения Primary Testing Manager TM на ноутбуке. Система используется при плановых и диагностических проверках на месте эксплуатации, а также при заводских приемочных испытаниях (FAT).

Таким образом, несмотря на все безусловные достоинства применяемых в Беларуси систем, они имеют ряд существенных недостатков: нацелены на решение конкретной задачи (под конкретные схемы, конкретное оборудование и т. д.); используется разнородная и разноточная информация; не учитывается динамика изменения критериев диагностирования оборудования, другими словами, системы не обучаемы. Поэтому применение самообучаемых систем на основе ИНС устраняет перечисленные недостатки.

Анализ используемых методов и диагностических систем указывает на достижение определенной сложности дальнейшего развития существующих методов и диагностических систем. Это обусловлено во многом сложностью входных сигналов, достаточно большим числом входных факторов, нелинейными множественными динамическими взаимосвязями с другими параметрами. Данный недостаток в увеличении точности диагностирования и распознавания образов возможно решить за счет применения ИНС.

Сегодня искусственный интеллект быстро развивается, поэтому существует большое количество литературы, описывающей работу нейронных сетей в системах электроснабжения предприятий и варианты применения их на практике.

Главным преимуществом ИНС при диагностике аварийных ситуаций является ее гибкость при большом потоке данных и информационном шуме. Главный же недостаток заключается в относительной длительности времени обучения. Для сокращения времени обучения до приемлемых результатов используются обобщенно-регрессионная нейронная сеть (GRNN) с топологией прямой передачи сигнала, вероятностная нейронная сеть (PNN) и адаптивная (самоорганизующаяся) нечеткая нейронная сеть.

Наибольшую применимость нейронные сети получают в областях, где человеческий интеллект малоэффективен, а традиционные вычисления трудоемки или фактически неадекватны. Как и человеческий мозг, нейронная сеть способна к решению большого количества разноплановых задач.

Применение ИНС позволяет унифицировать диагностические исследования, не прибегая к созданию библиотек баз данных для каждого типа трансформатора. Также оптимизируется применение данных систем за счет простоты практического применения и устранения человеческого фактора при анализе результатов.

Использование ИНС позволяет работать с неоднородными и зашумленными первичными данными, а также за счет самообучения и самонастройки повысить точность обработки данных, что обеспечит системы диагностирования свойством универсальности.

Применение ИНС по алгоритму обратного распространения ошибки (BP) в совокупности с Вейвлет-преобразованием сигналов от трансформатора тока дифференциальной защиты силовых трансформаторов на основании тока намагничивания при включении, а также сравнения второй и пятой гармонических составляющих тока использовалось в работах, посвященных мониторингу состояния силовых трансформаторов с помощью трехуровневой нейронной сети MLP на основе анализа семи растворенных газов тремя алгоритмами обучения: gradient descent, scale conjugate gradient, Levenberg-Marquart. Причем результаты диагностирования устранили неопределенности распознавания неисправностей обычных методов и показали хорошие результаты обучения для новых типов проб трансформаторного масла.

По мере развития обработки и анализа сигналов многочисленные исследования сосредоточились на применении методов искусственного интеллекта при мониторинге и для повышения точности диагностики. Из них всё большее распространение получают те, ко-

торые хорошо справляются с проблемами «размерности», самообучения и преодоления точек локальных минимумов.

При этом возникает проблема выбора параметров модели. Несмотря на простую структуру моделей на основе нечеткой логики и быструю диагностику, способность с обучению недостаточна, а также нельзя воспользоваться результатами предыдущих экспериментов.

Использование глубокого обучения показывает более высокую точность, чем другие подходы к машинному обучению. В частности, применение сверточных нейронных сетей с широкой архитектурой глубокого

обучения в настоящее время показывают хорошие результаты по классификации, выделению и обнаружению содержания изображения и видеоматериалов.

Сверточные нейронные сети отличаются более простым алгоритмом обучения и простотой построения глубокой архитектуры, что снижает вероятность дополнительного переобучения. Авторами был предложен и внедрен метод определения влажности изоляции с помощью фигур Лиссажу на основе сверточных нейронных сетей (на рисунке 1, а представлены частичные результаты программного обеспечения диагностической системы).

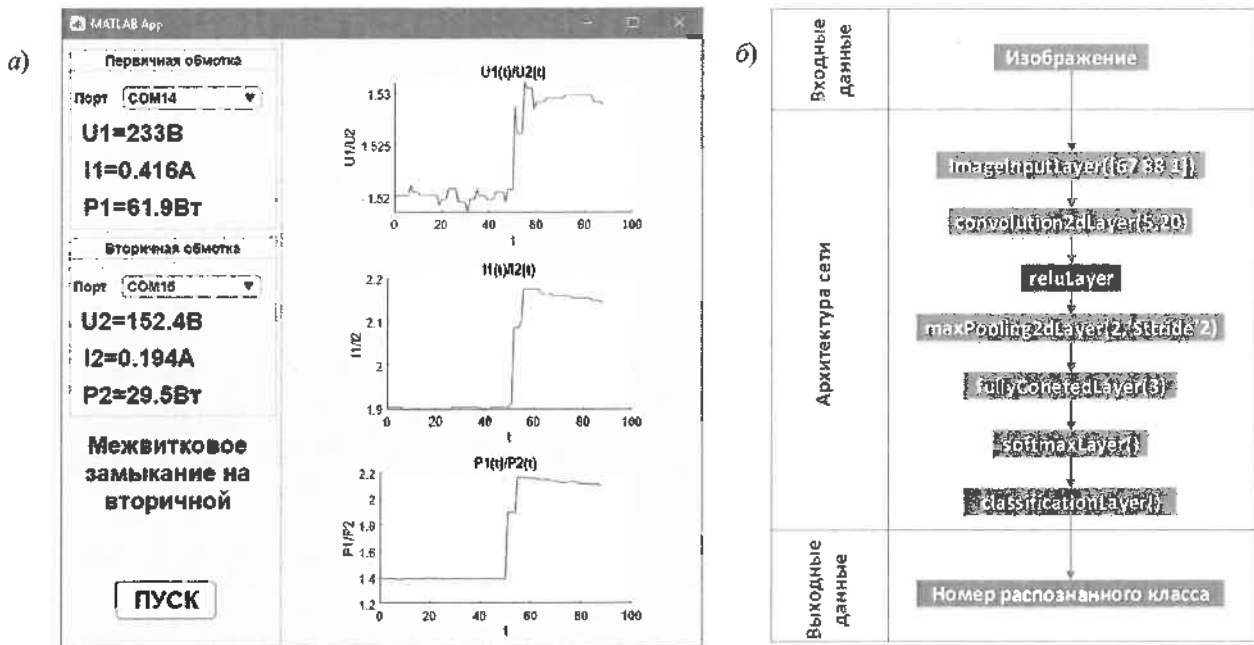


Рисунок 1 – Пример результатов диагностирования (а) и архитектура нейронной сети (б) в программе Matlab

Архитектура нейронной сети в программе Matlab представлена на рисунке 1, б. Во входном слое (ImageInputLayer) указывается размер изображения, который в данном случае составляет 67×88×1. Эти числа соответствуют высоте, ширине и размеру канала. Цифровые данные состоят из изображений в градациях серого.

В сверточном слое (ConvolutionalLayer) первым аргументом является filterSize, который функция обучения использует при сканировании изображений. В этом примере число 5 указывает, что размер фильтра 5 на 5. Вторым аргументом – это количество фильтров (numFilters) или нейронов. Этот параметр определяет количество карт объектов.

После слоя нормализации партии следует нелинейная функция активации (ReLULayer). Наиболее распространенной функцией активации является выпрямленная линейная единица (ReLU).

За сверточными слоями (с функциями активации) иногда следует операция понижения дискретизации (максимальный объединяющий слой MaxPoolingLayer), которая уменьшает пространственный размер карты объектов и удаляет избыточную пространственную информацию. Понижающая выборка позволяет увеличить количество фильтров в более глубоких сверточных слоях без увеличения необходимого объема вычислений на слой. Одним из способов понижения ча-

стоы дискретизации является использование максимального пула, который создается с помощью maxPooling2dLayer. Слой максимального пула возвращает максимальные значения прямоугольных областей входных данных, заданных первым аргументом poolSize. Аргумент пары «шаг – значение» (Stride) задает размер шага, который выполняет обучающая функция при сканировании входных данных.

Вслед за слоями свертки и понижающей дискретизации следуют один или несколько полносвязных слоев (FullyConnectedLayer). В нем нейроны соединяются со всеми нейронами предыдущего слоя. Этот слой объединяет все признаки, изученные предыдущими слоями на изображении, чтобы идентифицировать более крупные закономерности. Последний полносвязный слой объединяет функции для классификации изображений. Таким образом, параметр OutputSize в последнем полносвязном слое равен количеству классов в целевых данных.

Функция активации softmax нормализует вывод полностью подключенного слоя. Выходные данные слоя softmax состоят из положительных чисел, которые в сумме дают единицу и которые затем могут использоваться в качестве вероятностей классификации слоем классификации.

Последним слоем является классификационный слой (ClassificationLayer). Он использует вероятности, возвращаемые функцией активации softmax для каждого

входа, чтобы назначить вход одному из взаимоисключающих классов и вычислить точность.

Таким образом, применение ИНС позволяет унифицировать диагностические исследования, не прибегая к созданию библиотек баз данных для каждого типа трансформатора. Простота практического применения и устранения человеческого фактора при анализе результатов позволяет с ростом числа исследований снижать вероятность ошибки и на основе системного подхода (оценки множества факторов между собой в динамике) увеличить точность прогнозирования.

Список литературы

1 ГОСТ 11677-85. Трансформаторы силовые. Общие технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 2002. – 39 с.

2 Львов, М. Ю. Об оценке состояния силовых трансформаторов с длительным сроком эксплуатации / М. Ю. Львов // Методы и средства оценки состояния энергетического оборудования. – СПб.: ПЭИПК, 2000. – Вып. 11. – С. 264–268.

3 Монастырский, А. Е. Техничко-экономические проблемы диагностики трансформаторного оборудования / А. Е. Монастырский, В. И. Бунин, Я. А. Евдокимов // Методы и средства оценки состояния энергетического оборудования. – СПб.: ПЭИПК, 2005. – Вып. 28. – С. 367–372.

4 Попов, Г. В. Алгоритм комплексной диагностики масляных трансформаторов / В. Г. Попов, Ю. Ю. Рогожников // Электрические станции. – 2003. – № 8. – С. 54–59.

5 Комбинированные системы сбора передачи технологической диагностической информации АСУ ТП электроустановок / А. Н. Васев [и др.] // Проблемы энергетики. – 2018. – № 20 (11–12). – С. 16–26.

6 Кубарев, А. Ю. Методы исследования свойств дефектного электрооборудования / А. Ю. Кубарев, А. Б. Закирова, Ю. Г. Кубарев // Проблемы энергетики. – 2018. – № 20 (3–4). – С. 108–115.

7 Gaser, H. P. Condition Assessment of the Cellulosic Insulation from Power Transformers Taken out of Service / H. P. Gaser, V. Heireich, C. Krause // Proc. of the Inter. Symp. on High Voltage Engineering. – Beijing (China), 25–29 August 2005.

8 Вопросы реализации оценки технического состояния силового оборудования на электрических подстанциях / А. И. Хальясмаа [и др.] // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2013. – № 1 (45). – С. 289–300.

9 Хальясмаа, А. И. Предпосылки и причины применения методов искусственных нейронных сетей для анализа данных технической диагностики электрооборудования на ПС 35-110 кВ / А. И. Хальясмаа, С. А. Дмитриев, С. Е. Кокин // Научное обозрение. – 2013. – № 2. – С. 126–131.

10 Оценка состояния силовых трансформаторов на основе анализа данных технической диагностики / А. И. Хальясмаа [и др.] // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Сер. Энергетика. – 2013. – Т. 13, № 2. – С. 114–120.

Получено 01.02.2023

I. L. Gromyko, D. V. Miroch, V. N. Galushko, V. O. Belkin. Analysis and improvement of the existing system of diagnostics of faults of transformers in the railway industry.

The use of self-learning systems based on artificial neural networks (ANN) to eliminate the shortcomings of existing systems for diagnosing transformers, which solve the problems of information redundancy in a systematic approach to equipment monitoring and allow unifying software, is considered. To achieve high accuracy, good results in classification and fault detection, a convolutional neural network with a deep learning architecture is a promising direction. The authors proposed and implemented a method for determining the moisture content of insulation using Lissajous figures based on convolutional neural networks.

АВТОМОБИЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ

УДК 656.2.08

С. Н. КАРАСЕВИЧ, кандидат технических наук, Российский университет транспорта (МИИТ); С. А. АЗЕМША, кандидат технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

ОБОСНОВАНИЕ БЕЗОПАСНЫХ УСЛОВИЙ ВИДИМОСТИ В ЗОНЕ ОДНОУРОВНЕВОГО ПЕРЕСЕЧЕНИЯ АВТОМОБИЛЬНОЙ И ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГ

Рассмотрены требуемые расстояния видимости в зоне одноуровневого пересечения автомобильной и железной дороги по условиям обеспечения безопасности движения автотранспортных средств. Показано, что существующие подходы к оценке условий безопасных расстояний видимости в зоне железнодорожного переезда, заложенные в нормативы, не решают с необходимой полнотой вопросы оперативной оценки безопасности движения автомобилей с учетом фактической видимости дорожной обстановки на подходах к железнодорожному переезду. Разработаны и обоснованы предложения по внесению изменений и дополнений в нормативные документы, регламентирующие порядок проектирования, устройства и эксплуатации железнодорожных переездов.

Введение. Для обеспечения безопасности движения (БД) автомобилей на железнодорожных переездах условия видимости дорожной обстановки занимают особое место. При этом к числу ключевых факторов, влияющим на БД транспортных средств (ТС) в зоне одноуровневых пересечений автомобильных и железных дорог, относят видимость приближающегося к переезду подвижного состава железных дорог, видимость непосредственно самого переезда, видимость сигналов переездной сигнализации и шлагбаумов с расстояния, необходимого для принятия решения об остановке ТС. В случае недостаточной дальности видимости подвижной состав железных дорог становится пассивным участником ДТП.

Требуемые условия видимости в зоне железнодорожного переезда обеспечиваются правильным проектированием пересечения дорог на местности и достаточным удалением объектов, ухудшающих видимость.

Однако в существующих подходах к оценке безопасных расстояний видимости в зоне железнодорожного переезда не решены с необходимой полнотой вопросы оперативной оценки безопасности движения автомобилей с учетом фактической видимости дорожной обстановки на подходах к переезду.

В действующих нормативных документах Российской Федерации (РФ) и Республики Беларусь (РБ), регламентирующих порядок проектирования, устройства и эксплуатации железнодорожных переездов, не уделено достаточное внимание вопросам изучения расстояний видимости в зависимости от дорожно-транспортной ситуации и их влияние на скорости движения автомобилей. Кроме того, актуально устранить заложенные в своды правил, ТКП и иные нормативные документы противоречивые нормы и цифры в части обеспечения требуемых условий видимости в зоне железнодорожного переезда [1–5].

Постановка задачи.

Действующие нормативные требования РФ и РБ, регламентирующие порядок проектирования, устройства и эксплуатации железнодорожных переездов, предусматривают оценку видимости в зоне переезда исключительно по оценочному критерию – условия видимости приближающегося поезда, что не в полной мере

удовлетворяет требованиям БД автомобилей в зоне железнодорожного переезда. Так, в [2] предусмотрено, что на нерегулируемых железнодорожных переездах водителям ТС, находящимся на удалении не более 50 м от ближнего рельса, обеспечивается видимость поезда, приближающегося с любой стороны в соответствии с нормами обеспечения видимости поезда, которые приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Нормы обеспечения видимости поезда, приближающегося к нерегулируемому железнодорожному переезду

Скорость движения поезда, км/ч	141–200	121–140	81–120	41–80	26–40	25 и менее
Расстояние видимости, м, не менее	600	500	400	250	150	100

Примечание – Принимается скорость движения пассажирских поездов дальнего следования, а при их отсутствии – наибольшая из скоростей движения пригородных пассажирских поездов или грузовых поездов с порожними вагонами.

В «СП 34.13330.2021. Свод правил. Автомобильные дороги. СНиП 2.05.02-85*» устанавливаются нормы проектирования на вновь строящиеся, реконструируемые и капитально ремонтируемые автомобильные дороги общего пользования, расположенные вне границ населенных пунктов. Данным сводом правил предусмотрено, что на вновь строящихся и реконструируемых автодорогах и подъездных дорогах к промышленным предприятиям на ЖДП должна быть обеспечена видимость, при которой водитель ТС, находящегося от переезда на расстоянии не менее расстояния видимости для остановки, мог видеть приближающийся к ЖДП поезд не менее чем за 400 м, а машинист приближающегося поезда мог видеть середину переезда на расстоянии не менее 1000 м. Для существующих переездов удовлетворительной считается такая видимость, при которой из автомобиля, который находится от ближайшего рельса на расстоянии 50 м и менее, приближающийся с любой стороны поезд виден на расстоянии, приведенном в таблице 2.

Таблица 2 – Наименьшие расстояния видимости на пересечениях с железными дорогами

Расстояние видимости, м	500	400	250	150	100
Скорость движения поезда, км/ч	121–140	81–120	41–80	26–40	25 и менее

В соответствии с ТКП 543–2014 [3] для водителей ТС, находящихся на расстоянии 50 м и менее от крайнего рельса, удовлетворительной следует считать видимость, при которой обеспечена видимость приближающегося к переезду с любой стороны поезда на расстоянии согласно таблице 3.

Таблица 3 – Расстояния видимости приближающегося поезда

Установленная скорость движения поездов в зоне переезда, км/ч	Расстояние удовлетворительной видимости для водителей транспортных средств, м
До 25 включ.	100
Св. 25 до 40 включ.	150
« 40 « 80 «	250
« 80 « 120 «	400
« 120 « 140 «	500

Оценочные критерии, заложенные в действующие нормативные документы РФ и РБ, не дают возможности сделать качественное заключение о степени обеспеченности БД, поскольку не учитывается ряд других важных параметров, характеризующих безопасные расстояния видимости водителем дорожной обстановки.

Согласно методике, содержащейся в руководстве [4], условия видимости в зоне железнодорожного переезда оценивают по следующим трем критериям: расстоянию видимости переезда, расстоянию угловой секторальной видимости приближающегося поезда, расстоянию видимости поезда из стоящего у переезда автомобиля.

Следует отметить, что *расстояние видимости переезда* (шлагбаумов, сигналов переездных светофоров) важно с позиции безопасности движения, поскольку водитель ориентируется на конструктивные элементы переезда, что позволяет заблаговременно оценить опасный участок, на котором требуется повышенное внимание в складывающейся дорожно-транспортной ситуации. Водитель должен своевременно увидеть переезд (шлагбаум, сигналы светофорной сигнализации), чтобы иметь время для принятия решения о своем дальнейшем поведении. Расстояние видимости железнодорожного переезда определяется участком дороги от переднего края автомобиля до ближайшего рельса железнодорожного пути в момент обнаружения переезда. В условиях удовлетворительной видимости водитель имеет возможность остановить автодорожное ТС, не доезжая до переезда. В случае, когда это расстояние не достаточно, времени на остановку автомобиля для предотвращения ДТП с поездом может не хватить, а экстренное торможение может вызвать попутное столкновение ТС.

Расстояние угловой секторальной видимости приближающегося поезда характеризует видимость водителем автодорожного транспортного средства про-

странства вдоль железной дороги справа и слева. Водитель должен иметь достаточно времени, чтобы после обнаружения приближающегося поезда принять меры к остановке ТС. При движении автомобиля на подходах к переезду видимость приближающегося поезда справа и слева необходима, чтобы водитель имел возможность принять решение об остановке перед переездом.

При принятии решений о степени сложности и безопасности условий движения ТС отдельных категорий (ТС, перевозящие опасные, тяжеловесные и крупногабаритные грузы; тихоходные транспортные средства) и выборе управляющих воздействий, вопросы изучения безопасных расстояний видимости из стоящего у железнодорожного переезда автодорожного транспортного средства являются также одними из самых ключевых.

В случае остановки автомобиля у переезда водителю необходимо иметь достаточное расстояние видимости вдоль железной дороги для того, чтобы обнаружить приближающийся поезд и оценить его скорость. Водителю необходимо иметь такое расстояние видимости вдоль железной дороги, которое даст достаточно времени для ускорения и освобождения железнодорожного переезда до прибытия поезда, даже если поезд может появиться в поле зрения, когда ТС начинает процесс движения [1, 4].

Основная часть.

Безопасные условия видимости в зоне железнодорожного переезда следует оценивать по следующим трем критериям:

- расстоянию видимости железнодорожного переезда (сигналов переездной сигнализации и шлагбаумов) вдоль автомобильной дороги (улицы);
- расстоянию угловой секторальной видимости приближающегося к переезду поезда;
- расстоянию видимости поезда из стоящего у железнодорожного переезда автомобиля.

Расстояние видимости d_n , измеренное вдоль автомобильной дороги от ближайшего рельса до водителя автомобиля, которое позволяет безопасно остановить транспортное средство, не въезжая в опасную зону железнодорожного переезда, определяется по формуле

$$d_n = Av_{TC}T + \frac{Bv_{TC}^2}{a} + \Delta S + S_e, \quad (1)$$

где A – константа = 0,278; B – константа = 0,0385; v_{TC} – скорость автотранспортного средства, км/ч; T – время восприятия-реакции водителя, с (принимается равным 3 с); a – замедление автомобиля, м/с² (принимается равным 3,41 м/с²); ΔS – расстояние от стоп-линии или передней части транспортного средства до ближайшего рельса, м (принимается равным 4,57 м); S_e – расстояние от водителя до передней части транспортного средства (принимается равным 2,44 м).

Схема определения расстояния видимости для движущегося ТС на подходах к железнодорожному переезду представлена на рисунке 1.

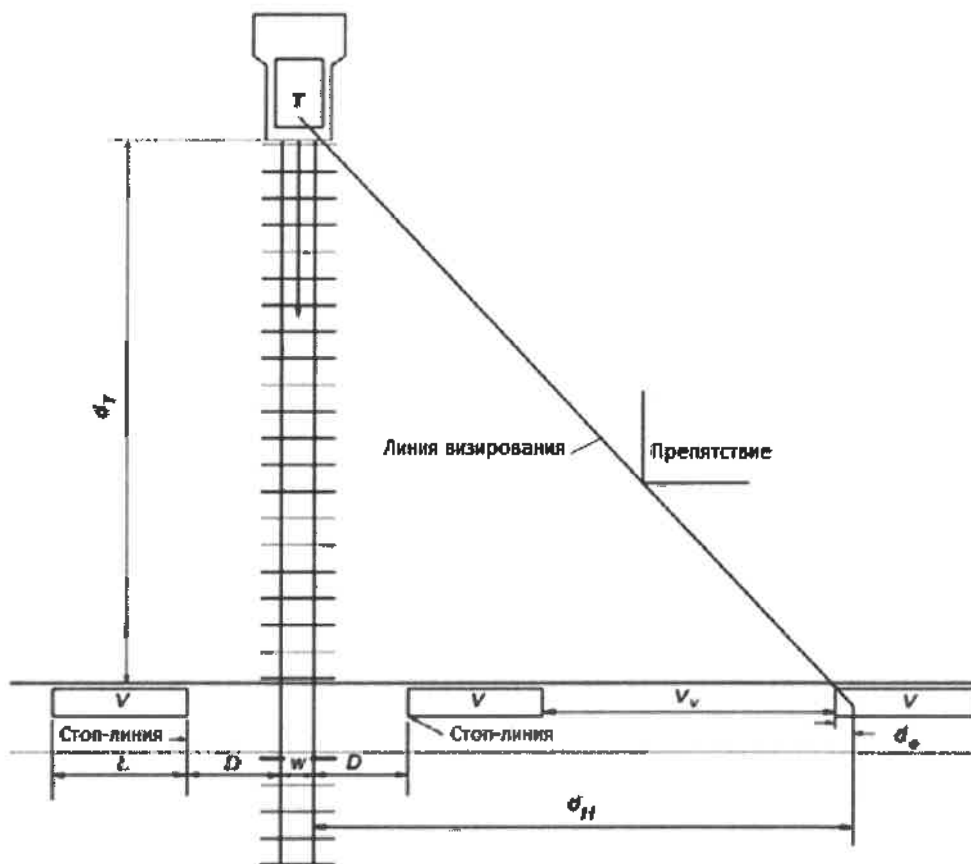


Рисунок 1 – Расстояние видимости для движущегося транспортного средства к железнодорожному переезду

При невозможности обеспечения достаточных расстояний видимости на подходах к железнодорожным переездам вводится ступенчатое ограничение скорости движения автомобилей в соответствии с п. 5.4.22 ГОСТ Р 52289–2019 или применяются дорожные знаки приоритета 2.5 «Движение без остановки запрещено» если расстояние видимости приближающегося поезда составляет менее 50 м. В таблице 4 представлена требуемая дальность видимости с учетом допустимой скорости движения автомобилей.

Таблица 4 – Расчетная допустимая скорость движения транспортного средства в зоне железнодорожного переезда

Дальность видимости, м	51–75	76–100	101–125	126–150	151–200	201–400
Допустимая скорость движения автомобиля, км/ч	20	30	35	40	50	60

Расстояние видимости вдоль железнодорожных путей, позволяющее автотранспортному средству пересечь железнодорожный переезд и покинуть опасную зону до прибытия поезда определяется по формуле

$$d_T = \frac{v_n}{v_{TC}} \left(A v_{TC} T + \frac{B v_{TC}^2}{a} + 2\Delta S + L + W \right), \quad (2)$$

где v_n – скорость поезда, км/ч; L – длина ТС, м (принимается равной 20 м); W – расстояние между внешними

рельсами, м (для одной колеи это значение равно 1,52 м), измеренное вдоль оси проезжей части автомобильной дороги (улицы).

Достаточную дальность видимости из стоящего у железнодорожного переезда автодорожного транспортного средства можно определить по формуле

$$d_T = A v_{II} \left(\frac{v_{a1}}{a_1} T + \frac{L + 2\Delta S + W - Z_a + T}{v_{a1}} \right), \quad (3)$$

где d_T – требуемое расстояние видимости для остановившегося перед переездом автомобиля, позволяющее транспортному средству пересечь железнодорожный переезд и освободить переезд до прибытия поезда, м (рисунок 3); v_{a1} – максимальная скорость ТС на выбранной начальной передаче; принимается, что данная скорость, м/с (принимается равной 2,68 м/с); a_1 – ускорение ТС на первой передаче, м/с² (принимается равным 0,448 м/с²); Z_a – расстояние, которое автомобиль проезжает при разгоне до максимальной скорости на первой передаче, м (принимается равным 8,05 м).

Схема определения достаточного расстояния видимости для остановившегося транспортного средства у железнодорожного переезда представлена на рисунке 2. Расчетные расстояния видимости d_H и d_T для различных скоростей движения транспортных средств представлены в таблице 5.

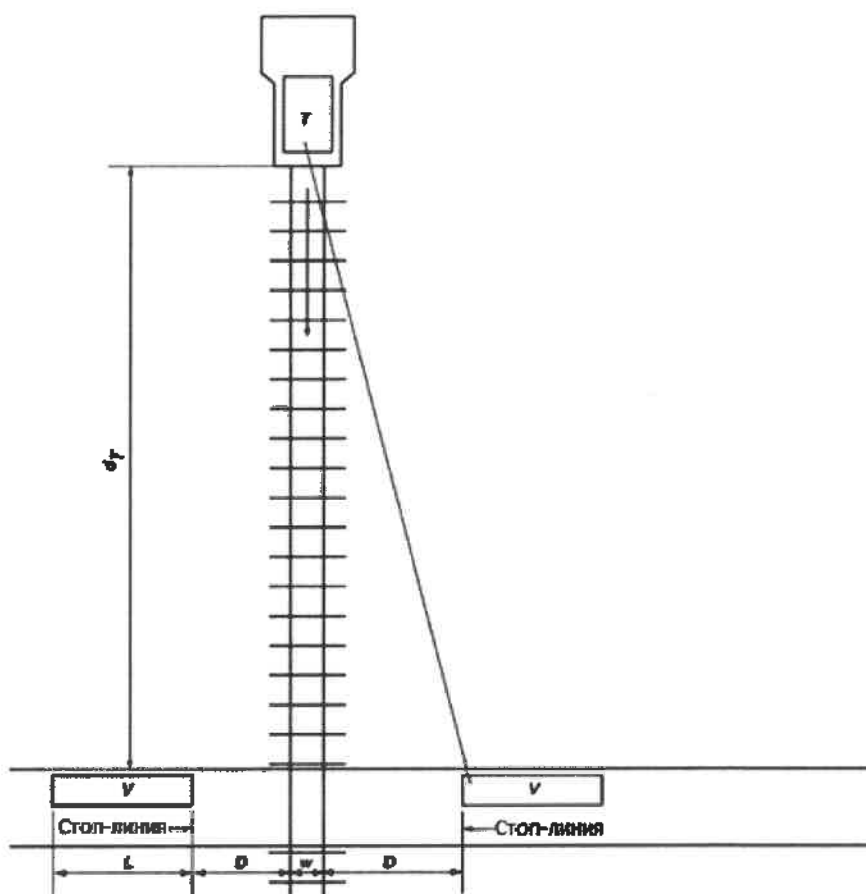


Рисунок 2 – Расстояние видимости для остановившегося у железнодорожного переезда автомобиля

Таблица 5 – Расчетные расстояния видимости для различных скоростей движения транспортных средств

Скорость поезда, км/ч	Скорость транспортного средства, км/ч															
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
<i>Расстояние вдоль железной дороги от железнодорожного переезда $d_т$, м</i>																
10	49	41	26	22	21	21	21	21	22	22	23	24	25	26	27	28
20	97	81	52	44	42	41	41	42	43	44	46	48	49	51	53	55
30	146	121	78	66	62	61	61	62	64	66	69	71	74	77	80	82
40	194	161	104	88	83	81	81	83	85	88	91	95	98	102	106	110
50	243	201	130	110	103	101	102	104	107	110	114	118	123	127	132	137
60	291	241	156	132	124	121	122	124	128	132	137	142	147	153	159	164
70	339	281	182	154	144	141	142	145	149	154	159	165	172	178	185	192
80	388	322	208	176	165	161	162	165	170	176	182	189	196	204	211	219
90	436	362	234	198	185	182	183	186	191	198	205	212	220	229	238	246
100	485	402	260	220	206	202	203	207	213	220	227	236	245	254	264	274
110	533	442	286	242	226	222	223	227	234	241	250	260	269	280	290	301
120	582	482	312	264	247	242	243	248	255	263	273	283	294	305	317	328
130	630	522	338	286	267	262	263	269	276	285	296	307	318	330	343	356
140	678	562	363	308	288	282	284	289	297	307	318	330	343	356	369	383
150	727	602	389	330	308	302	304	310	319	329	341	354	367	381	396	410
<i>Расстояние вдоль автомобильной дороги от железнодорожного переезда $d_д$, м</i>																
–	–	17	29	44	60	79	100	123	149	176	207	239	273	310	349	391

Формулы (1)–(3) справедливы для случая, когда горизонтальная автомобильная дорога или улица пересекает однопутную железную дорогу под прямым углом и корректируются с учетом конкретных до-

рожных условий, габаритов и динамических характеристик ТС.

Вновь создаваемые защитные лесные насаждения должны обеспечивать водителям транспортных средств на расстоянии 50 м и менее от железнодорожного пере-

езда видимость приближающегося к нему поезда на расчетном расстоянии по формуле (2). Если на подходах к нерегулируемым железнодорожным переездам для водителей транспортных средств, находящихся на удалении не более 50 м от ближнего рельса, не обеспечена видимость приближающегося поезда на расчетном расстоянии по формуле (2) безопасном расстоянии, то владелец инфраструктуры или владелец железнодорожных путей необщего пользования устанавливает постоянное ограничение скорости движения поездов.

В случаях недостаточной видимости сигналов переездных светофоров устанавливаются дополнительные светофорные головки, обращенные в обе стороны по направлениям движения ТС и (или) дублирующие переездные светофоры с левой стороны дороги (улицы). На автомобильных дорогах и улицах с двумя и более полосами движения в одну сторону переездные светофоры дублируются на консолях над проезжей частью с правой стороны по направлению движения ТС.

Заключение

Предложено внести изменения и дополнения в [2] и в [3] в части требований к оценке дальности видимости в зоне железнодорожного переезда. В СП 227.1326000.2014. «Свод правил. Пересечения железнодорожных линий с линиями транспорта и инженерными сетями», СП 119.13330.2017 «Свод правил. Железные дороги колеи 1520 мм», СП 34.13330.2021 «Свод правил. Автомобильные дороги. СНиП 2.05.02-85*» предлагается закрепить положения о том, что для проектируемых и существующих переездов удовлетворитель-

ной считается видимость, соответствующая новым предложенным требованиям. Переезды должны быть оборудованы средствами, обеспечивающими безопасность движения автомобильного транспорта, в соответствии с нормами, установленными в новой редакции [2] и [3].

Список литературы

1 Исследования режимов работы пересечений улиц и дорог с железнодорожными линиями общего пользования и железнодорожными путями необщего пользования в части автомобильного транспорта : отчет о НИР (этапы № 1–3) / рук. НИР С. Н. Карасевич; исполн.: Бобоедова М. В., Аземша С. А. [и др.] / ГАУ «Институт Генерального плана Москвы». – М., 2022.

2 Об утверждении Условий эксплуатации железнодорожных переездов : приказ М-ва трансп. РФ от 31.07.2015 № 237 (с изм. и доп.) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://base.garant.ru/71178536/#friends>. – Дата доступа : 05.10.2022.

3 Железнодорожные переезды. Правила проектирования, устройства и эксплуатации : ТКП 543-2014 (20190). – Минск, 2014. – 74 с.

4 Highway-Rail Crossing Handbook [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://safety.fhwa.dot.gov>. – Дата доступа : 05.10.2022.

5 Карасевич, С. Н. Снижение автотранспортных потерь на железнодорожных переездах техническими средствами организации дорожного движения : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.10 / С. Н. Карасевич; Белорус. нац. техн. ун-т. – Минск, 2014. – 201 с.

Получено 11.01.2023

S. N. Karasevich, S. A. Azemsha. Justification of safe conditions of visibility in the zone of single-level intercrossing of road and railways.

Considers the required visibility distances in the zone of a single-level intersection of a road and a railway in terms of ensuring the safety of vehicle traffic. It is shown that the existing approaches to assessing the conditions of safe visibility distances in the zone of a railway crossing, which are incorporated in the regulations, do not solve the issues of operational safety assessment of vehicle traffic with the necessary completeness, taking into account the actual visibility of the road situation at the approaches to the railway crossing. Developed and substantiated proposals for making changes and additions to the regulatory documents governing the design, construction and operation of railway crossings.

УДК 658.012.011.56

В. Б. ПОПОВ, кандидат технических наук, доцент, Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого; И. А. БАРАН, Научно-технический центр комбайностроения ОАО «Гомсельмаш», г. Гомель

ИССЛЕДОВАНИЕ СКОРОСТЕЙ АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО ПОТОКА В СИСТЕМЕ ОЧИСТКИ САМОХОДНОГО ЗЕРНОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА С ПОМОЩЬЮ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Рассматривается анализ системы очистки зерноуборочного комбайна, влияние технологического тракта и конструктивных особенностей на формирование технологического потока в системе очистки. Сформировано формализованное описание k-ε-модели турбулентности, используемой в расчете сплошной среды. Получены необходимые параметры для проведения компьютерного моделирования, расчета, анализа и разработки системы очистки зерноуборочного комбайна с технологическим трактом, имеющего лучшие показатели производительности и энергоёмкости.

На современном этапе развития технологии производства при разработке высокотехнологичной и конкурентоспособной продукции, возникает необходимость использования перспективных компьютерных технологий, которые позволяют обеспечить поддержку жизненного цикла продукции, так называемых CALS-технологий. Ядро CALS-технологий составляют CAD/CAE/ CAM/PDM – технологии, где традиционный последовательный подход к разработке новых изделий заменен принципиально новым интегрированным подходом, получившим название «параллельное проектирование». В основе этой технологии лежит идея совмещенного во времени компьютерного проектирования изделия (CAD), выполнения многовариантных инженерных расчетов (CAE, компьютерный инжиниринг – наукоемкая составляющая CALS-технологий) и технологической подготовки производства (CAM), что позволяет использовать проектные данные, начиная с самих ранних стадий проектирования и инженерного анализа одновременно различными группами специалистов (PDM) [1].

Объектом исследования является система очистки зерноуборочного комбайна (СОЗК) с учетом научных исследований, представленных в [2–4]. При этом основные проблемы при определении параметров системы очистки – заключаются в повышении ее производительности. Повышение пропускной способности технологического тракта зерноуборочного комбайна связано, в том числе, с аэродинамическим анализом процесса отделения легковесных частиц из поступающего в СОЗК зернового вороха.

Цель работы – обоснование и выбор формализованного описания аэродинамики в СОЗК, обеспечивающего лучшие показатели производительности и энергоёмкости технологического тракта.

Зерноуборочный комбайн (рисунок 1) предназначен для прямой и раздельной уборки зерновых колосовых культур, а с применением специальных приспособлений – для уборки зерновой части подсолнечника, зернобобовых, крупяных культур и семенников трав. Комбайн производит срез, обмолот, сепарацию, очистку зерна, накопление зерна в зерновом бункере с последующей выгрузкой, а также обеспечивает уборку незерновой части урожая по следующим технологическим схемам: укладка соломы в валок, измельчение и разбрасывание соломы по полю.

Комбайн состоит из двух основных частей: жатвенной и молотильной, не считая ходовой части и средств для уборки соломы и полова.



Рисунок 1 – Самоходный зерноуборочный комбайн КЗС-3219

В жатвенную часть комбайна входят мотовило, режущий аппарат и транспортирующие органы (рисунок 2). При раздельном комбайнировании мотовило и режущий аппарат не используется и заменяются подборщиком.

Основными органами молотильной части являются молотильное устройство, соломотряс, очистка, шнеки и элеваторы.

Технологический процесс прямого способа уборки урожая осуществляется следующим образом.

При движении комбайна лопасти мотовила 27 (см. рисунок 2) жатки для зерновых культур захватывают и подводят порции стеблей к режущему аппарату 26, а затем подают срезанные стебли к шнеку 25. Шнек, имея спирали правого и левого направления, перемещает срезанные стебли от краев к центру жатки, где расположен пальчиковый механизм. Пальчиковый механизм шнека захватывает их, а также стебли, непосредственно поступающие на него, и направляет в окно жатки, из которого масса отбирается к транспортеру наклонной камеры 24, подающему поток хлебной массы в молотильный аппарат к барабану-ускорителю 23, а затем к молотильному барабану 21, где и происходит обмолот. В процессе обмолота зерно, полова и мелкий солоmistый ворох просыпаются через решетку подбарабана 20 и 22 на стрясную доску 18, остальной ворох отбрасывается отбойным битером 19 на соломотряс 8, на клавишах которого происходит дальнейшее выделение зерна из солоmistого вороха.

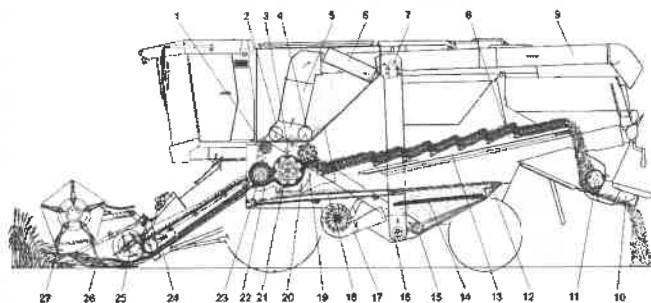


Рисунок 2 – Схема технологического процесса работы зерноуборочного комбайна:

1 – шнек распределительный; 2, 4 – шнеки горизонтальные выгрузные; 3 – элеватор колосовой; 5 – шнек наклонный выгрузной; 6 – шнек загрузной зерновой; 7 – элеватор зерновой; 8 – соломотряс; 9 – шнек поворотный выгрузной; 10 – дефлектор; 11 – соломоизмельчитель; 12 – верхний решетный стан; 13 – доска скатная; 14 – нижний решетный стан; 15 – шнек колосовой; 16 – шнек зерновой; 17 – вентилятор; 18 – доска стрясная; 19 – битер отбойный; 20 – подбарабанье; 21 – барабан молотильный; 22 – переднее подбарабанье; 23 – барабан-ускоритель; 24 – транспортер наклонной камеры; 25 – шнек; 26 – режущий аппарат; 27 – мотовило

Солома транспортируется клавишами соломотряса к заднему капоту и в зависимости от настройки соломоизмельчителя 11 формируется в валок или измельчается ротором соломоизмельчителя и через дефлектор 10 разбрасывается по полю. Полова и легкие примеси воздушным потоком вентилятора 17 выдуваются из очистки на поле. Зерновая смесь, попавшая на стрясную доску 18, транспортируется к верхнему решетному стану 12. При движении смеси по стрясной доске происходит предварительное разделение на фракции, зерно перемещается вниз, а остальное – вверх. Слой зерновой смеси, проваливающийся через пальцевую решетку стрясной доски, несколько разрыхляется, благодаря чему зерно и тяжелые примеси проваливаются вниз на дополнительное решето верхнего решетного стана, а солома и другие легкие примеси под действием воздушной струи вентилятора выдуваются из молотилки.

Часть зерна проваливается через дополнительное решето на нижнее решето решетного стана 14, а остальная часть с дополнительного решета попадает на верхнее решето решетного стана. С верхнего решета зерно просыпается на нижнее решето, с которого очищенное зерно ссыпается через поддон к шнеку зерновому 16 и загрузается в бункер элеватором зерновым 7 и шнеком загрузным 6. Через удлинитель верхнего решетного стана недомолаченные колоски ссыпаются в поддон к шнеку колосовому 15 и подаются элеватором колосовым 3 в домолачивающее устройство. Затем распределительный шнек домолачивающего устройства равномерно распределяет повторно обмолаченную смесь по ширине стрясной доски. Очищенное зерно после заполнения бункера зерна выгружается в транспортное средство шнеком выгрузным 9.

Качество выделения зерна из вороха, при прочих равных условиях, зависит от воздушного потока вентилятора, размеров отверстий решет и их кинематики. Разделение вороха в СОЗК на зерно и незерновые примеси производится в основном по весу и парусности частиц. В зерноуборочных комбайнах применяют регулируемые жалюзийные решета для настраивания размеров отверстий. Зерновой ворох, прошедший через отверстия удлинителя

верхнего решета, и сходы с решета поступают в колосовой шнек, откуда в зависимости от содержания недомолаченного колоса направляются в молотильный аппарат или на соломотряс (рисунок 3).

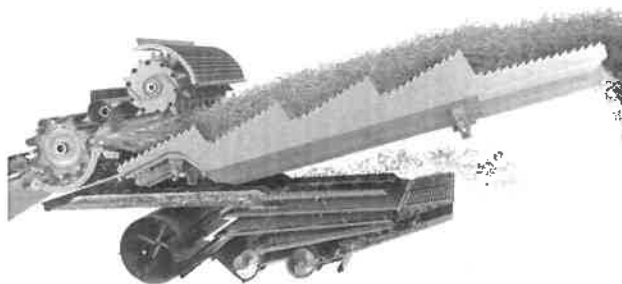


Рисунок 3 – Система очистки зерноуборочного комбайна

Основной путь увеличения производительности зерноуборочного комбайна – подбор оптимальных параметров СОЗК путем компьютерного моделирования процесса очистки на основе экспериментальных данных и численного моделирования аэродинамики технологического тракта.

Для компьютерного моделирования турбулентных течений в системе очистки зерноуборочного комбайна в НТЦК ОАО «Гомсельмаш» используется модуль ANSYS Fluent программного-аппаратного комплекса ANSYS. Использование возможностей программного комплекса ANSYS Fluent при моделировании аэродинамических потоков позволяет получить реальное представление о физических процессах, происходящих внутри исследуемой области, что в свою очередь дает возможность улучшить конструкции проточных частей систем очистки зерноуборочных комбайнов.

На основании анализа результатов расчетов, проведенных с использованием приведенных выше моделей турбулентности, и экспериментальных исследований аэродинамических потоков в системах очистки зерноуборочных комбайнов, проведенных в НТЦК ОАО «Гомсельмаш», для расчета сплошной среды в системе очистки зерноуборочного комбайна было принято решение об использовании $k-\epsilon$ -модели турбулентности при проведении компьютерного моделирования аэродинамики в проточных частях аэродинамического тракта комбайнов. $k-\epsilon$ -модель относится к классу дифференциальных моделей турбулентности с двумя уравнениями, в ней строятся два дополнительных дифференциальных уравнения переноса для осредненных пульсационных характеристик, через которые затем выражается коэффициент турбулентной вязкости μ_t .

Для определения турбулентной вязкости в этой модели рассматриваются два скалярных параметра: удельная кинетическая энергия турбулентности

$$k = \frac{1}{2} \overline{v'v'} \quad (1)$$

и скорость вязкой диссипации энергии турбулентности

$$\epsilon = 2\nu \text{tr} \left(\text{grad} \vec{v}' \left(\text{grad} \vec{v}' \right)^T \right) \quad (2)$$

Уравнение для кинетической энергии турбулентности можно найти с помощью некоторых преобразований. С учетом (1) получим

$$\begin{aligned} \frac{\partial k}{\partial t} + \text{grad}k \cdot \vec{v} = \overline{\vec{v} \cdot \vec{v} \text{ grad} \cdot \vec{v}} + \\ + \text{div} \left(v \text{ grad}k - \vec{v} \left(\frac{p'}{p} + \frac{1}{2} \overline{\vec{v} \cdot \vec{v}} \right) \right) - \\ - 2\nu \text{tr} \left(\text{grad} \vec{v} \cdot \left(\text{grad} \cdot \vec{v} \right)^T \right). \end{aligned} \quad (3)$$

По форме это уравнение является стандартным уравнением переноса. Рассмотрим физический смысл слагаемых, входящих в уравнение (3):

- левая часть описывает конвективный перенос вещества (здесь это энергия турбулентности);
- в правой части:
 - первый член описывает генерацию турбулентности;
 - второй член – диффузионный перенос кинетической энергии турбулентности двух видов:
 - молекулярный (первое слагаемое в скобках);
 - турбулентный (второе слагаемое);
 - третий член описывает диссипацию кинетической энергии турбулентности.

Первый из членов в правой части (3) содержит тензор турбулентных напряжений, который, по гипотезе Буссинеска, выражается через осредненные характеристики потока. Последний член представляет собой не что иное, как скорость вязкой диссипации энергии турбулентности (2).

Таким образом, неопределенным остается только член, отвечающий за турбулентную диффузию, и для замыкания уравнения (3) необходимо записать его через осредненные характеристики. Для этого используется гипотеза градиентной диффузии, согласно которой турбулентный диффузионный перенос кинетической энергии турбулентности выражается по аналогии с молекулярным переносом через ее градиент:

$$\vec{v} \left(\frac{p'}{p} + \frac{1}{2} \overline{\vec{v} \cdot \vec{v}} \right) = \frac{1}{\sigma_k} v_t \text{ grad}k, \quad (4)$$

где v_t – кинематический коэффициент турбулентной вязкости; σ_k – безразмерная эмпирическая константа.

Тогда

$$\frac{\partial k}{\partial t} + \text{grad}k \cdot \vec{v} = P_k + \text{div} \left(\left(v + \frac{v_t}{\sigma_k} \right) \text{ grad}k \right) - \varepsilon, \quad (5)$$

$$P_k = -T_n \text{ grad} \cdot \vec{v}. \quad (6)$$

При этом $T_n = T_i / \rho$ нормированный на плотность тензор турбулентных напряжений, также равный $T_w = \overline{\vec{v} \cdot \vec{v}}$, что видно из (3) и (5). Тогда

$$T_n = \frac{T_i}{\rho} = \frac{2\mu_t D - \frac{2}{3} p k l}{\rho} = \left[v_t = \frac{\mu_t}{\rho} \right] = 2v_t D - \frac{2}{3} k l.$$

$$\text{С учетом } D = \frac{1}{2} \left(\text{grad} \vec{v} + \left(\text{grad} \vec{v} \right)^T \right),$$

$$T_w = v_t \left(\text{grad} \vec{v} + \left(\text{grad} \vec{v} \right)^T \right) - \frac{2}{3} k l. \quad (7)$$

Для связи кинематического коэффициента турбулентной вязкости с осредненными параметрами модели используется соотношение, выражающее гипотезу

Колмогорова – Прандтля:

$$v_t = C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon}, \quad (8)$$

где C_μ – безразмерная эмпирическая константа.

Уравнения для скорости вязкой диссипации энергии турбулентности ε можно получить двумя способами:

1) вывести при помощи процедуры осреднения по Рейнольдсу аналогично тому, как описано выше для удельной кинетической энергии турбулентности k . Это уравнение будет содержать различные корреляции, которые невозможно определить через осредненные параметры потока. Естественно, в этом случае потребуются некоторые дополнительные предположения для моделирования членов полученного уравнения;

2) записать стандартную форму уравнения переноса для ε и предположить, что генерация и диссипация ε пропорциональны аналогичным величинам для k (входящим в уравнение (3)) с эмпирическими коэффициентами пропорциональности.

Так или иначе оба пути приводят к уравнению, вид которого подобен виду аналогичного уравнения для k (5) с двумя эмпирическими константами C_1 и C_2 :

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + \text{grad} \varepsilon \cdot \vec{v} = C_1 \frac{\varepsilon}{k} + \text{div} \left(\left(v + \frac{v_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \text{ grad} \varepsilon \right) - C_2 \frac{\varepsilon^2}{k}. \quad (9)$$

Уравнения (5)–(9), которые надо решать совместно с осредненным по Рейнольдсу уравнением Навье – Стокса, составляют так называемую стандартную (высокорейнольдсовую) модель турбулентности Сполдинга – Лаундера. На основе калибровки констант для этой модели, выполненной по экспериментальным данным для струйных течений, приняты следующие их значения:

$$\sigma_k = 1, C_\mu = 0,09, \sigma_\varepsilon = 1,3, C_1 = 1,44, C_2 = 1,92. \quad (10)$$

Стандартная модель (как и другие высокорейнольдсовые модели) дает хорошие результаты для струйных и других свободных течений, однако плохо работает вблизи стенок, поскольку здесь локальное турбулентное число Рейнольдса Re_ε мало. Для расчета пристенных течений используются либо низкорейнольдсовые модели, либо версии k - ε -моделей, в которые введены пристенные функции, т. е. в этих моделях в уравнения вводятся дополнительные функции, отвечающие за влияние стенок на турбулентность. В общем случае большинство низкорейнольдсовых k - ε -моделей могут быть записаны следующим образом:

$$\frac{\partial k}{\partial t} + \text{grad}k \cdot \vec{v} = P_k + \text{div} \left(\left(v + \frac{v_t}{\sigma_k} \right) \text{ grad}k \right) - \varepsilon - f_k, \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + \text{grad} \varepsilon \cdot \vec{v} = C_1 \frac{\varepsilon}{k} + \\ + \text{div} \left(\left(v + \frac{v_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \text{ grad} \varepsilon \right) - C_2 f_2 \frac{\varepsilon^2}{k} - f_\varepsilon, \end{aligned} \quad (12)$$

$$v_t = C_\mu f_\mu \frac{k^2}{\varepsilon}. \quad (13)$$

Здесь введены четыре пристенные функции – f_k, f_2, f_ε и f_μ , зависящие от k и ε .

В популярной низкорейнольдсовой модели функции задаются в форме

$$f_{\mu} = e^{-\frac{3,4}{(1+0,02Re_t)^2}}, \quad (14)$$

$$f_2 = 1 - 0,3e^{-Re_t^2}. \quad (15)$$

Отметим, что локальное турбулентное число Рейнольдса также можно определить через величины k и ε :

$$Re_t = \frac{k^2}{\nu\varepsilon}. \quad (16)$$

К достоинствам k - ε -моделей относится высокая точность при расчете свободных сдвиговых течений. Они достаточно универсальны и не требуют задания каких-либо дополнительных параметров. Тем не менее трудности, связанные с их применением в пристенных областях, заставляют исследователей изобретать всё новые и новые модели. Однако до настоящего времени никаких предпочтений среди моделей, базирующихся на концепции осреднения по Рейнольдсу, по существу, не наблюдается, поскольку не существует «универсальной» модели турбулентности.

Использование возможностей программного комплекса ANSYS Fluent при моделировании аэродинамических потоков позволяет получить реальное представление о физических процессах, происходящих внутри исследуемой области, что в свою очередь дает возможность улучшить конструкции проточных частей СОЗК (рисунок 4).

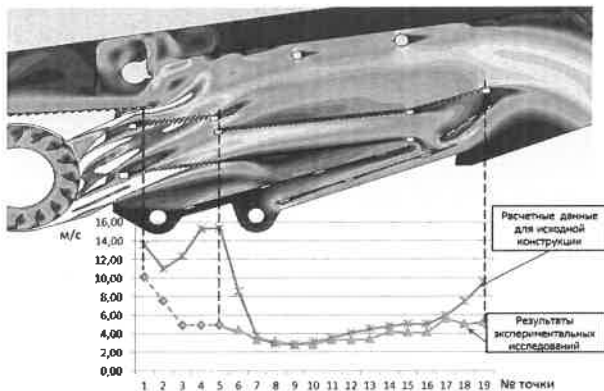


Рисунок 4 – Моделирование и верификация компьютерной модели с результатами экспериментальных данных

На рисунке 4 представлены результаты компьютерного моделирования аэродинамических потоков в системе очистки зерноуборочного комбайна КЗС-3219, а также графики скоростей аэродинамического потока над верхним решетом по результатам эксперимента и компьютерного моделирования. Графики построены по результатам определения скоростей в точках, которые были равномерно распределены над верхним решетом и совпадали при проведении эксперимента и компьютерного моделирования. Из рисунка 4 следует, что настройки параметров компьютерной модели позволяют до-

Получено 11.01.2023

V. B. Popov, I. A. Baran. Study of aerodynamic flow velocities in the cleaning system of a self-propelled grain harvester using computer simulation.

The analysis of the cleaning system of a combine harvester, the influence of the technological path and design features on the formation of the technological flow in the cleaning system is considered. A formalized description of the k - ε -model of turbulence used in the calculation of a continuous medium is formed. Conducting experimental studies made it possible to obtain the necessary parameters for computer simulation, calculation, analysis and development of a cleaning system for a combine harvester with a technological path, which has the best performance and energy intensity.

биться ее высокой степени адекватности по отношению к результатам эксперимента.

Внедренная в НТЦК ОАО «Гомсельмаш» в процесс проектирования новой техники методика компьютерного моделирования аэродинамических потоков в системе очистки зерноуборочного комбайна позволила создать зерноуборочный комбайн, имеющий лучшие показатели а также подобрать оптимальные конструктивные параметры технологического тракта для получения заданной производительности зерноуборочного комбайна и энергоёмкости процесса разделения зернового вороха на фракции.

Подготовка специалистов для развития всех отраслей машиностроения и обеспечения безопасных условий эксплуатации их продукции, соответствующих учебных и методических пособий с учетом изложенных выше новых подходов к обеспечению безопасной эксплуатации объектов техносферы и населения с использованием критериев риска [1–6] будут способствовать успешной реализации современных подходов к проектированию и эксплуатации высокорискового оборудования, а также переходу к новому этапу научных исследований, удовлетворяющих предъявляемым к нему повышенным комплексным требованиям по прочности, ресурсу, живучести и безопасности в ближайшем будущем и на отдаленную перспективу.

Список литературы

- 1 Численное моделирование на основе программного пакета STAR-CD аэродинамических потоков с целью выявления ударных волн в турбокомпрессоре / А. М. Крот [и др.] // Авиадвигатели XXI века : II Междунар. науч.-техн. конф. – М. : ЦИАМ, 6–9 дек. 2005 г. – Т. 1. – С. 3.
- 2 Бойко, Л. И. Динамическое взаимодействие колеблющегося органа ашины с источником энергии ограниченной мощности / Л. И. Бойко // Весці НАН РБ. Сер. фізіка-тэхнічных навук. – 1998. – № 3. – С. 28–36.
- 3 Попов, В. Б. Алгоритм параметрического анализа механизма двухстанной очистки зерноуборочного комбайна / В. Б. Попов, А. В. Голопятин, А. А. Новиков // Вестник ГГТУ им. П. О. Сухого. – 2018. – № 2. – С. 27–33.
- 4 Попов, В. Б. К вопросу о параметрической оптимизации механизма очистки зерноуборочного комбайна / В. Б. Попов // Инновационные технологии в агропромышленном комплексе – сегодня и завтра : сб. тезисов докладов 2-й Междунар. науч.-практ. конф., 4–5 окт. 2018 г. – Гомель, 2018. – С. 50–52.
- 5 Баран, И. А. Использование компьютерного моделирования аэродинамических потоков при проектировании систем очистки зерноуборочных комбайнов / И. А. Баран, А. Н. Выровский, С. В. Труханович // Молодежь в науке–2014 : приложение к журналу «Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі» : [материалы Междунар. науч. конф. молодых ученых, Минск, 18–21 нояб. 2014 г.] : в 5 ч. Ч. 3. – Минск, 2015. – С. 56–61.
- 6 Баран, И. А. Исследование распределения воздушных потоков в системе очистки зерноуборочного комбайна КЗС-1319 в зависимости от геометрических параметров проточных областей / И. А. Баран, С. В. Труханович // Вестник аграрной науки Дона. – 2019. – № 1 (45). – С. 29–38.

УДК 614.84

В. М. КЛИМОВЦОВ, Академия государственной противопожарной службы МЧС России, г. Москва; В. В. КОПЫТКОВ, кандидат технических наук, Филиал «Институт профессионального образования» Университета гражданской защиты МЧС Беларуси, г. Гомель; М. М. СЕЙДАЛИН, Академия гражданской защиты им. Малика Габдуллина МЧС Республики Казахстан, г. Кокшетау

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ АНТРОПОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СОТРУДНИКОВ ГАРНИЗОНА ПРОТИВОПОЖАРНОЙ СЛУЖБЫ ГОРОДА КОКШЕТАУ НА ПРЕДЕЛЬНО-ГАБАРИТНЫЕ РАЗМЕРЫ ПОЖАРНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

Приведены результаты замеров антропометрических параметров сотрудников гарнизона противопожарной службы г. Кокшетау, а также предельно-габаритные размеры основных пожарных автомобилей, стоящих на вооружении в Республике Казахстан и Республике Беларусь, которые являются основополагающим фактором в системе «человек – машина». На основании проведенных замеров определены показатели среднего роста, его среднеквадратичное отклонение, а также усредненные показатели других антропометрических признаков. Рассмотрены необходимые эргономические критерии для организации рабочего места сотрудника, влияние условий труда на достижение поставленной задачи по тушению пожаров.

Введение. Современный пожарный аварийно-спасательный автомобиль (ПАСА) представляет собой сложный технологический комплекс, который используется для решения оперативно-тактических задач по тушению пожаров и проведению аварийно-спасательных работ, так как пожары, с которыми сегодня сталкиваются сотрудники территориальных подразделений МЧС, кардинально отличаются от тех, что имели место 15–20 лет назад. Это вызвано, прежде всего, увеличением площадей застройки, этажности зданий, плотности автомобильного потока, широкого ассортимента строительных материалов, различного происхождения и т. п. Для решения этих задач стала усложняться и пожарная техника, появилось множество видов пожарных автомобилей, каждый из которых имеет свою комплектацию, предельно-габаритные размеры и мощность.

Сегодня ПАСА выполняются на базе шасси до-рожных автомобилей (базовые шасси общего назначения), на шасси повышенной проходимости (полный привод, широкопрофильные колеса) и на вездеходном шасси (полный привод, широкопрофильные колеса, регулирование давления воздуха в шинах, равномерное распределение осей по базе) [1]. В отсеках пожарной автоцистерны размещаются: запас пожарных напорных рукавов, рукава всасывающие и напорно-всасывающие, колонка пожарная, водосборник пожарный, стволы ручные пожарные, сетка всасывающая, зажим рукавный, задержки рукавные, насадок пенный на лафетный ствол, гидрозелеватор пожарный, стволы пенные низкой кратности, генераторы пены средней кратности, изолирующие средства защиты органов дыхания, комплект средств защиты от поражения электрическим током, шанцевый инструмент. На пожарной надстройке сверху размещаются лестницы ручные пожарные: трехколенная, штурмовая, лестница-палка [2].

Постановка задачи. Для оптимизации времени приведения сил и средств в состояние боевой готовности необходимы создание благоприятных условий в системе «человек – машина», а также грамотная организация рабочего места.

Согласно общепринятой концепции рабочее место – это пространство, предназначенное для работы одного человека или группы людей, позволяющее выполнять поставленные задачи [3]. От того, насколько оно удобно, насколько рационально в соответствии с функционалом технически оснащено, будет во многом зависеть самочувствие, рабочий настрой, скорость и эффективность выполнения задач [4].

Основная часть. При разработке рабочих мест необходимо учитывать, что их конструктивные особенности, размеры и взаимное расположение элементов должны соответствовать антропометрическим, физиологическим и психо-физиологическим данным человека [5, 6]. При этом должно обеспечиваться устойчивое положение и свобода движений, возможность контроля и безопасность выполнения трудовых операций.

Для того чтобы создать безопасные и благоприятные условия труда для пожарных, необходимо соблюдать оптимальное соотношение в системе «человек – машина – окружающая среда». В статье [7] указывается, что на стадии проектирования пожарных машин необходимо учитывать антропометрические характеристики пожарных (рост, рост сидя, расстояние от ягодицы до колена, расстояние между локтями, ширину бедер в положении сидя, высоту колена, высоту подколенной ямки, высоту бедра в положении сидя). Учет этих параметров должен быть доминирующим аспектом при проектировании и конструировании пожарных автомобилей [8]. В связи с этим оптимизация эргономических показателей ПАСА с учетом антропометрических особенностей принимаемых на службу работников МЧС Республики Казахстан (на примере гарнизона г. Кокшетау) является актуальным направлением исследования.

Анализ антропометрических признаков пожарных гарнизона г. Кокшетау представлен в таблицах 1 и 2. При анализе полученной информации использовались статистические методы обработки эмпирических данных [9].

Среднеквадратичное отклонение вычислялось по формуле

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^s (X_i - \bar{X})^2 m_i^n}, \quad (1)$$

где n – число измерений; s – число интервалов; m_i^n – эмпирические частоты в i -м интервале; X_i – середина i -го интервала попаданий, см.

Средний рост пожарных определяется по формуле

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^s (x_i m_i^n). \quad (2)$$

Подставив результаты замеров в формулы (1) и (2), получаем что среднеквадратичное отклонение $\sigma = 3,02$, а средний рост $\bar{X} = 174,8$ см. Аналогично были определены и другие параметры частей тела.

Таблица 1 – Усредненные параметры частей тела пожарных г. Кокшетау

В сантиметрах

Рост	Длина туловища	Высота плечевой точки	Ширина плеч	Локтевая ширина	Ширина таза сидя	Ширина коленей	Длина руки	Толщина тела	Длина подколенной части	Высота подколенной части бедра
174,8	102,7	152,6	60,34	61,1	48,72	32,53	71,65	39,85	39,6	48,2

Таблица 2 – Средний рост и среднеквадратичное отклонение роста пожарных

Середина интервала, x_i , см	Накопленные частоты в интервале, m_i^n	$x_i m_i^n$	$x_i - \bar{X}^2 - m_i^n$
166,5	11	1831,5	757,79
170,5	54	9207	998,46
174,5	53	9248,5	4,77
178,5	41	7318,5	2430,89
182,5	15	2737,5	1029,23
186,5	5	932,5	684,45
190,5	1	190,5	246,49
$\bar{X} = 174,8$ см, $\sigma = 3,02$			

На этапе проектирования пожарных автомобилей конструкторскому бюро следует учитывать тот факт, что эксплуатировать их будут люди разного роста (от 165 до 200 см), а также что пожарный расчет, находящийся как в основной, так и в дополнительной кабине пожарной автоцистерны, может быть экипиро-

ван в дыхательные аппараты, а это в свою очередь требует дополнительного пространства.

Предельно-габаритные размеры основных пожарных автомобилей согласно выполненным расчетам приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Предельно-габаритные размеры основных пожарных автомобилей

В сантиметрах

Основной параметр	Модель базового шасси								
	АЦ-8-40 (43118)	АЦ-5-40 (43253)	АЦ-8-40 (43118)	АЦ-8-40 (5350)	АЦ-5-40 (4320)	АЦ-8-40 (5557)	АЦ-3,2-40 (4331) 8Вр	АЦ-5-40 (МАЗ 5434)	АЦ-10-40 (МАЗ 63170)
Высота открытого проема двери кабины пожарного расчета	76/139	134/77	124/77	125/90	132/82	118/76	138/80	127/98	180/73
Ширина прохода в кабину пожарного расчета	40	60	45	55	62	27	37	60	25
Ширина отсека	77	110	70	92	139	71	117	95	95
Высота от пола (земли) до нижнего края отсека	141	125	145	145	144	141	118	113	135
Высота от пола (земли) до верхнего края отсека	229	213,5	240	223	231	220	190	218	275
Глубина отсека для размещения ПТВ	54	42	52	57	40	58	40	60	53
Высота расположения напорного и всасывающего патрубков	122/94	77/101	114/121	140/86	70/97	142/88	58/84	145/115	115/115
Высота расположения ручки для открывания двери кабины пожарного расчета	187	165	180	187	183	188	155	153	180
Высота расположения подножки	45	43	41	58	65	65	50	66	61
Ширина подножки	25	20	25	18	18	15	30	17	24
Расстояние от подножки до пола (земли) кабины	67	70	70	64	87	80	46	70	75

Как видно из таблицы 3, высота расположения отсеков для хранения пожарно-технического вооружения (ПТВ) достигает 275 см, а высота надстройки такого автомобиля согласно паспортным данным АЦ-10-40 достигает 400 см. Для снятия ПТВ из пожарного отсека пожарному-спасателю, в зависимости от роста, придется приложить различные усилия, а при росте 165 см снятие ПТВ без посторонней помощи либо специальных приспособлений не представляется возможным (рисунок 1).



Рисунок 1 – Сравнительная характеристика возможности снятия пожарных рукавов с верхней полки пожарного отсека пожарными ростом 165 и 195 см.

Заключение. Выполненный анализ показал, что расположение ПТВ, используемого при выполнении поставленных задач, должно предусматривать наиболее короткие и удобные зоны движения, а также удобную

Получено 03.05.2023

V. M. Klimovtsov, V. V. Kopytkov, M. M. Seidalin. Analysis of the influence of anthropometric parameters of the employees of the garrison of the fire service of the city of kokshetau on the maximum dimensions of fire trucks.

The results of measurements of anthropometric parameters of the employees of the garrison of the fire service of Kokshetau, as well as the maximum dimensions of the main fire trucks in service in the Republic of Kazakhstan and the Republic of Belarus, which are a fundamental factor in the "man-machine" system, are presented. Based on the measurements carried out, the indicators of average growth, its standard deviation, and also the average indicators of other anthropometric characteristics were determined. The necessary ergonomic criteria for the organization of an employee's workplace, the impact of working conditions on the achievement of the task of extinguishing fires are considered.

рабочую позу для его снятия. Поэтому для повышения оперативности выполнения работ на чрезвычайных ситуациях необходимо провести исследования по оптимизации предельно-габаритных размеров пожарных автоцистерн с учетом антропометрических параметров пожарных для обеспечения высокой производительности и благоприятных условий труда.

Список литературы

1 **Боднарук, В. Б.** Водитель VI разряда : электронный учеб. / В. Б. Боднарук, А. О. Королёв , В. И. Жукалов. – Минск : УГЗ, 2020.

2 Об утверждении Боевого устава органов и подразделений по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь по организации тушения пожаров [Электронный ресурс] : приказ М-ва по чрезвычайным ситуациям Респ. Беларусь, 04 января 2021 г., № 1 // Нац. Интернет-портал Респ. Беларусь. – Режим доступа : <http://mchs.gov.by/zakonodatelstvo-v-sfere-deyatelnosti-mchs/npa-mchs/prikazy/>. – Дата доступа : 27.09.2022.

3 Эргономика : учеб. пособие / сост. А. И. Фех. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 53 с.

4 **Мунипов, В. М.** Эргономика: человекоориентированное проектирование техники, программных средств и среды : учеб. для вузов / В. М. Мунипов, В. П. Зинченко. – М. : Логос, 2001. – 241 с.

5 **Рунге, В. Ф.** Эргономика в дизайне среды : учеб. пособие / В. Ф. Рунге, Ю. П. Манусевич. – М. : Архитектура – С, 2009. – 261 с.

6 Автомобили и тракторы. Основы эргономики и дизайна : учеб. для студентов вузов / И. С. Степанов [и др.]. – М. : НАМИ, 2002. – 42 с.

7 **Климовцов, В. М.** Учет эргометрических показателей на этапе проектирования пожарной техники / В. М. Климовцов, М. М. Сейдалин // Наука и образование в гражданской защите. – 2022. – С. 43–48.

8 Эргономика : учеб. пособие для вузов / В. В. Адамчук [и др.] ; под ред. В. В. Адамчука. – М. : ЮНИТИ-ДАНА, 1999. – 195 с.

9 **Черников, В. Г.** Методы научных исследований в сфере сервиса : учеб. пособие для вузов / В. Г. Черников. – 2-е изд., испр. и доп. – М. : Юрайт, 2020. – 194 с.

ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС

УДК 625.111

П. В. ЖДАНОВИЧ, ведущий инженер НИЛ «Транспортные сооружения», Белорусский государственный университет транспорта; В. П. ЖДАНОВИЧ, кандидат сельскохозяйственных наук, Институт радиобиологии НАН Беларуси; П. В. КОВТУН, кандидат технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель; В. В. ЯЛТЫХОВ, кандидат технических наук, Полоцкий государственный университет, г. Новополоцк

СПОСОБЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАДИУСОВ КРУГОВЫХ КРИВЫХ И ВЛИЯНИЕ ПОГРЕШНОСТИ В ИХ ОПРЕДЕЛЕНИИ НА ДЛИНУ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ

Представлена методика расчета радиусов круговых кривых железнодорожных путей в плане. Сведения о радиусах кривых получают по результатам геодезической съемки железнодорожных путей. Применяют сведения о радиусах при реконструкции и ремонте путей на криволинейных участках, при оценке отклонения фактического положения осей полотна от проектного после окончания строительства или в процессе сдвига при эксплуатации. Определение радиусов существующих железнодорожных путей актуально при исправлении смещений и при износе несущих конструкций путей с целью выправления и приведения их в безопасное рабочее состояние.

Введение. Железнодорожный путь в плане состоит из прямых участков. Очень часто на практике возникает необходимость определения радиусов существующих горизонтальных кривых. Сведения о радиусах и других показателях кривых используют при проектировании ремонтных мероприятий и организации безопасности движения (скоростного режима).

Применяют круговые кривые со следующими радиусами: 4000, 3000, 2000, 1800, 1500, 1200, 1000, 800, 700, 600, 500, 400, 300 и 200 м. Радиус кривой зависит от ряда конкретных технических условий: расчетной скорости движения поездов, уклона местности, габаритов вагонов, вида поездов, длины составов и др. [1–3].

Значения радиусов круговых кривых в процессе эксплуатации путей изменяются вследствие динамических нагрузок со стороны подвижного состава. Определение радиусов криволинейных участков ведется различными методами.

Данная разработка по определению радиусов существующих железнодорожных путей актуальна для исправления смещений и при износе несущих конструкций путей с целью выправления их и приведения в безопасное рабочее состояние.

Объекты исследования. Способы определения и расчета радиусов и дуг горизонтальных круговых участков пути.

Цель исследования. Обоснование выбора методики для определения радиусов закруглений железнодорожных путей.

Задачи исследования:

- выполнить расчет радиусов круговых кривых различными способами;
- дать сравнительную оценку методов определения фактических радиусов и длин дуг кривых железнодорожных путей по данным инструментальной съемки.

Метод исследования. Расчет радиусов закруглений путей различными способами. Оценка влияния погрешности величины радиуса на длину дуги железнодорожного пути.

Научная новизна состоит в оценке методов определения фактических радиусов кривых железнодорожных путей по данным геодезической съемки.

Основная часть. Самым простым и доступным способом определения радиусов закруглений является *метод хорд*. Он выполняется непосредственным измерением геометрических элементов пути (хорда кривой и стрела изгиба). К измерениям привлекаются три исполнителя: двое – с мерной лентой или рулеткой, третий измеряет длину стрелы изгиба линейкой (рисунок 1) [4].



Рисунок 1 – Универсальная схема использования способа хорд

В данном случае радиус кривой, м, определяется по формуле

$$R = \frac{a^2}{8f} \quad (1)$$

Несмотря на то, что описанный метод прост, он ограничен в применении длиной закругления, временем исполнения и количеством изыскателей. Также не исключена погрешность в определении радиуса по причине «угона пути» и от температурных деформаций железнодорожного пути.

Радиус закругления существующих железнодорожных путей также можно определить и другим способом. Его суть основана на вычислении радиуса по известным координатам нескольких съемочных точек закругления. Таких точек должно быть не менее трех, так как в системе уравнений для определения радиуса закругления имеется три неизвестные величины.

Координаты точек по закруглению получают по результатам выполнения измерений электронным тахеометром, либо по результатам спутниковых измерений. На криволинейных участках могут применяться переходные кривые. Последние располагают

по краям основного закругления, и они имеют переменный радиус для плавного нарастания центробежной силы.

При расчете радиуса основного закругления координаты съёмочных точек по переходным кривым должны исключаться. Длины переходных кривых железнодорожных путей, как правило, не превышают 200 м. Радиус переходной кривой не постоянный. Он изменяется от края кривой (там его значение максимально) до значения радиуса R круговой кривой (в точке соединения переходной и круговой кривых).

Координаты съёмочных точек по круговой кривой необходимо брать из центральной части закругления, чтобы не захватить переходные кривые, расположенные по краям (рисунок 2).



Рисунок 2 – Схема закругления с переходными кривыми

Радиус закругления вычисляют по формуле

$$R = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2]}, \quad (2)$$

где n – количество точек; x_i, y_i – координаты точек на кривой; x_0, y_0 – координаты центра кривой.

Координаты центра кривой определяются по формулам

$$x_0 = \frac{B_y C_x - B_x C_y}{A_x B_y - A_y B_x}, \quad (3)$$

$$y_0 = \frac{A_y C_x - A_x C_y}{A_y B_x - A_x B_y}, \quad (4)$$

где $A_x, A_y, B_x, B_y, C_x, C_y$ – коэффициенты, которые находят по следующим формулам:

$$A_x = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) x_i; \quad (5)$$

$$B_x = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) y_i; \quad (6)$$

$$C_x = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) (x_i^2 + y_i^2); \quad (7)$$

$$A_y = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}) x_i; \quad (8)$$

$$B_y = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}) y_i; \quad (9)$$

$$C_y = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}) (x_i^2 + y_i^2); \quad (10)$$

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i; \quad (11)$$

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i; \quad (12)$$

Радиус кривой можно также определить графическим способом в программе AutoCAD по трем точкам. Но дуга не всегда ложится идеально ровно на съёмочные точки круговой кривой. Это приводит к некоторой погрешности при определении величины радиуса в программе AutoCAD. Результаты определения радиуса круговой кривой представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты определения радиусов кривых

№ кривой	Длина кривой, м	Количество съёмочных точек на кривую	Радиус кривой R , м, определённый способом		
			хорд	AutoCAD	по формулам (2)–(12)
1	105,82	4	210,00	193,26	194,23
2	125,67	7	220,00	205,62	206,78
3	103,89	5	240,00	202,29	204,93
4	81,80	4	230,00	162,78	165,71
5	62,28	4	740,00	685,50	712,97
6	50,31	3	225,00	250,10	250,08
7	87,10	3	270,00	270,93	270,94
8	55,31	3	210,00	279,28	279,29
9	142,52	7	230,00	200,44	201,98
10	146,59	7	230,00	206,94	206,20

При количестве съёмочных точек, равном трем, расхождения в определении радиуса методом AutoCAD и по формулам отсутствуют. При количестве съёмочных точек более трех радиус круговой кривой целесообразнее определять по формулам, т. к. в расчет включаются координаты всех съёмочных точек. Метод хорд дает приблизительное значение величины радиуса круговой кривой.

Расчет длины дуги в зависимости от радиуса представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты определения длин кривых

Номер кривой	Метод расчета					
	хорд		AutoCAD		по формулам (2)–(12)	
	радиус	длина дуги	радиус	длина дуги	радиус	длина дуги
1	210,00	105,62	193,26	105,83	194,23	105,82
2	220,00	125,44	205,62	125,70	206,78	125,67
3	240,00	103,58	202,29	103,92	204,93	103,89
4	230,00	81,39	162,78	81,83	165,71	81,80
5	740,00	62,27	685,50	62,28	712,97	62,28
6	225,00	50,33	250,10	50,31	250,08	50,31
7	270,00	87,10	270,93	87,10	270,94	87,10
8	210,00	55,38	279,28	55,31	279,29	55,31
9	230,00	141,82	200,44	142,57	201,98	142,52
10	230,00	145,96	206,94	146,56	206,20	146,59

Из таблицы 2 видно, что расхождение в радиусах кривых, полученных в AutoCAD и по формулам, практически не влияет на длину дуги и в конечном счете на длину железнодорожного пути. А вот радиус, полученный методом хорд, вызывает некоторую погрешность при определении длины дуги. Для кривой № 5 видно, что при увеличении радиуса круговой кривой влияние на длину дуги из-за расхождений в радиусах значительно снижается.

Для кривых № 2, 3, 9, 10 отклонения радиуса в каждой съёмочной точке от радиуса, полученного для кривой по формулам, приведен в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты определения отклонения радиуса

Номер кривой	Координаты точек		Радиус кривой R , м	Радиус кривой в каждой съёмочной точке R_i , м	Отклонение радиуса $R-R_i$, см	СКО, см
	x , м	y , м				
2	1569,21	-944,20	206,78	206,73	5	11
	1572,87	-941,97		206,80	-1	
	1580,19	-938,00		206,78	0	
	1602,95	-927,76		206,86	-8	
	1632,16	-919,18		206,88	-9	
	1660,91	-915,41		206,55	23	
	1689,46	-915,01		206,89	-11	
3	1574,92	-946,91	204,93	204,92	1	15
	1633,90	-926,20		205,11	-18	
	1652,00	-924,07		204,74	19	
	1662,39	-923,31		204,80	13	
	1674,85	-922,88		205,09	-16	
9	-2830,40	8913,89	201,98	201,87	11	10
	-2831,12	8896,24		202,02	-4	
	-2831,39	8893,19		202,05	-7	
	-2834,09	8875,33		202,10	-12	
	-2837,98	8859,59		202,03	-4	
	-2843,49	8843,68		201,79	19	
	-2879,21	8783,12		202,02	-3	
10	-2837,40	8913,98	206,20	206,06	14	9
	-2837,98	8897,55		206,28	-8	
	-2838,31	8893,86		206,31	-11	
	-2840,88	8877,06		206,25	-5	
	-2844,59	8861,35		206,19	1	
	-2849,46	8846,30		206,08	12	
	-2888,43	8779,84		206,22	-2	

Отклонения радиуса в таблице 3 показывают отклонения реальной круговой кривой от теоретической.

Полученное СКО (среднеквадратическое отклонение) радиуса дуги в каждой съёмочной точке рассматриваемых кривых не влияет на результат определения длины круговой кривой. Поэтому радиус и длину кривой можно одинаково достоверно получать как по формулам, так и в программе AutoCAD. Большие отклонения при определении радиуса влияют на правильный выбор скоростного режима и, следовательно, на безопасность движения по путям.

Ширина колеи железнодорожного пути между внутренними гранями головок рельсов на закруглении

Получено 04.04.2023

P. V. Zhdanovich, V. P. Zhdanovich, P. V. Kovtun, V. V. Yaltykhov. Methods for determining the radii of circular curves and the effect of the error in their determination on the length of the railway track.

The method of calculating the radii of circular curves of railway tracks in the plan is presented. Information about the radii of curves is obtained from the results of geodetic survey of railway tracks. Information about radii is used during the reconstruction and repair of tracks on curved sections, when assessing the deviation of the actual position of the axes of the web from the design one after the completion of construction or during the shift during operation. Determining the radii of existing railway tracks is relevant when correcting displacements and when wearing out the bearing structures of the tracks in order to straighten and bring them into a safe working condition.

як с радиусом менее 300 м составляет 1535 мм. Следовательно, радиус левой и правой нитки пути будут отличаться на величину 1535 мм. Такая разбежка в радиусе не оказывает влияния на длину пути при съёмке как по левой, так и по правой нитке (см. таблицу 2). При радиусе кривой 200 м длина левой и правой ниток отличается на 30 мм.

Основные выводы.

1 Анализом способов определения радиусов и длин железнодорожных закруглений (метод хорд, расчет по формулам, определение в AutoCAD) установлено, что при количестве съёмочных точек, равном трем ($n = 3$), отсутствуют избыточные данные. Поэтому AutoCAD и формулы дают одинаковый результат.

При $n > 3$ в AutoCAD можно сделать несколько комбинаций (например, 1, 2, 3; 2, 3, 4; 1, 3, 4; 1, 2, 4), получить радиус кривой для каждой комбинации и затем сравнить их.

При количестве съёмочных точек более трех ($n > 3$) радиус круговой кривой целесообразнее определять по формулам, т. к. возможен контроль, и по формулам (2)–(12) получаем единственное однозначное решение.

2 Расхождения в радиусе кривых, полученных в AutoCAD, и по формулам, практически не влияют на длину дуги и, в конечном счете, на длину железнодорожного пути. Большие отклонения при определении радиуса влияют на правильный выбор скоростного режима и, следовательно, на безопасность движения по путям.

3 Метод хорд при определении радиусов закруглений и длины дуг дает приближительные с погрешностями результаты.

4 Представленная методология расчетов радиусов закруглений и длин дуг путей может быть применена не только при реконструкции и ремонте на криволинейных участках, но и при экспертной оценке отклонения фактического положения осей полотна от проектного после окончания строительства, в процессе эксплуатации, а также при паспортизации железнодорожных путей.

Список литературы

- 1 Борисов, Э. А. Определение характеристик круговых кривых по хордам / Э. А. Борисов // Известия ВУЗ : Геодезия и аэрофотосъемка. – 1994. – № 2–3. – С. 50.
- 2 Брынь, М. Я. Расчет элементов и разбивка железнодорожных кривых : учеб. пособие / М. Я. Брынь, Н. В. Кашин, В. И. Полетаев ; под ред. М. Я. Брыня. – СПб. : Петербургский гос. ун-т путей сообщения, 2008. – С. 36.
- 3 Полетаев, В. И. Расчет железнодорожных кривых : метод. указания / В. И. Полетаев. – Л. : ЛИИЖТ, 1990. – 20 с.
- 4 Раманаускас, Н. Исследование точности измерения ориентации глаза, используя искусственные изображения / Н. Раманаускас, Г. Даунис // Электроника и электротехника. – 2003. – № 4 (46). – С. 17–20.

УДК 656.025.2

П. В. КОВТУН, кандидат технических наук; Т. А. ДУБРОВСКАЯ, кандидат технических наук; Н. Н. КРАВЧЕНКО, Е. В. НИКИТИН, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

РАЗВИТИЕ ПУТЕВОГО ХОЗЯЙСТВА БЕЛОРУССКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ

Путевое хозяйство Белорусской железной дороги совместно с другими хозяйствами образует единый инфраструктурный комплекс, который является фундаментом перевозочного процесса. На долю путевого хозяйства приходится больше 50 % основных фондов отрасли, а с развитием скоростей движения поездов и научным прогрессом транспорта его роль значительно возрастает. Нормальное функционирование путевого хозяйства – залог безопасной работы всей Белорусской железной дороги в целом.

Путевое хозяйство является одним из наиболее важных хозяйств на Белорусской железной дороге. От его технического состояния в значительной степени зависят пропускная способность железнодорожных участков, безопасность движения поездов и оперативность предоставления услуг.

На долю путевого хозяйства приходится более четверти стоимости основных фондов Белорусской железной дороги, шестая часть эксплуатационных расходов. В нем занята шестая часть работников железнодорожного транспорта.

Система ведения путевого хозяйства в современных условиях ориентирована на перспективное развитие, в основе которого лежит совершенствование конструкции верхнего строения пути, повышение долговременной стабильности пути вследствие использования прогрессивных конструкций и материалов, перехода на выполнение объемов работ современными комплексами путевых машин, оптимизация технологий ремонта и текущего содержания пути и доведение годовой выработки машинных комплексов до их проектной мощности.

В настоящее время перед путевым хозяйством Белорусской железной дороги стоит острая необходимость принятия кардинальных мер, направленных на повышение эффективности его работы. Это обусловлено определенными внешними и внутренними факторами, которые оказывают значительное влияние на работу путевого хозяйства на текущем этапе.

Одним из факторов является поддержание конкурентоспособности и привлекательности железнодорожных перевозок за счет сокращения времени доставки грузов и времени нахождения пассажиров в пути следования, что ведет к повышению скоростей движения пассажирских и грузовых поездов. Данный фактор во многом определяет качество транспортного обслуживания.

Также не менее важное влияние на текущее содержание железнодорожного пути оказывает дефицит кадров. Это вызвано изменениями в тенденциях на рынке труда, так как современное поколение всё меньше склоняется к работе, связанной с ручным трудом, отдавая предпочтение в работе IT-сфере, сфере услуг и т. д.

На сегодняшний день из-за нехватки контингента работающих существующая система не позволяет в полной мере выполнять основные виды путевых работ с соблюдением всех этапов технологического процесса, что в свою очередь влияет на безопасность произ-

водственного процесса и, как следствие, приводит к нарушениям в работе технических средств.

Решать эту задачу на современном этапе можно путем самого широкого применения при текущем содержании железнодорожного пути высокопроизводительных путевых машин. Внедрение их в работах сплошного характера с определенной периодичностью позволит выйти на новый технический и организационный уровень, а также максимально заменить тяжелый ручной труд.

Переход на механизированное содержание железнодорожного пути обладает большим преимуществом по сравнению с механизированным. Основой ведения путевого хозяйства является текущее содержание железнодорожного пути и своевременный его ремонт, при котором работы выполняются высокопроизводительными путевыми машинами в специально отведенные «окна», что позволяет увеличить объемы и качество выполняемых работ, тем самым улучшить состояние железнодорожного пути и повысить его надежность, обеспечить рост производительности труда, снижение трудоемкости выполняемых работ, продлить жизненный цикл железнодорожного пути, улучшить состояние промышленной безопасности и охраны труда.

Перевооружение путевого хозяйства предусматривает оптимизацию расходов за счет совершенствования технологических процессов, применения ресурсосберегающих технологий, позволяющих при безусловном обеспечении безопасности движения поездов, снизить трудо- и ресурсоемкость содержания железнодорожных путей.

С целью приведения в соответствие современным требованиям эксплуатации железнодорожного пути и снижения затрат на его содержание требуется переход на новую систему административного деления.

На ряде дорог ОАО «РЖД» произошел отказ от устаревшего околоторочного метода ведения путевого хозяйства и переход на более современный – «Участковый метод». При переходе на новый метод задача сводится к выбору вариантных схем технического обслуживания пути и практически полному отказу от текущего содержания малочисленными бригадами. В связи с чем необходим пересмотр (совершенствование) подходов к расчету численности работников, занятых текущим содержанием железнодорожного пути и искусственных сооружений, так как на сегодняшний день средняя штатная численность рабочего отделения не соответствует действующим технологиям путевых

работ, порядку обеспечения безопасности движения поездов при их производстве, нормам и требованиям охраны труда.

Также практика показывает, что функции проверки пути и устранения обнаруженных неисправностей целесообразно разделить, так как одной из первоочередных задач в текущем содержании железнодорожного пути являются периодические осмотры и проверки железнодорожного пути, включая рельсовое и стрелочное хозяйство, искусственные сооружения, земляное полотно и другие путевые устройства. Каждая бригада на своем рабочем отделении осуществляет весь комплекс работ по текущему содержанию железнодорожного пути. Это влияет на качество выполнения работ, так как значительную часть времени устранение неисправностей выполняется в отсутствие бригадира пути, который в этот период занят осмотром пути. Для этого целесообразно ввести на эксплуатационном участке контролеров по проверке пути, освободив от постоянного выполнения этих функций мастеров дорожных и бригадиров пути.

Для реализации этих подходов приказом Начальника Белорусской железной дороги была утверждена Концепция развития путевого хозяйства Белорусской железной дороги на 2022–2030 годы, которая включает основные ориентиры развития, направленные на обеспечение безопасности движения поездов, повышение уровня планирования и рационального распределения ресурсов, разделение функций контроля и содержания железнодорожного пути, снижение трудоемкости выполняемых работ и среднесписочной численности работников путевого хозяйства за счет внедрения нового СПС, улучшение системы контроля и повышения надежности работы железнодорожного пути и др.

В рамках Концепции пересмотрено Положение о системе ведения путевого хозяйства Белорусской железной дороги СТП БЧ 56.388–2022, утвержденное приказом от 14.05.2022 № 370НЗ, в котором пересмотрены классификация железнодорожных путей с учетом существующей грузонапряженности, а также планирование ремонтов железнодорожных путей исходя из фактической потребности с введением новых промежуточных работ по текущему содержанию железнодорожного пути.

Изменения в подходах назначения ремонтов железнодорожного пути в зависимости от конкретных условий эксплуатации железнодорожного пути положительно скажется на экономической составляющей содержания железнодорожного пути в части периодичности ремонтов и применяемых материалов верхнего строения пути.

Реализация Концепции в совокупности с правильной организацией труда повысит уровень текущего содержания железнодорожного пути и обеспечит качественный перевозочный процесс.

Для соблюдения технологических процессов и требований безопасности производства работ, а также обеспечения равнозначной нагрузки на руководителей среднего звена в статье рассмотрено изменение формы содержания на примере Могилевской дистанции пути.

Распределение дистанции пути на участки, околотки и рабочие отделения производится при помощи приведенной длины, которая учитывает разницу в трудоем-

кости содержания различных категорий пути и стрелочных переводов, то есть она позволяет сделать их равновеликими по трудоемкости содержания. Машинизированное содержание железнодорожного пути в зависимости от грузонапряженности участка позволяет увеличить приведенную длину.

На направлениях с малыми и средними размерами движения, где конструкция железнодорожного пути состоит из бесстыкового или звеньевоего пути на железобетонных шпалах, рельсов Р-65 новых или старогонных, в том числе отремонтированных, а также имеющих автотракторную технику для доставки персонала, рабочего инструмента и материалов к местам производства работ, такие околотки могут не делиться на рабочие отделения, а иметь одну или максимум две путевые бригады во главе с дорожным мастером или освобожденным бригадиром пути. В функции таких бригад входит проведение осмотров и проверок пути, выполнение неотложных и первоочередных работ.

Путевые бригады преимущественно будут базироваться на железнодорожных станциях, тем самым сокращая количество бытовых, кладовых помещений и пунктов обогрева, что в свою очередь приведет к сокращению эксплуатационных затрат на их содержание и позволит улучшить сохранность товарно-материальных ценностей.

Руководит всеми бригадами пути на рабочих отделениях дорожный мастер околотки, который несет ответственность за безопасность движения поездов на околотке, является материально ответственным лицом и непосредственно подчиняется начальнику участка.

Для выполнения плано-предупредительных работ на участке создают укрупненную механизированную бригаду во главе с дорожным мастером и одним или двумя бригадирами пути. Дорожный мастер несет ответственность за своевременность и качество плано-предупредительных работ, безопасность движения поездов при производстве работ, охрану труда.

При дефиците рабочей силы укрупненная бригада для плано-предупредительных работ может создаваться одна на дистанцию или на несколько участков.

В зимний период укрупненные бригады направляются на снегоборьбу или на их основе организуются дополнительные бригады по неотложным работам.

На узловых околотках, обслуживающих внеклассные и станции 1, 2-го классов, могут организовываться бригады по содержанию стрелочных переводов и рельсовых цепей.

В функции начальника участка входит общее руководство текущим содержанием пути на участке. Он контролирует работу дорожных мастеров и бригадиров пути, организует плано-предупредительные и неотложные работы, несет ответственность за безопасность движения поездов, охрану труда, исправность и надежность состояния пути и устройств.

Численность путевых бригад на рабочих отделениях определяется исходя из требуемой (нормативной) численности, необходимых для обеспечения основных технологических процессов, которые невозможно заменить машинизированным способом.

Неотложные работы, для выполнения которых требуется бригада численностью больше, чем бригада на рабочем отделении (замена острорезанных рельсов, кре-

стовин, рихтовка пути и другие), производятся либо совместно несколькими малыми бригадами, либо укрупненной бригадой по указанию начальника участка.

Результаты расчета контингента работающих согласно Концепции развития путевого хозяйства Белорусской железной дороги на 2022–2030 годы позволяют сделать выводы о том, что переход на новое административное деление дистанции целесообразен, так как согласно расчетам сокращается один околоток и 15 рабочих бригад. Это практически то количество квалифицированного персонала, которое оптимизируется при новом административном делении и укомплектование контролерами пути можно произвести освободившимся мастерам дорожным и бригадирами пути.

Всё это в совокупности с правильной организацией труда повысит уровень текущего содержания железнодорожного пути и обеспечит качественный перевозочный процесс.

Получено 04.04.2023

P. V. Kovtun, T. A. Dubrovskaya, N. N. Kravchenko, Y. V. Nikitcin. Development of the track facilities of the Belorussian Railway at the present stage.

The track facilities of the Belorussian Railway together with other facilities form a single infrastructure complex, which is the foundation of the transportation process. The track facilities account for more than 50 % of the fixed assets of the industry, and with the development of train speeds and the scientific progress of transport, its role is growing significantly. The normal functioning of the track facilities is the key to the safe operation of the entire Belorussian Railway as a whole.

Список литературы

1 СТП БЧ 56.388-2022. Положение о системе ведения путевого хозяйства Белорусской железной дороги. – Введ. 20.06.2022. – Минск : Белорусская железная дорога, 2022. – 30 с.

2 Концепция развития путевого хозяйства Белорусской железной дороги на 2022–2030 гг. – Введ. 28.12.2022 № 404Н. – Минск : Белорусская железная дорога, 2021. – 16 с.

3 Приказ «Об утверждении Нормативов численности работников, занятых текущим содержанием пути и искусственных сооружений». – Введ. 01.10.2017. – Минск : Белорусская железная дорога, 2017. – 24 с.

4 Правила технической эксплуатации железной дороги в Республике Беларусь : утв. М-вом трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь 25.11.2015. – Минск, 2016. – 190 с.

5 СТП 09150.56.010–2005. Текущее содержание железнодорожного пути. Технические требования и организация работ. – Введ. 01.07.2006. – Минск : Белорусская железная дорога, 2005. – 284 с.

УДК 624.8

А. А. ПОДДУБНЫЙ, кандидат физико-математических наук; И. С. ДЕМИДОВИЧ, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СБОРНО-РАЗБОРНЫХ БЫСТРОВОВОЗВОДИМЫХ МОСТОВ

Рассматриваются разработка, изготовление и испытания быстровозводимых мостов, предназначенных для быстрой установки в труднодоступных местах, при чрезвычайных ситуациях и при ликвидации стихийных бедствий.

Введение. Создание быстровозводимых мостов сегодня является очень актуальной задачей. В Республике Беларусь и в других странах мира немало мест, где необходимо комфортное перемещение населения, а инженерно-геологические условия не позволяют этого сделать без огромных материальных затрат. В процессе выполнения государственной задачи и проведения научно-исследовательских работ шифры «Строение», «Строение-2», был разработан и изготовлен ряд мостовых конструкций, предназначенных для быстрой установки низководных мостов под различную нагрузку в труднодоступных местах, при чрезвычайных ситуациях и при ликвидации стихийных бедствий. При разработке основной задачей являлось снижение трудоемкости монтажа мостового пролета, упрощение конструкции для уменьшения массы и количества деталей, снижение стоимости при изготовлении, сборке и эксплуатации. Были проведены необходимые испытания изготовленных мостовых конструкций, в ходе которых подтверждено соответствие заданным характеристикам.

Система работы по возведению мостового перехода включает в себя:

- 1) проведение геодезических и гидрогеологических изысканий (проведение технической разведки, оценка характеристик грунтов, проведение геодезических изысканий) нескольких створов мостовых переходов;
- 2) проектирование новых конструкций мостовых переходов;
- 3) моделирование воздействия нагрузок на конструкции моста с использованием программного обеспечения Autodesk Inventor;
- 4) разработка конструкторской документации для изготовления пролетов;
- 5) производство пролетного строения;
- 6) натурные испытания изготовленного пролетного строения на соответствие расчетным характеристикам;
- 7) производство и монтаж всех конструкций моста;
- 8) испытание мостового перехода.

В ходе данной работы были спроектированы сборно-разборные металлические мостовые пролеты СРММП-1 в трех вариантах и СРММП-2, с их использованием были спроектированы мостовые переходы под различную нагрузку. Также была произведена адаптация типовых металлических конструкций (блоков ригелей) проекта 5254 для строительства вантового моста в условиях, полученных по итогам проведения технической разведки.

Конструктивные особенности сборно-разборного металлического мостового пролета СРММП-1.

Сборно-разборный металлический мостовой пролет СРММП-1 (рисунок 1) предназначен для возведения низководных пешеходных мостов грузоподъемностью 500 кг.

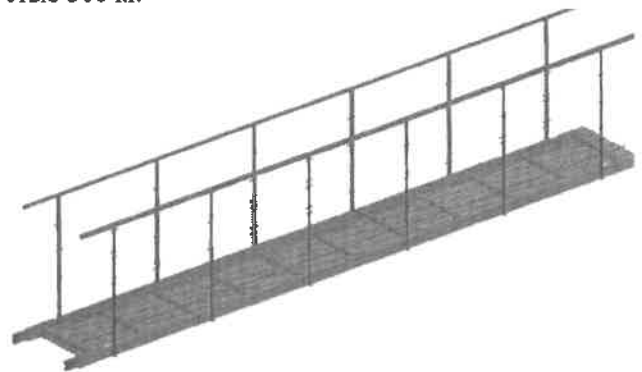


Рисунок 1 – 3D-модель сборно-разборного металлического мостового пролета СРММП-1

Составными частями СРММП-1 являются главные балки, пешеходный настил, перильное ограждение.

Сборно-разборный металлический мостовой пролет состоит из двух главных балок, изготовленные из профильной трубы по ГОСТ 30245–2003 сечением 120×80×5 мм длиной 6 м, марка стали не ниже Ст45 по ГОСТ 27772–1988.

Пешеходный настил состоит из поперечных и продольных связей, выполненных из уголков по ГОСТ 8509–1993 сечением 40×40×4 мм и просечно-вытяжного листа ПВЛ 506 по ГОСТ 8706–1978, сечением 1,0×1,0 м, марки стали не ниже Ст3 по ГОСТ 380–2005.

Перильное ограждение выполнено из уголка по ГОСТ 8509–1993 сечением 30×30×3 мм, состоит:

- из стойки перил высотой 1,25 м;
- перил длиной 6 м;
- продольного усиления, выполненного из полосы стали по ГОСТ 103–2006 сечением 30×4 мм, длиной 6 м, марка стали не ниже Ст3 по ГОСТ 380–2005.

Изготовление малогабаритного сборно-разборного мостового пролета можно организовать как на предприятиях, так и в полевых условиях. При этом все его элементы рассчитаны таким образом, что не составляет трудностей их перевозить любым видом транспорта, производить погрузочно-разгрузочные работы без использования специальной техники.

Технические характеристики сборно-разборного металлического мостового пролета СРММП-1-1 (СРММП-1-2, СРММП-1-3):

- грузоподъемность до 500 кг;

- ширина – 1 м;
- длина – 6,0 м (8,4, 9,2 м);
- масса пролетного строения – 300 кг (340, 410 кг).

С использованием сборно-разборного металлического мостового пролета СРММП-1 на территории Республики Беларусь построено несколько пешеходных мостов (рисунок 2).



Рисунок 2 – Пример реализации пешеходного моста с использованием сборно-разборного металлического мостового пролета (СРММП-1) на болотистой местности

Мостовые переходы под пешеходную нагрузку с использованием пролета СРММП-1 были построены в различных условиях и на различных основаниях: на болотистой труднопроходимой местности, на структурно-неустойчивых грунтах.

Конструктивные особенности сборно-разборного металлического мостового пролета СРММП-2.

В целях внедрения альтернативных конструкторских решений мостовых конструкций, технологий сборки, использование однотипных марок, оптимизации технологических операций упрощающих монтаж пролетных строений, для возведения мостовых переходов через водные преграды спроектировано сборно-разборное металлическое мостовое пролетное строение грузоподъемностью до 1 т. Составными частями СРММП-2 являются главные балки, металлический настил, колесоотбой и перильное ограждение (рисунок 3).

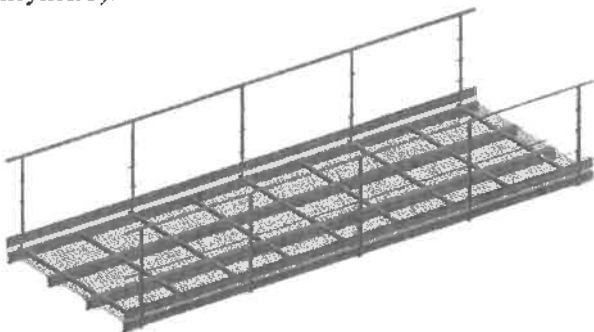


Рисунок 3 – 3D-модель сборно-разборного металлического мостового пролета СРММП-2

СРММП-2 предназначен для быстрой установки низководных мостов под нагрузку до 1 т через водные преграды, при чрезвычайных ситуациях и при ликвидации стихийных бедствий.

В качестве несущих элементов СРММП-2 принимаются главные балки, которые выполнены из профильных труб по ГОСТ 8645–82 сечением 120×80×5 мм

длинной 6 м и сечением 100×60×4 мм длиной 6 м. Марка стали – не ниже Ст3 по ГОСТ 535–88.

Пешеходный настил состоит из поперечных связей, выполненных из уголков по ГОСТ 8509–1993 сечением 40×40×4 мм, марка стали – не ниже Ст3 по ГОСТ 535–88, а также просечно-вытяжного листа ПВЛ 406×2000×6000 по ГОСТ 8706–78. Марка стали не ниже Ст3 по ГОСТ 380–2005.

Для обеспечения надежного соединения секций пролетных строений между собой предусмотрено сваривание с одной стороны труб 100×60×4 мм длиной 350 мм и 80×40×2 мм длиной 300 мм по ГОСТ 8645 выполнен из уголков по ГОСТ 8509–1993, а также листов металла 50×70 мм, 50×100 мм, 50×50 мм и 50×80 мм по ГОСТ 19903–74. С целью усиления главной балки из профильной трубы сечением 100×60×4 мм на стыке пролетных строений снизу конструкции сваривается лист металла 60×250 по ГОСТ 19903–74. Марка стали – не ниже Ст3 по ГОСТ 16523–97.

Колесоотбой (отбойник) состоит из полотна 120×6000 мм (листовой прокат по ГОСТ 19903–74), марка стали Ст3 по ГОСТ 16523–97, уголка 32×32×4 мм по ГОСТ 8509–93. Марка стали – не ниже Ст3 по ГОСТ 535–88.

Перильное ограждение выполнено из уголка по ГОСТ 8509–1993 сечением 30×30×3 мм, состоящее из стойки перил высотой 1,25 м, поручня перил длиной 6 м и из продольного усиления (полосовой стали по ГОСТ 103–2006 сечением 30×4 мм, длиной 6 м. Марка стали – не ниже Ст3 по ГОСТ 380–2005.

Технические характеристики сборно-разборного металлического мостового пролета СРММП-2:

- расчетная ширина пролетного строения – не менее 1,8 м;
- длина пролетного строения – 6 м;
- грузоподъемность – до 1 т;
- высота моста – не менее 0,5 м от уровня высоких вод.

Грузоподъемность моста до 1 тонны позволяет пропуск по нему как пешеходов, так и легких транспортных средств (например, квадроциклы, мини-тракторы и т. п.), что значительно расширяет возможности его применения.

По окончании натурных испытаний было произведено сопоставление результатов расчетов пролетных строений как рамных конструкций (с учетом связей между основными элементами) с использованием компьютерной программы Autodesk Inventor (рисунок 4) и результатов натурных испытаний при воздействии временных и постоянных нагрузок, передающихся через настил проезжей части.

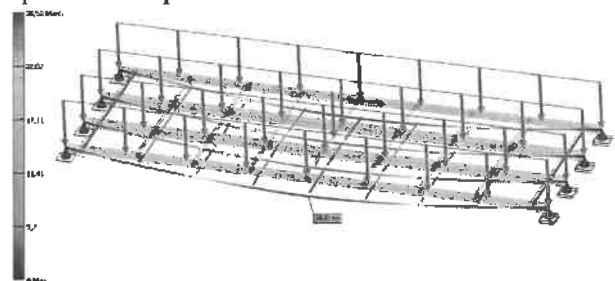


Рисунок 4 – Моделирование воздействия нагрузок на сборно-разборный металлический мостовой пролет СРММП-2

Вантовый пешеходный мост

Для определенных условий местности, полученных в ходе технической разведки, в которых неприемлемо использование коротких пролетных строений, была произведена адаптация типовых металлических конструкций (блоков ригелей) проекта 5254 для строительства вантового моста с длиной руслового пролета 60 метров.

Особенностями адаптации имеющихся пролетных строений (блоков ригелей) проекта 5254 стало увеличение максимальной длины пролета с 44 до 60 м, для чего в конструкцию моста были включены пилоны и ванты.

Для крепления вант к конструкции пролетного строения были разработаны вантовые площадки.

Использование имеющихся пролетных строений позволило сократить время на разработку нормативно-технической документации и проектирование новых конструкций.

Результатом работы стало строительство данного моста на территории Республики Беларусь (рисунок 5).



Рисунок 5 – Пример реализации вантового пешеходного моста с использованием блоков ригелей проекта 5254

Варианты опор для строительства мостов с использованием сборно-разборных металлических мостовых пролетов.

В зависимости от местных условий для возведения мостов с применением сборно-разборных пролетных

строений могут быть использованы различные типы опор.

Жесткие опоры изготавливаются в виде металлических рамных конструкций и могут быть применены в условиях структурно-неустойчивых грунтов или на водных преградах ограниченной глубины.

При необходимости перекрытия крупных водных преград или в условиях, сложных для доставки и установки жестких опор для строительства моста с применением разработанных пролетных строений могут быть применены наплавные опоры различных конструкций.

Вывод. Перспективой развития быстровозводимых мостовых переходов являются их многочисленные преимущества. Простота конструкции обеспечивает возможность изготовления пролетных строений при минимальном обучении технического персонала практически в любых условиях обстановки. Особенности сборно-разборных быстровозводимых мостов является их мобильность, относительная дешевизна, универсальность применения. Каждый проект рассчитан под свою нагрузку и выполняет широкий спектр задач в своем грузовом диапазоне.

Список литературы

- 1 Гордон, В. А. Собственные изгибные колебания балки, частично опертой на основание Пастернака / В. А. Гордон, Г. А. Семенова // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. – 2020. – № 1. (339). – С. 34–42.
- 2 Поддубный, А. А. Методика расчета критической силы сжатого стержня, погруженного в упругое основание / А. А. Поддубный, В. А. Гордон // *Вестник БелГУТа: Наука и транспорт*. – 2019. – № 1. (38). – С. 49–52.
- 3 Poddubny, A. A. Dynamic loading of the rod at a sudden of elastic foundation structure / A. A. Poddubny, V. A. Gordon // *IOP Conference Series: Material Science and Engineering*. – 2021. – Vol. 1079. – Paper 042076.
- 4 Поддубный, А. А. Динамика конструктивно нелинейной системы «балка – основание» при внезапном образовании трещин // *Вестник БелГУТа: Наука и транспорт*. – 2022. – № 1 (44). – С. 84–97.

Получено 04.04.2023

A. A. Poddubny, I. S. Demidovich. Development and manufacture of a small-size collapsible bridge span.

The development and manufacture of a small-size collapsible bridge span designed for quick installation of pedestrian low-water bridges in hard-to-reach places, in emergency situations and in the elimination of natural disasters is considered.

УДК 624.21/8.004.6

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

КОНЦЕПЦИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО ВОССТАНОВЛЕНИЮ МОСТОВЫХ ПЕРЕХОДОВ

Рассматриваются алгоритм работы и структура перспективного программного комплекса, предназначенного для поддержки принятия решений по восстановлению мостовых переходов с использованием баз данных 3D-моделей инвентарных и типовых мостовых конструкций, и протоколом технических требований на различные способы восстановления.

Введение. Использование программных комплексов в настоящее время является неотъемлемой частью для решения различных задач. Исключением не стала и сфера проектирования и строительства искусственных сооружений.

Программные комплексы позволяют облегчить, а некоторые и исключить в определенной мере работу специалиста инженера в выполнении задач. Однако для грамотной работы любой программы должны быть выработаны ее алгоритм и протоколы (ограничения и возможности).

Основой алгоритма работы программы проектирования и предложения вариантов строительства мостовых переходов должны быть технические требования на различные варианты восстановления.

Алгоритм работы программного комплекса поддержки принятия решений по восстановлению мостовых переходов.

Для каждого программного продукта должны быть определены алгоритм и последовательность действий для решения поставленных задач. Каждый этап включает в себя огромный набор действий и получение из них исходных данных.

Первым и основным элементом алгоритма программного комплекса является ввод данных. По точности и объему первоначальных данных программой комплекс будет оттапливаться при дальнейшем предложении вариантов восстановления. Основными параметрами будут являться геометрические характеристики водной преграды, существующего мостового перехода, геодезические и геологические параметры.

Далее для продолжения работы программы ей необходимы базы данных, из которых она будет выбирать конструктивные решения на восстановление мостового перехода. Чем больше 3D-моделей конструкций будет в базе данных, тем более обширный перечень вариантов восстановления будет выведен.

Следующим этапом работы программы является выработка предложений на основе расчетов и предложение нескольких оптимальных вариантов восстановления.

Первым этапом в выборе варианта восстановления является получение исходных данных. Техническая разведка (геодезические, геологические, гидрологические изыскания) места восстановления мостового перехода является основным способом получения этих данных (рисунок 1). Одним из вариантов может быть ручное введение данных на основе инструментального способа проведения технической разведки. То есть

специалист получает с помощью различного инструмента (теодолит, нивелир, пенетрометр, дальномер, рулетка) характеристики и вручную вводит в интерфейс программы.

В свою очередь процесс получения исходных данных может быть также автоматизирован за счет проведения технической разведки с помощью роботизированного комплекса. Это позволит за счет передачи информации удаленным способом производить процесс ввода исходных данных без вмешательства инженерного состава.

Имея исходные данные, программный комплекс должен приступить к обработке данных и выбрать способ и вариант восстановления на основе имеющихся у него технических требований и инвентарных (типовых) конструкций.

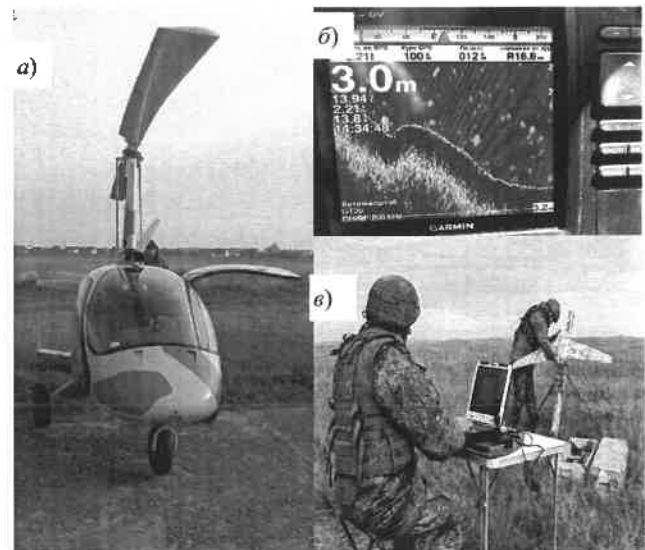


Рисунок 1 – Техническая разведка с помощью новейшего оборудования:

а – воздушная техническая разведка; *б* – гидрологические изыскания с помощью эхолота; *в* – рекогносцировка с помощью БПЛА

Таким образом, в дальнейшей структуре программного комплекса должен присутствовать элемент базы данных. Этой базой данных являются 3D-модели существующих, а в будущем и перспективных мостовых конструкций (рисунок 2). Базу 3D-моделей можно разделить на определенный перечень по их назначению и типу конструкции:

- инвентарные конструкции на жестких опорах (рисунок 2, *а*, *б*);
- наплавные мосты (рисунок 2, *в*);
- низководные деревянные мосты (рисунок 2, *г*).

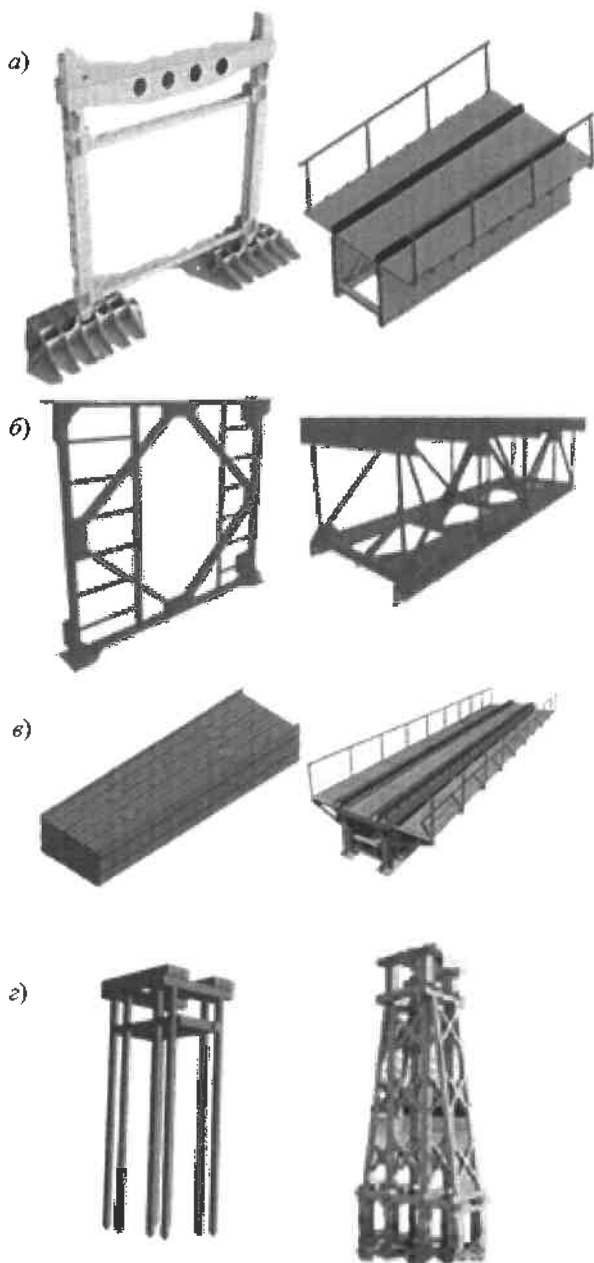


Рисунок 2 – 3D-модели инвентарных и типовых мостовых конструкций:
а – РЭМ-500; б – САРМ-М; в – НЖМ-56; г – НДМ

За счет использования 3D-редактора, совместимого с программным комплексом, можно будет обновлять базу данных новыми пролетными строениями или опорами, а также модернизировать существующие.

Имея модуль ввода основных параметров и базу данных, программный комплекс должен предлагать варианты решения поставленной задачи.

Существенным плюсом в этом модуле будет являться то, что модуль обработки данных и предложения вариантов решения не будет изобретать и придумывать варианты и способы восстановления по различным способам, а также заниматься проектированием, а лишь предложит типовые и существующие варианты. Это означает, что в программе уже есть все готовые типовые мостовые переходы из инвентарных и типовых конструкций и ей необходимо только подобрать необходимый под заданные условия.

А так как все технологические процессы строительства и восстановления мостовых переходов из инвентарных и типовых конструкций известны и универсальны, а вооружение, военная и специальная техника, оборудование, инструменты стандартизованы, то и программе останется только вывести всё на печать.

Важно отметить, что программный комплекс не принимает решение на восстановление или строительство, а лишь предлагает варианты на основе заданных параметров. Для вывода данных, а именно получения готового проекта производства работ, инженер-специалист из предложенных вариантов выбирает приемлемый и опирается в принятии решения на факторы времени и имеющихся сил и средств.

Рассмотрим крайний блок программного комплекса, а именно вывода данных (рисунок 3). Этот блок должен представлять собой готовый проект производства работ, который включает в себя:

- 1) схему мостового перехода;
- 2) график производства работ;
- 3) укрупненные трудозатраты;
- 4) основные необходимые оборудование и инструменты;
- 5) вывод личного состава.

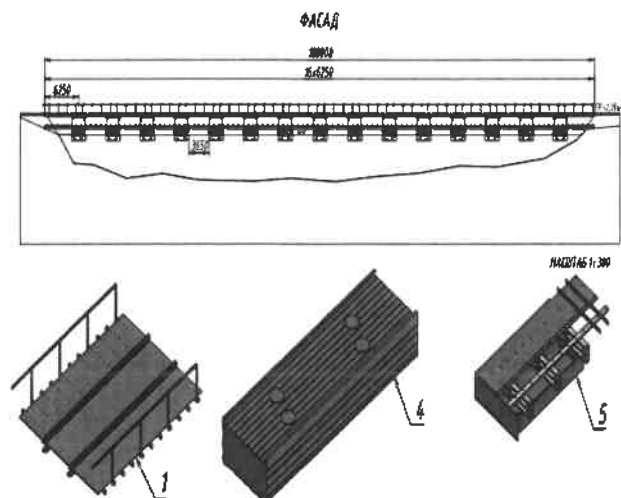


Рисунок 3 – Схема мостового перехода с основными элементами

Апробация результатов.

В соответствии с техническим заданием и на основании отчета по научно-исследовательской работе подразделением IT-роты учреждения образования «Военная академия Республики Беларусь» был создан электронный тренажер среднего автомобильного разборного моста модернизированного САРМ-М.

Данный комплекс был разработан в первую очередь для обучающихся в учреждениях образования по инженерным специальностям и ознакомления с инвентарными мостовыми конструкциями, стоящими на вооружении транспортных войск Республики Беларусь. Однако его возможности в первом представлении могут быть отправной точкой для создания, более совершенного и обширного электронного комплекса. Интерфейс электронной программы представлен на рисунке 4.

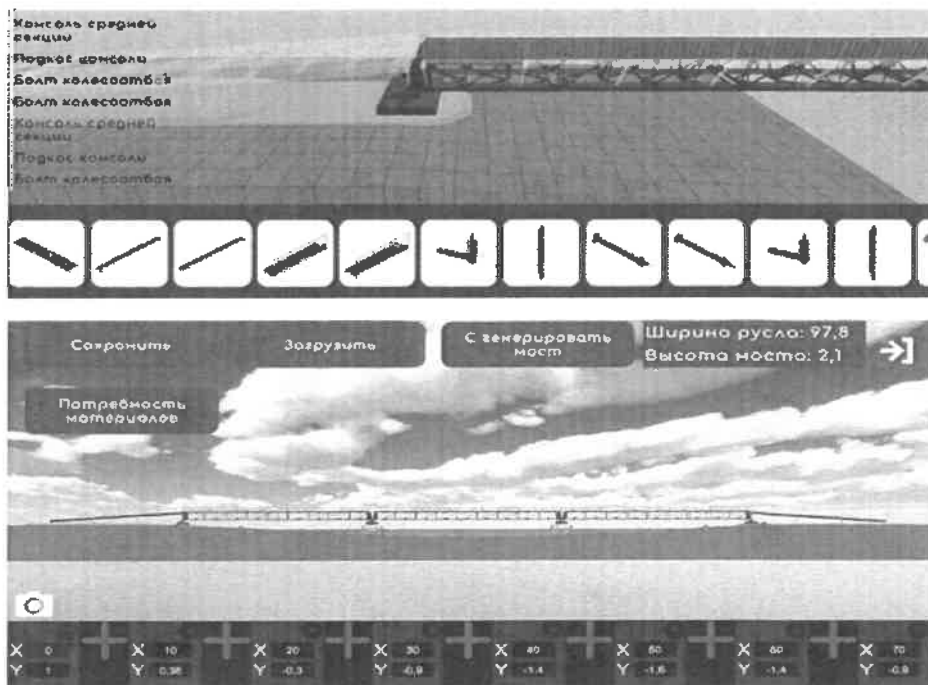


Рисунок 4 – Интерфейс электронного тренажера CAPM-M

Электронный тренажер на простейшем уровне позволяет инженеру проектировать мостовой переход, но только из комплекта CAPM-M, под заданные условия. Помимо этого, он также имеет функцию вывода данных, а именно графика строительства и необходимого для строительства вооружения, военной и специальной техники в виде таблицы в формате .xls.

Таким образом, имея в базе данных большое количество инвентарных конструкций и вводя в протоколы программы определенные технические требования на восстановление можно получить приближенный к требованиям электронный программный комплекс поддержки принятия решений по восстановлению мостовых переходов.

Содержание электронного тренажера CAPM-M представляет собой совокупность интерактивных инструментов, позволяющих выполнять целевые действия с оцифрованным материалом рисунков (схем) мостового табельного имущества CAPM-M. Тем самым повышается эффективность обучения за счет рационального использования интерактивного текста с мультимедийными возможностями, представления схем 3D-моделей, анимации, видео и др. В укрупненном виде содержание электронного тренажера CAPM-M можно представить в виде схемы с функциональными возможностями.

Получено 04.04.2023

A. A. Poddubny, E. V. Pechanov. The concept of an intelligent decision support system for the restoration of bridge crossings.

The algorithm of operation and structure of a promising software package designed to support decision-making on the restoration of bridge crossings using databases of 3D-models of inventory and standard bridge structures, and a protocol of technical requirements for various methods of restoration are considered.

Вывод. Перспективой развития проектирования и строительства искусственных сооружений является использование искусственного интеллекта и программного обеспечения. Предложение варианта восстановления мостового перехода из имеющихся инвентарных мостовых конструкций, произведение расчетов трудозатрат, составление графиков строительства мостового перехода – этот лишь часть возможностей программного обеспечения и в будущем систем искусственного интеллекта.

Список литературы

- 1 Поддубный, А. А. Определение динамических догружений стержня, вызванных внезапной осадкой части основания Пастернака при перемещении шагающих роботехнических комплексов / А. А. Поддубный, В. А. Гордон // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2021. – № 2 (43). – С. 47–50.
- 2 Poddubny A. A. Dynamic loading of the rod at a sudden of elastic foundation structure / A. A. Poddubny, V. A. Gordon // IOP Conference Series: Material Science and Engineering. – 2021. – Vol. 1079. – P. 1–18.
- 3 Гордон, В. А. Собственные изгибные колебания балки, частично опертой на основание Пастернака / В. А. Гордон, Г. А. Семенова // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2020. – № 1 (339). – С. 34–42.
- 4 Added stress of a cantilever under sudden alterations in its foundation / A. A. Poddubny [et al.] // AIP Conference Proceedings. – 2023. – Vol. 040002. – P. 1–10.

УДК 691.31:624.016

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

ОЦЕНКА ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И КОНСТРУКЦИЙ ПО МОДИФИЦИРОВАННОЙ МЕТОДИКЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ ЗАВИСИМОСТИ

По результатам исследования зависимости определения физического износа железобетонных элементов и конструкций, основанной на логистическом подходе, предложена ее модификация. Выполнены расчеты постоянной износа для различных временных отрезков и ее средневзвешенного значения, остаточного ресурса различных типов железобетонных элементов для разных групп строительных объектов и эксплуатационных условий. Показано, что значения постоянной износа в процессе эксплуатации (даже для одних условий) на различных временных участках значительно отличаются, что указывает на некорректность использования в расчетах остаточного ресурса средневзвешенных значений постоянной износа.

Введение. Физический износ (ФИ) конструкций зданий и сооружений в системе ЖКХ является важнейшим показателем, характеризующим их состояние в количественном выражении, а следовательно, отражает как сроки наступления предельного состояния, так и выполнения различных видов ремонта [1].

Качественное и объективное прогнозирование физического износа железобетонных элементов (ЖБЭ) и конструкций (ЖБК) сегодня, с учетом огромного количества находящихся в эксплуатации зданий и сооружений (причем длительные сроки), особенно актуально, поэтому математическое моделирование ФИ является одной из самых востребованных современных задач. По этой причине многочисленными исследователями ведется работа по усовершенствованию существующих методик оценки ФИ, созданию новых [1–12].

Авторами [4] на основе использования логистической зависимости развития во времени физического износа общепринятого нормативного срока эксплуатации железобетона $t = 100$ лет предложено в общем виде выражение для прогнозирования физического износа ЖБЭ

$$T(k) = \frac{100}{e^{4,3-0,11k} + 1} \quad (1)$$

С учетом того, что ЖБЭ и ЖБК значительно отличаются технологией изготовления, условиями эксплуатации, нагрузками, воздействиями, применением бетонов различных классов по прочности на сжатие (состав), армированием и т. д., автором [1] предложена модификация зависимости (1), после преобразования, путем введения коэффициентов, определяющих c – граничное значение срока наступления граничного значения ФИ элемента (конструкции); d – граничное значение ФИ с учетом степени ответственности конструкции (здания, сооружения), условий эксплуатации, нагрузок и воздействий, реальной частоты наблюдений, степени реагирования и т. д. и общепринятого граничного значения ФИ = 80 %,

$$\text{ФИ} = \left(39,09 - \frac{\ln\left(\frac{100c}{t} - 1\right)}{0,11} \right) d, \quad (2)$$

где ФИ – физический износ конструкции, %; t – срок эксплуатации, лет; коэффициенты: 39,09, %; 100, лет; c и d , ден. ед.; 0,11, %⁻¹.

С учетом условий и качества эксплуатации, степени ответственности конструкции, воздействий и нагрузок на здания и сооружения, определены основные группы строительных объектов (каждого типа ЖБЭ) для которых назначены коэффициенты c и d и получены зависимости для прогнозирования ФИ ЖБЭ и ЖБК [11].

Остаточный ресурс ЖБЭ (ЖБК), лет, определяется по формуле

$$T_p = \frac{k}{\lambda}, \quad (3)$$

где T_p – остаточный ресурс, лет; k – коэффициент, принимаемый 0,16 – при определении остаточного ресурса до капитального ремонта, 0,22 – при определении остаточного ресурса до аварийного состояния; λ – постоянная износа, определяемая по данным обследования на основании изменения физического износа на момент обследования.

Для оценки постоянной износа использовали зависимость (2) с учетом предложенных коэффициентов. Были получены значения постоянной износа λ для разных временных интервалов, средневзвешенные значения $\lambda_{\text{ср}}$ для различных типов железобетонных элементов при эксплуатации в разных условиях, остаточный ресурс до капитального ремонта t_k , лет, и наступления аварийного состояния t_a , лет, на основании рассчитанных значений $\lambda_{\text{ср}}$.

Результаты анализа полученных зависимостей и определения остаточного ресурса различных типов ЖБЭ для разных эксплуатационных условий приведены в таблицах 1 и 2.

Объективность определения значений постоянной износа имеет огромное значение.

Авторы [13] отмечают, что для железобетона в период нормальной эксплуатации $\lambda = 0,003 \dots 0,005$. С течением времени, по данным [14], она увеличивается в конце срока эксплуатации примерно в три раза и возрастает с $\lambda = 0,003$ до 0,01.

Авторский анализ, предлагаемый на основе многолетних исследований, зависимостей изменения во времени ФИ железобетонных элементов для различных эксплуатационных условий, показывает, что в открытой атмосфере в период приработки значения постоянной износа ($\lambda = 0,0170 \dots 0,0290$) значительно превышают предлагаемые в [13]; в эксплуатационный период ($\lambda = 0,0037 \dots 0,0145$) – близки к предлагаемым в [13]; в конце эксплуатации ($\lambda = 0,0100 \dots 0,0490$) – опять значительно выше приведенных в [13] и выше предлагаемых в [14].

Таблица 1 – Значения постоянных износа и остаточного ресурса для различных типов железобетонных элементов

Элемент	Временной интервал, лет	Интервал ФИ, %	Постоянная износа, λ	Средневзвешенное значение, λ _{ср}	Остаточный ресурс, лет	
					t _к	t _а
<i>Условия открытой атмосферы</i>						
Мосты						
Опоры	0,00–10,0	0,00–17,0	0,0170	0,0070	22,9	31,4
	10,0–20,0	17,0–23,5	0,0065			
	20,0–80,0	23,5–45,5	0,0037			
	80,0–90,0	45,5–52,0	0,0065			
	90,0–100	52,0–70,0	0,0180			
Пролетные конструкции	0,00–5,0	0,00–12,0	0,0240	0,0084	19,1	26,2
	5,00–10,0	12,0–16,5	0,0090			
	10,0–40,0	16,5–32,5	0,0053			
	40,0–45,0	32,5–37,0	0,0090			
	45,0–50,0	37,0–40,0	0,0100			
Путепроводы						
Опоры	0,00–10,0	0,00–18,0	0,0180	0,0070	22,9	31,4
	10,0–20,0	18,0–26,5	0,0085			
	20,0–80,0	26,5–48,5	0,0037			
	80,0–90,0	48,5–55,0	0,0070			
	90,0–100	55,0–70,0	0,0145			
Пролетные конструкции	0,00–5,0	0,00–13,0	0,0260	0,0183	8,74	12,0
	5,00–10,0	13,0–18,5	0,1100			
	10,0–45,0	18,5–37,0	0,0053			
	45,0–55,0	37,0–45,5	0,0085			
	55,0–60,0	45,5–60,0	0,0290			
Эстакады						
Опоры	0,00–10,0	0,00–19,0	0,0190	0,0080	20,0	27,5
	10,0–20,0	19,0–26,5	0,0075			
	20,0–80,0	26,5–51,5	0,0042			
	80,0–90,0	51,5–59,0	0,0075			
	90,0–100	59,0–80,0	0,0210			
Пролетные конструкции	0,00–10,0	0,00–19,5	0,0195	0,0084	19,1	26,2
	10,0–20,0	19,5–26,5	0,0070			
	20,0–60,0	26,5–45,5	0,0048			
	60,0–70,0	45,5–55,5	0,0100			
	70,0–75,0	55,5–70,0	0,0145			
Склады готовой продукции						
Колонны	0,00–10,0	0,00–20,0	0,0200	0,0085	18,8	25,9
	10,0–20,0	20,0–26,5	0,0165			
	20,0–80,0	26,5–48,5	0,0037			
	80,0–90,0	48,5–55,5	0,0070			
	90,0–100	55,5–75,0	0,0195			
Подкрановые балки	0,00–5,00	0,00–14,5	0,0290	0,0120	13,3	18,3
	5,00–10,0	14,5–20,0	0,0110			
	10,0–40,0	20,0–39,0	0,0063			
	40,0–45,0	39,0–44,5	0,0110			
	45,0–50,0	44,5–60,0	0,0310			
<i>Условия зданий сельскохозяйственного назначения</i>						
Коровники						
Колонны (стоечная часть полурам)	0,00–5,00	0,00–19,0	0,0380	0,0175	9,14	12,6
	5,00–10,0	19,0–25,5	0,0130			
	10,0–30,0	25,5–43,0	0,0088			
	30,0–35,0	43,0–50,0	0,0140			
	35,0–40,0	50,0–70,0	0,0400			
Балки (балочная часть полурам)	0,00–5,00	0,00–16,0	0,0320	0,0150	10,7	14,7
	5,00–10,0	16,0–22,0	0,0120			
	10,0–30,0	22,0–37,0	0,0075			
	30,0–35,0	37,0–42,5	0,0110			
	35,0–40,0	42,5–60,0	0,0350			
Плиты покрытия	0,00–5,00	0,00–13,5	0,0270	0,0125	12,8	17,6
	5,00–10,0	13,5–18,5	0,0100			
	10,0–30,0	18,5–31,0	0,0063			
	30,0–35,0	31,0–36,0	0,0100			
	35,0–40,0	36,0–50,0	0,0280			

Окончание таблицы 1

Элемент	Временной интервал, лет	Интервал ФИ, %	Постоянная износа, λ	Средневзвешенное значение, λ _{ср}	Остаточный ресурс, лет	
					t _к	t _а
<i>Условия зданий сельскохозяйственного назначения</i>						
Коровники						
Панели ограждения	0,00–5,00	0,00–21,5	0,0430	0,0200	8,00	11,0
	5,00–10,0	21,5–29,0	0,0150			
	10,0–30,0	29,0–49,0	0,0100			
	30,0–35,0	49,0–57,0	0,0160			
	35,0–40,0	57,0–80,0	0,0460			
Свинарники						
Колонны (стоечная часть полурам)	0,00–2,50	0,00–15,5	0,0620	0,0256	6,25	8,59
	2,50–5,00	15,5–21,5	0,0240			
	5,00–10,0	21,5–28,5	0,0140			
	10,0–20,0	28,5–42,0	0,0135			
	20,0–25,0	42,0–65,0	0,0440			
Балки (балочная часть полурам)	0,00–2,50	0,00–14,5	0,0580	0,0240	6,67	9,17
	2,50–5,00	14,5–20,0	0,0220			
	5,00–10,0	20,0–26,5	0,0130			
	10,0–20,0	26,5–39,0	0,0125			
	20,0–25,0	39,0–60,0	0,0420			
Плиты покрытия	0,00–2,50	0,00–12,0	0,0480	0,0200	8,00	11,0
	2,50–5,00	12,0–16,5	0,0180			
	5,00–10,0	16,5–22,5	0,0120			
	10,0–20,0	22,5–32,5	0,0100			
	20,0–25,0	32,5–50,0	0,0350			
Панели ограждения	0,00–2,50	0,00–17,0	0,0680	0,0280	5,71	7,86
	2,50–5,00	17,0–23,5	0,0260			
	5,00–10,0	23,5–31,0	0,0150			
	10,0–20,0	31,0–45,5	0,0145			
	20,0–25,0	45,5–70,0	0,0490			

Таблица 2 – Значения остаточного ресурса для различных типов железобетонных элементов

Элемент	Период приработки		Эксплуатационный период		Окончание эксплуатационного срока	
	Среднее значение остаточного ресурса, лет		Среднее значение остаточного ресурса, лет		Среднее значение остаточного ресурса, лет	
	t _к	t _а	t _к	t _а	t _к	t _а
<i>Условия открытой атмосферы</i>						
Мосты						
Опоры	9,41	12,9	43,2	59,5	8,89	12,2
Пролетные конструкции	6,67	9,20	30,2	41,5	16,0	22,0
Путепроводы						
Опоры	8,89	12,2	43,2	59,5	11,0	15,2
Пролетные конструкции	6,15	8,46	30,2	41,5	5,52	7,59
Эстакады						
Опоры	8,42	11,6	38,1	52,4	7,62	10,5
Пролетные конструкции	8,21	11,3	33,3	45,8	11,0	15,2
Склады готовой продукции						
Колонны	8,00	11,0	43,2	59,5	8,21	11,3
Подкрановые балки	5,52	7,59	25,4	34,9	5,16	7,10
<i>Условия зданий сельскохозяйственного назначения</i>						
Коровники						
Колонны (стоечная часть полурам)	4,21	5,79	18,2	25,0	4,00	5,50
Балки (балочная часть полурам)	5,00	6,88	21,3	29,3	4,57	6,29
Плиты покрытия	5,93	8,15	25,4	34,9	5,71	7,86
Панели ограждения	3,72	5,12	16,0	22,0	3,48	4,78
Свинарники						
Колонны (стоечная часть полурам)	2,58	3,55	11,9	16,3	3,64	5,00
Балки (балочная часть полурам)	2,76	3,79	12,8	17,6	3,81	5,24
Плиты покрытия	3,33	4,58	16,0	22,0	4,57	6,29
Панели ограждения	2,35	3,24	11,0	15,2	3,27	4,49

Для зданий сельскохозяйственного назначения: в период приработки значения постоянной износа коровники ($\lambda = 0,0270...0,0430$), свиарники ($\lambda = 0,0480...0,0680$) значительно превышают предлагаемые в [13]; в эксплуатационный период коровники ($\lambda = 0,0063...0,0100$); свиарники ($\lambda = 0,0100...0,0145$) существенно превышают предлагаемые в [13]; в конце эксплуатации коровники ($\lambda = 0,0280...0,0460$); свиарники ($\lambda = 0,0350...0,0490$) снова значительно выше приведенных в [13] и существенно превышают предлагаемые в [14].

Кроме того, анализ полученных результатов указывает на некорректность использования значений остаточного ресурса, рассчитанных на основании применения средневзвешенных значений ФИ ($\lambda_{ср}$), что необходимо учитывать при расчете сроков наступления неудовлетворительного (предаварийного) технического состояния, выполнения капитальных ремонтов (усиления, замен элементов и конструкций) и т. д.

Заключение. Прогнозирование физического износа железобетонных элементов и конструкций с использованием нелинейного моделирования на базе логистического тренда позволяет получить «идеалистическую» модель ФИ, к которой необходимо стремиться весь «жизненный цикл» элементов и конструкций – от создания, до демонтажа.

Повышение качества определения постоянной износа на различных временных отрезках эксплуатации ЖБЭ дает возможность значительно повысить объективность оценки остаточного ресурса железобетонных элементов и конструкций и зданий (сооружений) в целом.

Список литературы

- 1 Васильев, А. А. Оценка и прогнозирование физического износа строительных конструкций, зданий и сооружений : [монография] / А. А. Васильев. – Гомель : БелГУТ, 2021. – 189 с.
- 2 Шмелев, Г. Д. Прогнозирование остаточного ресурса и надежности строительных конструкций с использованием нелинейной модели развития физического износа / Г. Д. Шмелев, Н. В. Головина // Строительство – формирование среды жизнедеятельности : сб. тезисов Шестнадцатой междунар. междуз. науч.-практ. конф. студ., магистр., асп. и мол. уч. – М. : МГСУ, 2013. – С. 163–165.
- 3 Головина, Н. В. Сравнительный анализ нелинейных моделей прогнозирования остаточного ресурса и работоспособности конструктивных элементов жилых зданий / Н. В. Головина, Г. Д. Шмелев // Архитектура и градостроительство. Рекон-

струкция и реставрация // Вестник МГСУ. – 2016. – № 5. – С. 10–15.

4 Гаврильев, И. М. Модифицированная методика расчета остаточного ресурса с использованием экспоненциального распределения / И. М. Гаврильев, Д. И. Корольков, М. В. Гравит // Вестник Евразийской науки. – 2019. – № 2. – Т. 11. – С. 1–14.

5 Попова, О. Н. Методика оценки ресурса работоспособности конструктивных элементов жилых зданий / О. Н. Попова, Т. Л. Симанкина // Инженерно-строительный журнал. – 2013. – № 7. – С. 40–48.

6 Васильев, А. А. Анализ существующей оценки физического износа конструкций зданий и сооружений / А. А. Васильев // «OPEN INNOVATION» : сб. статей VIII Междунар. науч.-практ. конф. – Пенза : Наука и Просвещение, 2019. – С. 36–38.

7 Васильев, А. А. Роль физического износа и его оценки в системе технической эксплуатации зданий / А. А. Васильев // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2009. – № 2 (19). – С. 72–79.

8 Симанкина, Т. Л. Оценка физического износа зданий с применением визуального моделирования дефектов / Т. Л. Симанкина, Н. В. Ширко // Известия вузов. Строительство. – 2011. – № 7 (633). – С. 91–97.

9 Соколов, В. А. Оценка технического состояния и физического износа строительных конструкций с использованием вероятностных методов технической диагностики / В. А. Соколов // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2014. – № 1 (661). – С. 94–100.

10 Тарарушкин, Е. В. Применение нечеткой логики для оценки физического износа несущих конструкций зданий / Е. В. Тарарушкин // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. – 2016. – № 10. – С. 77–82.

11 Васильев, А. А. Прогнозирование физического износа железобетонных элементов и конструкций для различных типов зданий и сооружений / А. А. Васильев, Д. А. Яньшина, А. А. Храмова // Наука. Инновации, образование: [монография]. – Пенза, 2021. – С. 149–160.

12 Васильев, А. А. Оценка постоянной физического износа железобетонных элементов и конструкций для различной агрессивности эксплуатационной среды / А. А. Васильев [и др.] // Наука, общество, образование в эпоху цифровизации и глобальных изменений : [монография] / М. Н. Алешина [и др.] ; под общ. ред. Г. Ю. Гуляева. – Пенза : Наука и Просвещение, 2022. – Разд. II. Гл. 7. – С. 94–108.

13 Пухонто, Л. М. Долговечность железобетонных конструкций инженерных сооружений (силосов, бункеров, резервуаров, водонапорных башен, подпорных стен) / Л. М. Пухонто. – М. : АСВ, 2004. – 424 с.

14 Бойко, М. Д. Диагностика повреждений и методы восстановления эксплуатационных качеств зданий / М. Д. Бойко. – М. : Стройиздат, 1975. – 334 с.

Получено 09.02.2023

A. A. Vasilyev. Evaluation of residual life of reinforced concrete elements and structures according to modified method with application of logistic dependence.

Based on the results of the study of the dependence of determining the physical wear of reinforced concrete elements and structures based on the logistic approach, its modification was proposed. Calculations of permanent wear for different time segments and its weighted average value, residual life of different types of reinforced concrete elements for different groups of construction facilities and operating conditions were made. It has been shown that the values of constant wear during operation (even for the same conditions) in different time areas differ significantly, which indicates that the use of weighted average values of constant wear in the calculations of the residual life is incorrect.

ПОДВИЖНОЙ СОСТАВ

УДК 629.4.02.004.67:620.1

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

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ
НА РАБОТУ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ТРАКТОВ АППАРАТУРЫ КТСМ

Рассмотрено влияние солнечного излучения на достоверность показаний измерительных преобразователей аппаратуры КТСМ при определении уровней нагрева буксовых узлов подвижного состава. Приведены цифровые характеристики уровней солнечного излучения. Разработана методика оценки влияния солнечного излучения на достоверность показаний измерительных преобразователей систем контроля нагрева буксовых узлов, позволяющая минимизировать ошибки измерений. Предложено техническое решение и устройство для выявления воздействий потоков прямого и отраженного солнечного излучения на измерительный тракт аппаратуры КТСМ. Разработана схема сопряжения идентификатора с периферийным комплексом КТСМ.

Введение. Системы и комплексы дистанционного контроля технического состояния буксовых узлов подвижного состава в движении являются важными диагностическими устройствами для обеспечения безопасности перевозочного процесса. Для этой цели используются Комплексы технических средств (КТСМ) (ОАО «Инфотекс»), Дистанционные измерительные системы контроля ДИСК-2 (УО ВНИИЖТ), Европейские системы контроля НОА-400, Автоматизированные системы диагностики колес АСДК-Б (Украина) и др. Воздействие солнечного излучения на аппаратуру контроля снижает достоверность показаний измерительных преобразователей этих систем и является недостатком. Влияние солнечной радиации проявляется в виде отраженного потока инфракрасного излучения, поглощенного корпусом буксы, из-за чего повышается ее температура, а также при прямом попадании солнечных лучей на входы измерительных трактов устройств.

Уменьшить вредное влияние солнечной радиации на показания аппаратуры автоматического контроля букс можно путем формирования таких признаков распознавания, которые были бы нечувствительны (инвариантны) к солнечному излучению. Важным фактором, от которого зависит мощность ИК-излучения букс, является коэффициент излучения ϵ (иногда называемый степенью черноты тела). В реальных условиях эксплуатации элементы корпусов букс и колесных пар, на которые ориентированы оптические системы измерительных преобразователей приемников ИК-излучения, могут быть окрашенными и ржавыми, покрыты смесью осевого масла и пыли, льдом и снегом, пылью перевозимых подвижным составом материалов. Коэффициент излучения таких букс может колебаться в значительных пределах. Таблица 1, в которой приведены значения коэффициентов излучения некоторых материалов и веществ дает представление о размере этих изменений. Анализ данных таблицы, а также экспериментальные исследования позволяют заключить, что коэффициент излучения большинства находящихся в эксплуатации букс изменяется от 0,85 до 0,95. Это создает предпосылки для пропуска аварийных нагретых букс [1, 2].

Влияние солнечной радиации на буксовый узел приводит к тому, что за счет поглощенной энергии температура корпуса буксы повышается на 5–10 °С.

Оценка влияние отраженного ИК-излучения осуществлена на основе спектрального распределения солнечной энергии.

Таблица 1 – Коэффициенты излучения некоторых используемых материалов и веществ

Материал	Температура, °С	Коэффициент излучения, ϵ
Литое необработанное железо	100	0,87–0,95
Железо, покрытое ржавчиной	100	0,61–0,85
Сталь с шероховатой поверхностью	50	0,95–0,98
Сталь, покрытая ржавчиной	50	0,69–0,85
Асбестовая пыль	20	0,4–0,6
Известь	25	0,3–0,4
Угольная пыль	25	0,7–0,95
Сажа	20–100	0,95–0,98
Блестящий черный лак	40–100	0,87
Матовый черный лак	40–100	0,96–0,98
Водяная пленка на металле	20	0,98

На рисунке 1 в относительных единицах показано спектральное распределение энергии солнца на различных высотах (в градусах). Как следует из приведенного распределения, максимум излучения приходится на длины волн 0,5–0,6 мкм, а его энергия тем больше, чем выше над линией горизонта расположено солнце. Более 95 % излучаемой солнцем энергии расположено в интервале от 0,3 до 1,8 мкм. Отраженный от буксы лучистый поток в спектральном отношении, воспринимаемый приемником определяется из выражения [3]:

$$F_{\text{отр}} = R_0 S (1 - \epsilon) \cos \varphi \left(1 - \cos \frac{\psi}{2} \right) K(\lambda), \quad (1)$$

где $R_0 = 0,0697 \text{ Вт/см}^2$ – плотность солнечного лучистого потока на уровне земли для средних широт (солнечная постоянная); ϵ – коэффициент излучения отражающей поверхности; S – площадка, охватываемая телесным углом оптической системы приемника ИК-излучения на корпусе буксы при ее сканировании, см^2 ; φ – угол падения солнечных лучей на вертикальную поверхность буксы, град; ψ – угол зрения оптической системы приемника ИК-излучения, град; $K(\lambda)$ – волновая (спектральная) характеристика приемника ИК-излучения.

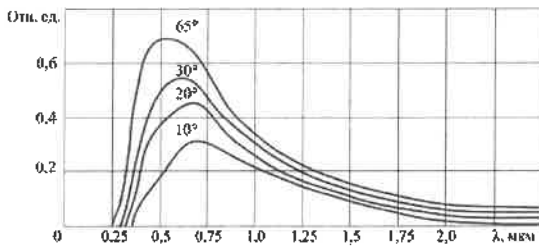


Рисунок 1 – Спектральное распределение солнечной энергии при различных углах склонения

Анализ выражения (1) показывает, что отраженный поток будет тем больше, чем меньше коэффициент излучения отражающей поверхности. Предположим, что $\epsilon = 0,87$ (поверхность буксы покрыта черным лаком); $\varphi = 45^\circ$; $\psi = 5^\circ$ (измерительный преобразователь – болометр БП1-2); $S = 100 \text{ см}^2$, а спектральная характеристика приемника описывается выражением

$$K(\lambda) = \begin{cases} 0 & \text{при } \lambda < 1,7 \text{ мкм;} \\ 1 & \text{при } \lambda \geq 1,7 \text{ мкм.} \end{cases}$$

Такая характеристика может быть у приемника ИК-излучения с германевой линзой. В этом случае приемник ИК-излучения сможет воспринять лишь 5 % отраженного излучения, охваченного телесным углом оптической системы:

$$F_{\text{отр}} = 0,0697 \cdot 100 \cdot 0,13 \cdot 0,7 \cdot 0,00095 \cdot 0,05 = 3 \cdot 10^{-5} \text{ Вт.}$$

Мощность излучения, воспринимаемая приемником от букс, корпуса которых нагреты до $60\text{--}80^\circ\text{C}$ ($333\text{--}353 \text{ К}$), находится в интервале $(8\text{--}12) \cdot 10^{-5} \text{ Вт}$, т. е. $F_{\text{отр}} / F_6 \approx 0,2\text{--}0,3$. Приведенный расчет выполнен для буксы с пониженным коэффициентом излучения. Большинство находящихся эксплуатации букс имеют коэффициент излучения $\epsilon \approx 0,85\text{--}0,95$. В этом случае воспринимаемый приемником отраженный лучистый поток составляет 5–10 % излучаемого нагретой буксой.

Уменьшить влияние отраженного потока можно за счет спектральной фильтрации, т. е. путем подавления излучения в интервале $0,3\text{--}5 \text{ мкм}$. На рисунке 2 показаны спектральные характеристики основных материалов, используемых в качестве фильтрующих в оптических системах приемников ИК-излучения аппаратуры контроля нагрева букс.

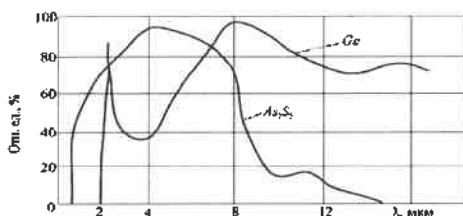


Рисунок 2 – Спектральные характеристики материалов оптических систем приемников ИК-излучения

Как видно из приведенных кривых на рисунке 2, эти материалы достаточно хорошо подавляют энергию в области солнечного излучения, пропуская спектр ИК-излучения букс.

Для определения лучистого потока, воспринимаемого приемником ИК-излучения при прямом попадании

на него солнечных лучей, воспользуемся формулой (1), положив в ней $\epsilon = 0$. В этом случае лучистый поток, воспринимаемый приемником, будет в 10–15 раз больше отраженного потока, что значительно превышает мощность ИК-излучения, воспринимаемую приемником от перегретой буксы.

Среда, по которой распространяется инфракрасная энергия, также влияет на мощность ИК-излучения букс. Прозрачность этой среды при движении поезда в различных климатических условиях может заметно меняться. В зимнее время при движении поезда с большой скоростью эта среда в результате поземки наполняется частицами снега и пыли, прозрачность среды может быть уменьшена сильным снегопадом. В весенне-летний период эта среда может быть насыщена каплями тумана, дождя, частицами пыли и т. п.

Ослабление лучистого потока, проходящего сквозь толщу среды, можно определить из выражения [4]:

$$R = R_0 e^{-\gamma z},$$

где R_0 – начальный лучистый поток, Вт/см^2 ; γ – показатель ослабления, $1/\text{см}$; z – толщина среды, см .

Ослабление лучистого потока средой обычно происходит как за счет рассеивания потока, так и за счет его поглощения. Рассеивание средой сказывается в области видимого спектра излучения. В области ИК-излучения в большей степени сказывается поглощение энергии излучения частицами среды, определяемой по формуле

$$R = R_0 e^{-5 \cdot 10^{-3} \cdot 200} = 0,96 R_0.$$

Расчеты и экспериментальные исследования показали, что в худшем случае на расстоянии 2 м поглощение среды может привести к ослаблению потока на 3–5 % [2].

Уменьшить влияние прямой солнечной радиации можно улучшением характеристик фильтров (повышение их подавляющей способности в области ИК-излучения солнца), выбором направления ориентации напольных считывающих устройств, исключая попадание солнечных лучей на приемник ИК-излучения в любое время суток, или с помощью защитных щитов, расположенных на направлении солнечных лучей за габаритом приближения строений.

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

Это положение указывает на то, что воздействие солнечного излучения на аппаратуру контроля является недостатком самой системы. Со стороны разработчиков ДИСК-2 (УО ВНИИЖТ) и КТСМ (ОАО «Инфотекс») были разъяснения о подверженности «засветки» изме-

рительных трактов аппаратуры КТСМ-01, КТСМ-01(Д) и в меньшей степени КТСМ-02. Применение солнечных фильтров не устраняет полностью влияние солнечного излучения, а лишь частично снижает его по длительности и силе. Полное устранение влияния при помощи светофильтров принципиально невозможно, так как светофильтры устраняют только коротковолновую ($< 6 \text{ мкм}$) часть спектра солнечного излучения, а в оставшейся полосе спектра (6–14 мкм) солнце излучает энергию, значительно превышающую энергию излучения корпусов букс.

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

Очевидно, что фактическое влияние солнечного излучения следует минимизировать и идентифицировать в режиме реального времени для оперативного сопоставления с конкретными остановками поездов по показаниям аппаратуры контроля. Важным этапом является определение характера статистической связи солнечного излучения и «засветки» измерительного тракта аппаратуры контроля буксовых узлов и выявление способов воздействия на показания результатов контроля. Конечным итогом исследований является сокращение задержек поездов из-за солнечного влияния и других тепловых излучений. С этой целью проведен сбор и анализ статистических данных о задержках поездов из-за ложных срабатываний на фитинговые платформы, горячий груз, на шкивы пассажирских вагонов, выхлопные трубы специального самоходного подвижного состава ССПС и другой специальной техники. Осуществлено исследование интенсивности солнечного излучения и разработан алгоритм согласования результатов измерений инфракрасной энергии буксовых узлов и воздействия солнечного излучения. Разработан и испытан идентификатор солнечного излучения. Он состоит из сборки 6 фотодиодов ИК-диапазона, соединенных по логической схеме ИЛИ и размещенных в климатически защищенном корпусе. Идентификатор устанавливается на верхней крышке напольной камеры комплекса КТСМ-01Д для исключения заносов снегом в зимнее время.

Ориентация контролируемых направлений воздействия солнечных лучей приведена на рисунке 3.

Получено 26.04.2023

V. V. Burchankou. Evaluation of the influence of solar radiation on the operation of the measuring trains of the KТСМ equipment.

The technology of the effect of solar radiation on the accuracy of the measuring paths of the KТСМ equipment when measuring the heating of the axle boxes of the rolling stock is considered. Numerical characteristics of solar radiation levels are given. A technique has been developed for assessing the effect of solar radiation on the reliability of the readings of measuring transducers of axle box heating control systems, which makes it possible to minimize measurement errors. A device for recording solar radiation is proposed.

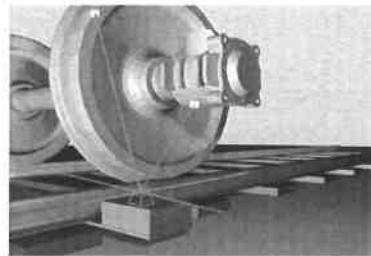


Рисунок 3 – Схема ориентации регистратора солнечного излучения

Схема сопряжения разработана для передачи сигналов идентификатора на свободный канал модуля МЦМК, расположенного в периферийном комплексе ПК-02ПД аппаратуры КТСМ-01Д. Усовершенствован алгоритм теплового контроля подвижного состава комплексами КТСМ-01(Д) [6, 7]. Разработаны дополнения для местной инструкции по эксплуатации устройств контроля нагрева букс в разделе учета влияния солнечного излучения и регистрации задержек поездов.

Заключение. Разработана методика оценки влияния солнечного излучения на достоверность измерений устройств контроля нагрева буксовых узлов. Предложено устройство, позволяющее регистрировать уровень солнечного излучения и минимизировать это мешающее воздействие.

Список литературы

- 1 **Поборцев, П. Н.** Порядок пользования автоматизированной системой контроля подвижного состава (АСК ПС) от устройств ДИСК, КТСМ Белорусской железной дороги / П. Н. Поборцев, З. А. Стаховская. – Минск : Белорусская ж. д., 2008. – 76 с.
- 2 **Бурченко, В. В.** Оперативная информация о состоянии подвижного состава Белорусской железной дороги / В. В. Бурченко // Проблемы безопасности на транспорте : материалы VI Междунар. науч.-практ. конф. / редкол. : В. И. Сенько [и др.]. – Гомель : БелГУТ, 2012. – С. 73–74.
- 3 **Трестман, Е. Е.** Автоматизация контроля буксовых узлов в поездах / Е. Е. Трестман, С. Н. Лозинский, В. Л. Образцов. – М. : Транспорт, 1983. – 352 с.
- 4 **Панкратов, Л. В.** Мониторинг нагрева букс / Л. В. Панкратов, С. Н. Чистяков // Автоматика, телемеханика, связь. – 2008. – № 6. – С. 19–21.
- 5 **Гондоров, В. А.** Новый этап развития аппаратуры КТСМ / В. А. Гондоров // Вагоны и вагонное хозяйство. – 2016. – № 1. – С. 30–31.
- 6 Автоматизированная система контроля подвижного состава АСК ПС. Общее описание системы. И.2.006-02ПД / НПЦ «ИНФОТЕКС». – Екатеринбург, 1999. – 10 с.
- 7 Автоматизированная система контроля подвижного состава АСК ПС. Типовые схемы подключения. И.2.006-02 С5 / НПЦ «ИНФОТЕКС». – Екатеринбург, 1998. – 9 с.

УДК 629.464.2

К. В. МАКСИМЧИК, магистр, Р. И. ЧЕРНИН, кандидат технических наук, В. Л. МОЙСЕЕНКО, кандидат технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

СНЕГОУБОРОЧНЫЙ ПОЕЗД СМ-2. ОБОБЩЕННАЯ МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ РАМ ПРИ КАПИТАЛЬНОМ РЕМОНТЕ

Рассмотрены вопросы измерений рам снегоуборочного поезда СМ-2. Проанализированы средства измерений и их погрешности. Описаны методы выполнения измерений и порядок их проведения.

Введение. Вопрос борьбы со снежными заносами в условиях климата Республики Беларусь является актуальным в зимний период. Особенно актуальна задача для железнодорожного транспорта, ведь из-за снежным заносов нарушается график движения поездов, затрудняется перевозочный процесс.

Согласно [1], 96 % снегоуборочных поездов СМ-2 (далее – машина) выработали свой нормативный ресурс, и невозможно разом обновить весь парк снегоуборочной техники, а это значит, что в Республике Беларусь складывается неблагоприятная ситуация с обновлением парка снегоуборочной техники. Решением вопроса могут стать мероприятия по продлению срока службы при проведении регламентных ремонтных работ.

В нашей стране ремонт машин осуществляют следующие предприятия: эксплуатационное республиканское унитарное предприятие «Центр механизации путевых работ Белорусской железной дороги» (ст. Пинск), Локомотивное депо Лунинец транспортного республиканского унитарного предприятия «Барановичское отделение Белорусской железной дороги» (г. Лунинец), открытое акционерное общество «Минский вагоноремонтный завод» (г. Минск), закрытое акционерное общество «Гомельский вагоностроительный завод» (г. Гомель).

В соответствии с [2] продление срока службы машин осуществляют на основе анализа нормативных значений толщин несущих конструкций элементов рам и кузова, устанавливаемых по конструкторской документации с учетом утонения конструктивных элемен-

тов за срок эксплуатации вследствие коррозионного износа от фактических значений.

Измерения проводят с целью проверки линейных размеров и деформаций балок рам машин и соответствия нормативным документам перед выполнением планового ремонта. Их измеряют в координатных осях X (вдоль машины), Y (поперек машины) и Z (вертикальные размеры).

Погрешности и средства измерений. В данном случае диапазон измеряемых размеров колеблется от 0 до 18 000 мм и в силу малочисленности измерений по каждому элементу машины не требует вероятностных методов их оценки. Поэтому точность измерения определяют погрешностью средств измерения (СИ) и личной составляющей погрешности измерения оператора (ОП). Учёт влияния температурного и других метеорологических факторов (относительной влажностью и др.) на погрешность результатов измерений не производят, так как их доля в сравнении с погрешностью от СИ и ОП ничтожно мала [3, с. 92].

В этом случае абсолютную погрешность измерения определяют двумя слагаемыми [4, с. 4]:

$$\Delta_{\Sigma} = \Delta_{СИ} + \Delta_{ОП}, \quad (1)$$

где $\Delta_{СИ}$ – погрешность средств измерения, определяемая паспортными данными и результатами поверки СИ; $\Delta_{ОП}$ – погрешность, допускаемая оператором при измерении, информацию о которой получают из опыта проведения подобных измерений [4].

В таблице 1 приведены сведения о погрешности используемых средств измерения.

Таблица 1 – Пределы погрешностей средств измерений

Порядковый номер и измеряемая величина	Средства измерения (СИ)	В миллиметрах
		Пределы погрешности средств измерений, мм
Измерение длин в координатных осях X , Y , Z с размерами до:	Линейка	$\pm 0,45$
	Рулетка	$\pm 0,6$
	Дальномер лазерный	± 3

При известном законе распределения случайной погрешности Δ_i (при $n > 20$) за истинную величину измерения $x_n = A$ принимают среднее арифметическое значение (оценка измерения m) [4, с. 50].

$$m = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n} = X_n + \Delta_c + \frac{1}{m} \sum_{i=1}^n \Delta_{oi}, \quad (2)$$

где x_1, x_2, x_3, x_n – текущие значения результатов измерения; Δ_c – постоянная систематическая погрешность; Δ_{oi} – случайная систематическая погрешность.

При малом числе измерений $\Delta_c = \Delta_{СИ}$, а $\Delta_{oi} = \Delta_{ОП}$.

В нашем случае при трехкратном измерении оценка результатов измерений

$$m = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n} = X_n + \Delta_{оп} + \Delta_{си}. \quad (3)$$

То есть оценка измерения m включает в себя случайную систематическую погрешность измерения, допускаемую оператором, и погрешность средств измерения, но в связи с малочисленностью измерений и базовых размеров погрешности, допускаемые оператором,

не учитывают, и в итоге истинный размер будет составлять только погрешность средств измерений в соответствии с таблицей 1.

При выполнении измерений применяют средства приведенные в таблице 2. Средства измерений и оборудование должны пройти метрологическую оценку в соответствии с законодательством Республики Беларусь в области единства измерений.

Таблица 2 – Средства измерения линейных размеров

Наименование и тип средств измерений	Стандарт	Измеряемая величина	Обозначение измеряемой величины
Линейка металлическая	ГОСТ 427	Расстояние между внутренними стенками двутавровых хребтовых балок (рисунок 2)	l_x
		Прогиб боковой балки (рисунок 4)	–
		Прогиб хребтовой балки (рисунок 4)	–
Рулетка измерительная	ГОСТ 7502	Ширина рамы (рисунок 1)	$2B_{max}$
Дальномер лазерного типа	–	Длина диагоналей по осям шкворневых балок (рисунок 1, а, в)	$l_{д1}, l_{д2}$
Лазерный нивелир	–	Плоскость для измерения прогиба балок	–
Приёмник лазерного луча	–	Прогиб балок при яркой солнечной погоде	–

Допускается использовать отличные от указанных в таблице 2 средства измерений, но с такими же метрологическими характеристиками, выбранными из Государственного реестра средств измерений Республики Беларусь или узаконенными для применения через проведение метроло-

гической экспертизы и удовлетворяющими по точности.

Методы выполнения измерений. Измерения выполняют двумя исполнителями, каждое из измерений производят трижды, по ним выводят среднее значение (таблица 3) и заносят в протокол измерений.

Таблица 3 – Контролируемые линейные размеры машины (головного, промежуточного, концевого вагонов)

Измеряемая величина	Обозначение	Измерение			
		1	2	3	Итоговое значение
Ширина рамы	$2B_{max}$				
Разность диагоналей по осям шкворневых балок (для головного вагона рисунок 1, а, для концевого вагона рисунок 1, в)					
Расстояние между внутренними стенками двутавровых хребтовых балок (рисунок 2)	l_x				
Разность в уровне верхних полок хребтовых и боковых балок рамы (рисунок 3)					
Прогиб боковой балки: левой правой			–		
Прогиб хребтовой балки			–		
Искривление рамы в горизонтальной плоскости			–		

Для измерения продольных размеров рам машины предварительно наносят контрольные точки (КТ) по середине верхних листов шкворневых балок, по середине машин и по вертикальной стенке швеллера концевых балок (см. рисунок 1).

Контрольные точки наносят керном, маркером, мелом: на шкворневых балках – по продольным осям шкворневых балок, по середине машин – на боковых балках рамы, на концевых балках – по середине вертикального листа швеллера. Положение контрольных точек определяют:

а) на шкворневых балках – на половине ширины верхних горизонтальных листов и половине ширины боковой балки;

б) на боковых балках рамы – по середине машины по середине боковой балки;

в) на концевых балках – по середине вертикального листа швеллера концевой балки.

Проведение измерений. Измерительной рулеткой замеряют три раза размер $2B_{max}$ в соответствии с рисунком 1, вычисляют среднее значение ширины рамы машины.

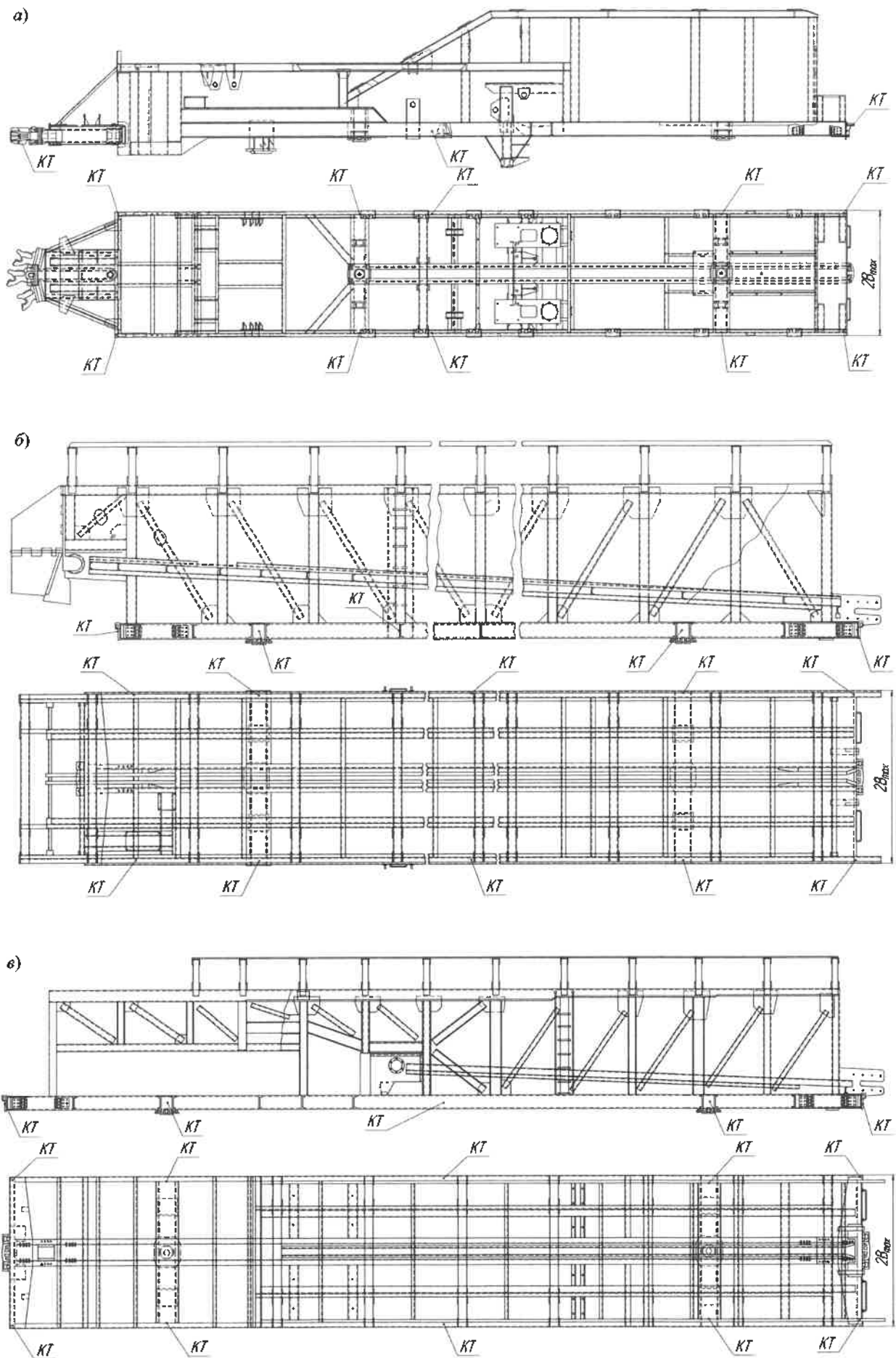


Рисунок 1 – Схемы измерения линейных размеров рамы головного (а), промежуточных (б) и концевого (в) вагонов

Измерительной рулеткой выполняют измерение согласно рисунку 2 в сечениях через каждые 1500–2000 мм длины рамы машины.

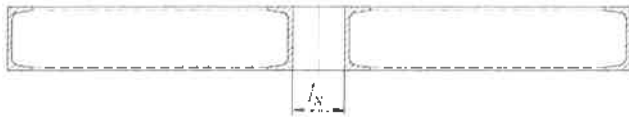


Рисунок 2 – Схема измерения расстояния между внутренними стенками двутавровых хребтовых балок

Через каждые 1500–2000 мм длины рамы машины провести измерения согласно рисунку 3, за базовую поверхность принимать верхний лист шкворневой балки.

Для определения прогиба балок машин с использованием лазерного нивелира: базовая плоскость проходит через контрольные точки на серединах верхних листов шкворневых балок. Нивелир устанавливают в плоскости уровня головок рельсов.

Измеряют расстояние от контрольных точек на ближайшей шкворневой балке к нивелиру ($L01_{изм}$) и дальней ($L02_{изм}$), после чего в плоскостях, расположенных через каждые 1500–2000 мм базы машины производят

замеры расстояния от верхней полки боковой балки до лазерного луча металлической линейкой ($Li_{изм}$, где i от 1 до n) рисунок 4.

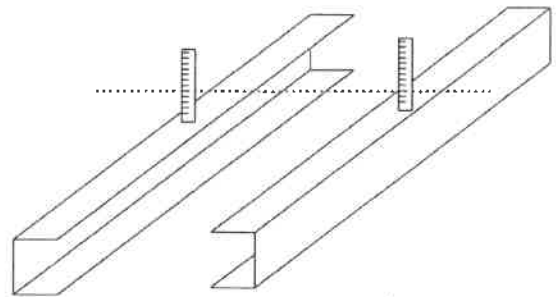


Рисунок 3 – Схема измерения разности в уровне верхних полок хребтовых и боковых балок рамы

Определение прогибов производят согласно методике, приведенной на рисунке 5. Строят прямоугольный треугольник, где прилежащий катет к острому углу равен проекции базы машины на ось x (луч нивелира) машины (x), а противолежащий – разнице измерений ($L02_{изм} - L01_{изм}$).

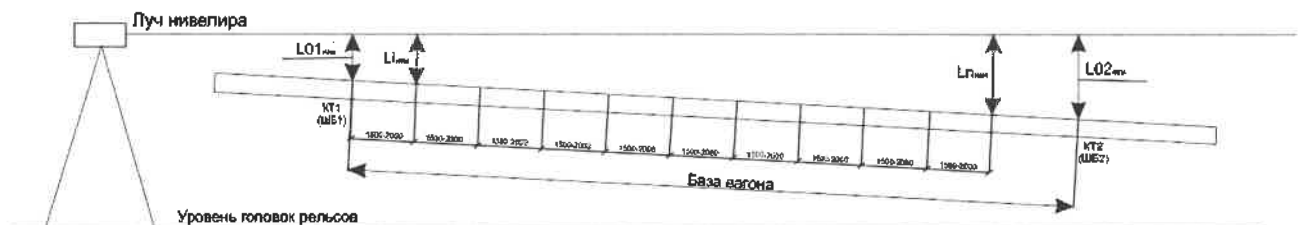


Рисунок 4 – Схема проведения замеров для определения прогиба балок машины



Рисунок 5 – Методика установления прогиба балок машины

Далее, используя подобие прямоугольных треугольников по острому углу, определяют противоположный катет в каждом сечении k по формуле

$$k_i = \frac{(L02_{изм} - L01_{изм})x_i}{x} \quad (4)$$

Величина прогиба в каждом сечении

$$Li = Li_{изм} - L01_{изм} - k_i \quad (5)$$

Общий прогиб оценивают сравнением значения величины максимального прогиба по модулю с допусковым значением согласно следующим требованиям [5].

Для определения искривления рамы в горизонтальной плоскости луч нивелира пропускают параллельно боковой балке на расстоянии от 50 до 100 мм от нее (базовая линия), далее производят три измерения расстояния от луча до контрольных точек на концевых балках и от контрольной точки по середине базы маши-

ны. За искривление принимают максимальную величину по модулю от луча до контрольной точки с учётом положения базовой линии. Производят аналогичные замеры для второй боковой балки, при записи в таблицу принимают максимальное значение изгиба в горизонтальной плоскости одной из двух боковых балок.

Вывод. Таким образом, по результатам измерений, формируют карту геометрических размеров рам машины, которую применяют при ее ремонте. Кроме того, сбор статистической информации о геометрических параметрах существующей техники позволяет разработать методику оценки технического состояния машин и, в конечном итоге, методику оценки их остаточной несущей способности. В результате можно спрогнозировать остаточный ресурс рам, предложить рекомендации по улучшению несущих элементов и увеличить средний срок эксплуатации машин.

Список литературы

1 Максимчик, К. В. Снегоуборочный поезд СМ-2. Анализ текущего состояния парка техники в Республике Беларусь / К. В. Максимчик, В. Л. Моисеенко // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2022. – № 2 (45). – С. 52–54.

2 СТП 56.428–2021. Специальный железнодорожный подвижной состав. Эксплуатация, техническое обслуживание и ремонт : утв. приказом зам. нач. Бел. ж. д. от 09.07.2021, № 621НЗ. – Минск, 2021. – 94 с.

3 Новицкий, П. В. Оценка погрешностей результатов измерений / П. В. Новицкий, И. А. Зограф. – Л. : Энергоатомиздат. Ленинградское отделение, 1991. – 304 с.

4 Методология, стандартизация и сертификация : учеб. / Ю. И. Борисов [и др.] ; под ред. проф. А. С. Сигова. – М. : Форум; ИНФРА-М, 2005. – 336 с.

5 РК.СМ-2.31.001–2022. Руководство по капитальному ремонту снегоуборочной машины СМ-2 и ее модификаций. 2022. – 276 с.

Получено 07.04.2023

K. V. Maksimchyk, R. I. Chernin, V. L. Moiseenko. Snow removal train SM-2. Generalized method of measuring the load-bearing structures of frames during major repairs.

The issues of measuring the frames of the SM-2 snowplow train are considered, measuring instruments and their errors are analyzed. The methods of performing measurements and the procedure for their implementation are described.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА

УДК 340.130.53:656.2

А. А. ЕРОФЕЕВ, кандидат технических наук, В. Г. КУЗНЕЦОВ, кандидат технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель; П. М. ДУЛУБ, Белорусская железная дорога, г. Минск

**ОСОБЕННОСТИ ПРАВОВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОЛОЖЕНИЙ
ЗАКОНА «О ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ»**

Разработка новой модели закона «О железнодорожном транспорте» является ответственным процессом нормотворчества и основывается на использовании метода правового моделирования положений и норм. Рассмотрены основные аспекты правового моделирования в процессе обновления закона. Использование метода правового моделирования в железнодорожном праве позволяет провести системный анализ структуры норм права. Установлена взаимосвязь норм права, полнота и эффективность их использования при регулировании отношений, возникающих между участниками перевозочного процесса, регулировании транспортной деятельности организаций железнодорожного транспорта, их согласованности с внешней правовой средой. Рассмотрены виды моделирования для структурирования норм права в модели Закона. Предложен порядок проведения правового моделирования при обновлении норм права. Представлена схема процессно-организационного моделирования основ функционирования железнодорожного транспорта и дано ее использование при определении положений по основным областям правового регулирования перевозочного процесса. Определены требования к правовому моделированию норм с статьях модели Закона, позволяющие раскрыть сущность положений и определить их функционал.

Развитие железнодорожного права отражает совокупную тенденцию существенных и устойчивых на практике изменений в транспортной деятельности как внутри отрасли, так и во внешней среде – экономике Республики Беларусь (РБ), международном сотрудничестве при перевозках грузов и пассажиров, а также в нормативно-правовой среде [1]. Обновление Закона «О железнодорожном транспорте» (далее – Закон) [2] должно носить системный характер и своевременно актуализировать положения и нормы, регулирующие функционирование железнодорожного транспорта [3, 4].

Процесс обновления Закона является сложным нормотворческим процессом, в котором необходимо: использовать научно-обоснованные методы и способы анализа применения существующих норм права, установить объективные тенденции изменения общественных отношений в транспортной деятельности, оценить заинтересованность участников перевозочного процесса в потребных изменениях, смоделировать направления изменения норм права, сформировать концепцию проекта обновлений в Законе, дать системную оценку эффективности предлагаемых обновлений, смоделировать проект Закона с обновленной совокупностью норм, провести общественное рассмотрение значимости развития общественных отношений и их применение в практической деятельности [2, 3].

Важной частью процесса нормотворчества является правовое моделирование, которое используется на всех фазах процесса обновления Закона [3, 5].

Целью использования метода правового моделирования в железнодорожном праве при обновлении Закона является проведение системного анализа необходимости развития структуры и сущности норм права. В процессе правового моделирования устанавливается взаимосвязь норм права, полнота и эффективность их использования при регулировании общественных отношений, возникающих между участниками перевозочного процесса, регулировании транспортной деятельности организаций железнодорожного транспорта, их согласованности с внешней правовой средой и другие аспекты.

Процесс правового моделирования предполагает создание модели Закона. При этом на первом этапе формируется модель в виде Концепции проекта Закона, а

затем, после комплексного анализа, на втором этапе – модель проекта Закона. В правовой практике используется процесс разработки Модельного закона [6].

Целевым критерием оценки эффективности модели Закона является их соответствие потребностям участников перевозочного процесса и практики их применения на национальном и международном уровнях, которое позволяет качественно обеспечить потребности перевозок, создать условия для эффективного функционирования организаций железнодорожного транспорта и обеспечить развитие транспорта в экономике государства [7, 8].

Предметом правового моделирования является структурированная совокупность норм права, регулирующих функционирование железнодорожного транспорта, его составных частей, элементов.

Функционирование организаций железнодорожного транспорта следует рассматривать в конструкции модели Закона в зависимости от потребности и возможности государства в создании правовой модели, обеспечивающей эффективную деятельность транспортного комплекса [9].

Структурирование норм права в модели Закона должна учитывать следующие виды моделирования:

- *стратегическая модель* железнодорожного транспорта и организаций железнодорожного транспорта, в которой зафиксированы ее стратегии и цели;
- *организационно-функциональная модель*, представляющая собой матрицу – проекцию транспортной деятельности организаций-участников перевозочного процесса и функционала, необходимого для осуществления заявленной транспортной деятельности;
- *процессная модель*, определяющая способ реализации и последовательность действий при оказании услуг (выполнении работ);
- *информационная модель*, определяющая состав и структуры различных данных (и форм их представления) в информационных системах;
- *финансовая модель*, которая позволяет оценить ресурсы, необходимые организациям железнодорожно-

го транспорта для оказания услуг (выполнения работ) с учетом потребностей экономики и граждан в перевозках.

Определение организационно-функциональной и процессной моделей организаций железнодорожного транспорта является необходимым условием для установления свойств услуг (работ) и производится с учетом иных моделей, определяющих целевые показатели и необходимые ресурсы для реализации процесса перевозок (выполнения работ) на железнодорожном транспорте.

При определении форм организации управления транспортной деятельностью необходимо исходить из того, что функционирование на железнодорожном транспорте определяется как интеграционный процесс, с помощью которого заявленные на транспортном рынке организации, выполняют выбранные или установленные государством функции посредством постановки целей и разработки способов их достижения. Характерной особенностью деятельности организаций железнодорожного транспорта являются постоянные изменения, обусловленные неустойчивостью внешней транспортно-экономической среды, неравномерностью перевозок грузов, которая имеет высокую степень динамичности.

Эффективное управление транспортной деятельностью возможно, когда формализованы структурные признаки деятельности организаций и они определены в нормативно-правовых актах (НПА). Описание функций организаций и процессов, прогнозное моделирование новых услуг (работ) в период нормотворчества позволяет в НПА избежать неопределенности функционирования железнодорожного транспорта. Построение структурированной матрицы норм права в Законе позволяет системно проводить правовое моделирование.

Правовое моделирование при обновлении норм права является эффективным средством нормотворчества и в рамках закона «О железнодорожном транспорте» включает:

- стратегический анализ эффективности процессов оказания услуг (выполнения работ), с учетом организационно-функциональной модели транспортной деятельности на железной дороге. На уровне правового моделирования можно оценить взаимодействие участников перевозочного процесса и государства;

- постановка системы норм права, связанных с достижением стратегических целей транспортного рынка государства. Правовое моделирование позволяет достигнуть гарантированного в НПА уровня качества оказания услуг (выполнения работ);

- описание деятельности организаций железнодорожного транспорта (права и обязанности) с необходимой для нормотворчества степенью детализации, установленной в железнодорожном праве. Правовое моделирование позволяет на основе формального описания выбрать «ключевые» процессы в деятельности организаций железнодорожного транспорта (например, безопасность движения и эксплуатация транспортных средств [10]), наиболее существенные, отражающие нормативно-правовую основу и эффективность перевозочного процесса;

- определение ресурсного обеспечения функционирования железнодорожного транспорта: технического, информационного, трудового, технологического и иного. Правовое моделирование позволяет определить

требования к ресурсам по каждому из ключевых процессов.

Таким образом, правовое моделирование на основе использования методов конструирования организационно-функциональной и процессной моделей позволяет ввести методологичность, обеспечить целостное представление норм права транспортной деятельности, спрогнозировать проблемы и проанализировать взаимосвязи и полноту функционала по существенным положениям Закона. Правовое моделирование на основе организационно-функциональной и процессной моделей позволяет сделать более стандартными, строгими и управляемыми средствами правового регулирования, что в конечном итоге обеспечивает как эффективное функционирование транспорта и развитие отношений в процессе оказания транспортных услуг, так и регулирование государством функционирования железнодорожного транспорта в целом. Кроме того, применение организационно-функциональной и процессной моделей для правового моделирования позволяет обосновать внедрение апробированных на практике правовых моделей, выбранных в качестве прототипа, с учетом специфики и особенностей работы железнодорожного транспорта РФ [6].

Для правового моделирования функционирования железнодорожного транспорта использование процессного подхода особенно важно, т. к. процессная модель дает более точную идентификацию деятельности организаций железнодорожного транспорта в матрице производственных отношений, чем применение матрицы функциональной ответственности или общее описание правил поведения при оказании транспортных услуг (выполнении работ). Наличие детальной матрицы описания функционирования железнодорожного транспорта позволяет более полно формировать механизм государственного регулирования и управления.

На основе установленной матричной структуры Закона моделируются концептуальные положения Закона, формирующие необходимую нормативную среду на железнодорожном транспорте.

Моделирование положений Закона осуществляется исходя из следующих условий:

- в модель Закона включаются только положения, соответствующие предмету правового регулирования в области функционирования железнодорожного транспорта;

- определяются базовые положения модели Закона (правовые, экономические, организационные и другие), которые определяют основные виды деятельности, связанные с обеспечением перевозок. Соответственно положения, включенные в закон, должны в достаточной степени отражать предметную сущность функционирования железнодорожного транспорта;

- положения модели Закона должны предусматривать комплексное регулирование общественных отношений, обеспечивающих все стороны осуществления перевозки: участники, организация перевозки и условия обеспечения перевозки, права и обязанности, ответственность и т. п.;

- положения в модели Закона должны быть представлены в объеме, соответствующем критерию полноты норм правового регулирования общественных от-

ношений при осуществлении перевозочного процесса железнодорожным транспортом;

- предписания, устанавливаемые в положениях, должны носить однозначность применения в деятельности при оказании услуг перевозки.

При моделировании положений Закона (рисунок 1) должен создаваться *базовый правовой функционал* регулирования, который в дальнейшем создает основу для формирования методологии определения требований, норм, правил и иных условий, которые могут быть детализированы в иных связанных НПА:

- виды деятельности и услуг, в том числе в области международных перевозок;

- оказание услуг и выполнение работ по перевозке железнодорожным транспортом пассажиров и грузов, багажа и грузобагажа;

- осуществление функциональной деятельности организациями железнодорожного транспорта;

- эксплуатация инфраструктуры, подвижного состава;

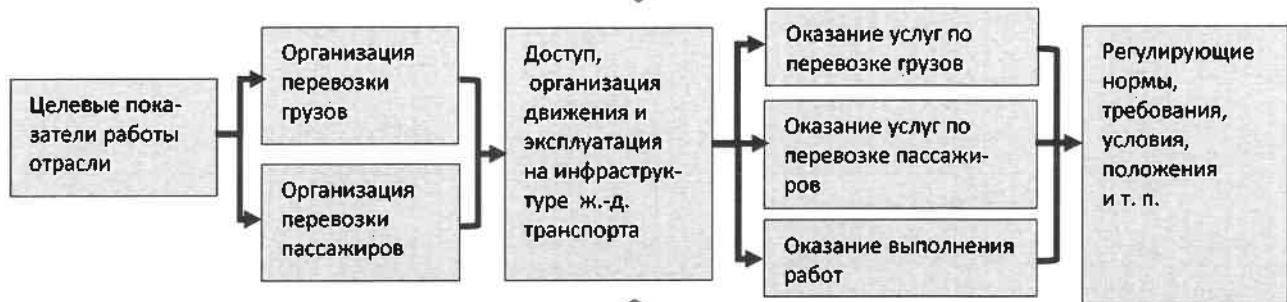
- система договорных отношений, заключаемых при организации перевозочного процесса, ответственность организаций за нарушение договорных обязательств;

- другие.

Внешнее регулирование



Регулирование процессов функционирования



Регулирование деятельности участников перевозочного процесса

Рисунок 1 – Схема процессно-организационного моделирования основ функционирования железнодорожного транспорта

При моделировании необходимо определить положения Закона, устанавливаемые посредством императивных норм и правил, которые не могут быть заменены каким-либо иным условием.

В рамках Закона РБ «О железнодорожном транспорте» положения формируются по основным областям правового регулирования деятельности при осуществлении перевозок.

В *области государственного регулирования* моделируются положения, которые регламентируют:

- правовые, экономические и организационные основы транспортной деятельности;

- принципы осуществления деятельности на железнодорожном транспорте;

- нормы государственного управления, регулирования и контроля деятельности;

- основные функции (компетенции) государственных органов республиканского и местного уровней управления в области железнодорожного транспорта;

- основные права и обязанности субъектов транспортной деятельности.

Указанные положения должны позволять использовать их при регулировании функционирования железнодорожного транспорта, устанавливать нормы права в отношениях государства и участников перевозочного процесса:

- реализовать системный подход государственного регулирования в области транспортной деятельности;

- определить нормы регулирования деятельности организаций железнодорожного транспорта, обеспечивающих их эффективное функционирование и выполнение заявленной организациями железнодорожного транспорта производственной деятельности, видов услуг.

В *области регулирования экономических условий функционирования* организаций железнодорожного транспорта моделируются положения, которые регламентируют:

- виды и способы формирования имущества организаций железнодорожного транспорта;
- формы экономических отношений между участниками перевозочного процесса при реализации транспортной деятельности;
- деятельность организаций по оказанию услуг, распоряжение ресурсами при оказании транспортных услуг;
- систему тарифов за оказание услуг транспортной деятельности;
- систему налогов, сборов (пошлин) и иных обязательных платежей в бюджет;
- основы расчета с республиканским бюджетом, расчета за выполненные организациями транспортные работы и услуги;
- инвестирование в развитие железнодорожного транспорта, кредитование;
- льготирование перевозок грузов и пассажиров, деятельности организаций, осуществляющих транспортную деятельность;
- экономическую деятельность организаций, участвующих в организации перевозок в международном сообщении;
- другие положения.

Указанные положения должны позволять использовать их при регулировании экономических отношений участников перевозочного процесса между собой, государством, устанавливая нормы права, определяющие экономическую основу участия организаций в перевозках:

- реализовать нормы права Гражданского кодекса РБ и других норм законодательства, формирующих экономические отношения в государстве;
- определить нормы для формирования бизнес-модели транспортной деятельности организаций железнодорожного транспорта, социально-экономических условий их участия в рынке перевозок и гарантий их экономической устойчивости (тарифы, сборы, платежи, кредиты, налоги, инвестиции и т. п.).

В области *регулируемого перевозочного процесса* на железнодорожном транспорте моделируются положения, которые регламентируют:

- виды грузовых и пассажирских перевозок, их назначение на транспортном рынке и целевые задачи;
- распределение монопольного и конкурентного поля при оказании услуг перевозки на железнодорожном транспорте;
- участников перевозочного процесса, делегирование им функций при оказании услуг перевозки;
- формы и процедуры доступа участников перевозочного процесса для оказания услуг в различных сегментах перевозок;
- формы отношений между участниками перевозочного процесса при осуществлении транспортной деятельности;
- систему требований к содержанию объектов инфраструктуры участников перевозочного процесса;
- систему требований к содержанию подвижного состава при оказании услуг перевозки;
- систему управления безопасностью при оказании услуг перевозки и осуществлении деятельности организаций железнодорожного транспорта;
- оперативное управление перевозочным процессом на железнодорожном транспорте;

- формирование заказа на грузовые и пассажирские перевозки и условия обеспечения заявок;
- ответственность участников перевозочного процесса за соблюдение условий перевозок;
- другие положения.

Указанные положения должны позволять идентифицировать перевозочный процесс на железнодорожном транспорте и устанавливать нормы права, определяющие организационные, технические и технологические отношения между организациями железнодорожного транспорта, потребителями услуг при осуществлении перевозок:

- реализовать нормы права Гражданского кодекса РБ [11] и другие нормы законодательства, определяющие требования к организации перевозок грузов и пассажиров, регламентирующие условия перевозок;
- определить нормы для организации перевозочного процесса на инфраструктуре железнодорожного транспорта общего и необщего пользования, технические и технологические условия осуществления перевозок грузов и пассажиров в организованных поездах в соответствии с едиными требованиями перевозки (срок доставки, сохранность, безопасность и т. п.).

Правовое моделирование норм с статьях Закона РБ «О железнодорожном транспорте» должно детализировать требования, необходимые для регламентации положений закона, посредством определения их функционала (рисунок 2).

Функционал норм права статьей модели Закона устанавливает объекты транспортной деятельности, субъекты правоотношений, предметную сущность отношений и систему требований (условий, положений и т. п.), определяющие эти отношения.

Состав правоотношений как системного явления образуют предмет, структура и элементы. Предметом правоотношений в транспортной деятельности являются общественные отношения между организациями железнодорожного транспорта и клиентами, возникающие в связи с оказанием услуг, связанных с перевозкой грузов, пассажиров и их актуализацией в цифровой среде.

Структура правоотношений складывается из совокупности взаимосвязанных элементов, установленных в статье закона: юридического факта, субъектов, объектов и содержания правоотношений.

Объектами правоотношений на железнодорожном транспорте выступает имущество, транспортные работы, услуги и т. д., по поводу которых складываются урегулированные правовыми нормами общественные отношения. Объекты транспортных отношений могут выступать как материальные и нематериальные блага, по поводу которых правоотношения возникают. Объекты транспортной деятельности могут находиться в собственности Республики Беларусь, юридических и физических лиц, в том числе индивидуальных предпринимателей, а также в собственности иностранных государств.

В транспортных правоотношениях объектом выступают и транспортные услуги. Закон РБ «Об основах транспортной деятельности» [9] закрепляет перечень объектов транспортной деятельности, которые являются непосредственно и объектами транспортных правоотношений. К ним относятся транс-

портные средства и коммуникации, системы управления движением, сооружения и иное имущество, используемые для осуществления транспортной деятельности [20]. Кроме того, в этот перечень включа-

ются договорные отношения на перевозку груза, пассажиров, багажа и на выполнение транспортных работ, а также страхование перевозок и транспортных средств [11, 13].



Рисунок 2 – Согласованность при моделировании положений функционирования железнодорожного транспорта

Субъектами правоотношений на железнодорожном транспорте выступает государство (в лице органов государственного управления различного уровня), организации железнодорожного транспорта (юридические лица), граждане (физические лица), которые выступают в качестве участников перевозочного процесса и, соответственно, являются участниками правоотношений. Правовой статус физических и юридических лиц как участников транспортных правоотношений определяется Гражданским кодексом РФ [11] и иными НПА.

Субъектами транспортных отношений при моделировании рассматриваются как:

- потребители транспортных работ и услуг;
- производители транспортных работ и услуг.

Правовое моделирование норм регулирования общесистемных отношений в процессе функционирования железнодорожного транспорта осуществляется путем определения видов:

- железнодорожного транспорта, их назначения и договорных отношений, возникающих при использовании каждого вида железнодорожного транспорта;
- перевозок железнодорожным транспортом, их назначения и сферы применения на железнодорожном транспорте;
- услуг железнодорожного транспорта, их назначением и правоотношением, которые возникают между производителями и потребителями услуг.

К общесистемным отношениям следует отнести и определение в нормах права монопольную и конкурентную сферу транспортной деятельности при оказании услуг перевозок и оперирования инфраструктурой железнодорожного транспорта общего пользования.

Правовое моделирование норм регулирования общесистемных отношений в процессе оказания услуг перевозки железнодорожным транспортом осуществляется путем определения условий оказания услуг (выполнения работ).

Регулирование экономических отношений при организации и реализации перевозочного процесса моделируется через систему договоров, оформляющих оказание услуг на железнодорожном транспорте. В статьях модели Закона должны быть определены договорные отношения между производителями и получателями транспортных услуг (работ). Сторонами договоров являются установленные в законодательстве участники перевозочного процесса, а предметом – перевозочная (транспортная) деятельность, перевозка грузов, пассажиров, багажа, выполнение транспортных работ, экспедиционная деятельность, работы по ремонту и обслуживанию подвижного состава, объектов железнодорожной инфраструктуры и т. п.

Функционал экономических отношений, возникающих при осуществлении транспортной деятельности, должен включать нормы права, которые регулируют тарифы, сборы, платы, льготы и иные категории, определяющие эффективность деятельности организаций железнодорожного транспорта.

Организация перевозочного процесса на железнодорожном транспорте устанавливается посредством моделирования норм права, определяющих основные условия перевозки грузов и пассажиров, права и обязанности участников перевозочного процесса, которые оказывают услуги перевозки.

При перевозке пассажиров деятельность перевозчиков, операторов инфраструктуры и иных организаций

определяется функционалом норм права, регулирующих оказание услуг различными категориями пассажирских поездов. Отношения организации железнодорожного транспорта и пассажира определяются через договор перевозки, удостоверенный проездным документом (билетом).

При перевозке грузов деятельность перевозчиков, операторов инфраструктуры и иных организаций определяется функционалом норм права, регулирующих оказание услуг перевозки во внутриреспубликанском и международном сообщениях. Отношения организации железнодорожного транспорта и владельца груза (грузоотправителя, грузополучателя) определяются через договор перевозки груза.

При организации перевозок грузов и пассажиров следует моделировать нормы права, регламентирующие права и обязанности основных участников – организаторов перевозочного процесса: перевозчика, оператора инфраструктуры, оператора подвижного состава, а также правоотношения, которые возникают при заключении договора перевозки (и иных договоров) и невыполнении условий договора.

Возможность выполнения транспортной работы, оказания услуг организациями железнодорожного транспорта определяется через моделирование совокупности норм права, регулирующих доступ как к сфере деятельности на железнодорожном транспорте, так и использования подвижного состава, объектов инфраструктуры, способных качественно оказывать услуги и проводить транспортные работы. Функционал норм права должен включать требования, правила и иные обстоятельства осуществления транспортной деятельности посредством технических средств, подвижного состава, технологий, квалифицированного персонала и иных условий, достаточных для обеспечения общественных отношений.

Организация перевозок на участках инфраструктуры осуществляется посредством организации движения поездов. Функционал норм права должен включать график движения поездов как субъект правоотношений, возникающих между оператором инфраструктуры и предложениями перевозчиков (по заявкам грузовладельцев).

Моделирование норм права, связанных с безопасностью функционирования железнодорожного транспорта, осуществляется исходя из потребности обеспечить состояние защищенности объектов и интересов от угроз внутреннего и внешнего характера [8, 10]. В сфере железнодорожного транспорта к таковым объектам следует отнести транспортные средства, объекты транспортной инфраструктуры (транспортные коммуникации), эксплуатацию железнодорожного транспорта. Защищаемыми интересами являются жизнь и здоровье, имущество физических и юридических лиц, Республики Беларусь, административно-территориальных единиц, а также окружающая среда.

Моделирование норм права в системе управления безопасностью на железнодорожном транспорте необходимо осуществлять по двум направлениям:

1) обеспечение безопасности при эксплуатации железнодорожного транспорта и пользовании транспортными коммуникациями (безопасность движения поездов, эксплуатации подвижного состава и т. д.);

2) обеспечение безопасности транспортных средств и объектов транспортной инфраструктуры от внешнего воздействия (различного характера), в том числе актов незаконного вмешательства (информационная, коммерческая безопасность и т. д.).

Функционал норм права в сфере безопасности должен включать систему управления безопасностью, устанавливать требования к организациям железнодорожного транспорта, в том числе к системе мер, направленных на устранение угроз функционирования транспортного комплекса. Функционал системы управления безопасностью моделируется с учетом особенностей отдельных объектов, а также специфики деятельности организаций железнодорожного транспорта при осуществлении перевозок грузов и пассажиров.

Моделирование норм права, связанных с защитой данных, является актуальным процессом, т. к. развивается цифровизация на железнодорожном транспорте и необходимо регулировать нормы по использованию данных участников перевозочного процесса, осуществлению ими перевозок, использованию подвижного состава, инфраструктуры и иных средств в едином информационном пространстве. Функционал норм права в модели Закона и иных НПА должен включать требования по использованию этих данных и исключать недопустимые риски, связанные с кибербезопасностью, регулировать использование цифровых технологий на железнодорожном транспорте и сферы их применения [12, 14].

Моделирование норм права, связанных с трудовыми отношениями работников железнодорожного транспорта, регулируются Трудовым кодексом РБ и иными актами законодательства. Функционал норм права в статье модели Закона должен включать особенности условий труда и режима рабочего времени отдельных работников, связанных непосредственно с обеспечением безопасности на железнодорожном транспорте. В развитие Закона устанавливаются НПА, регулирующие условия и режим труда работников организаций железнодорожного транспорта, а также ответственность за несоблюдение условий труда [15].

Процесс обновления Закона Республики Беларусь «О железнодорожном транспорте» является сложным нормотворческим процессом, требующим проведения системного анализа функционирования железнодорожного транспорта, правоприменительной практики регулирования общественных отношений в сфере перевозок, тенденций изменений на внутреннем и внешнем товаротранспортных рынках и оценки иных условий транспортной детальности [3, 4, 14, 16, 17].

Важным средством нормотворчества является правовое моделирование, позволяющее структурировать положения Закона и установить потребный функционал нормы права, который полно определяет отношения между участниками перевозочного процесса при оказании услуг (выполнении работ) [7, 8].

Правовое моделирование на железнодорожном транспорте может осуществляться на основе использования различных видов моделей. Специфика функционирования железнодорожного транспорта показывает, что целесообразно использовать организационно-функциональную и процессную модели, которые позволяют определить ключевые условия оказания услуг

(выполнения работ). Использование указанных моделей позволяет систематизировать положения Закона по сферам деятельности и в полной мере установить функционал норм права.

Список литературы

1 Государственная программа «Транспортный комплекс» на 2021–2025 годы : утв. постановлением Совета Министров Респ. Беларусь от 23.03.2021 г. № 165 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=C22100165>. – Дата доступа : 10.10.2022.

2 О железнодорожном транспорте : Закон Респ. Беларусь от 06.01.1999 г. № 237–3 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://etalonline.by/document/?regnum=h19900237>. – Дата доступа : 10.10.2022.

3 О нормативных правовых актах : Закон Респ. Беларусь от 17.07.2018 г. № 130–3 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://etalonline.by/document/?regnum=h11800130>. – Дата доступа : 10.10.2022.

4 Рекомендации по теоретико-методологическим основам совершенствования правовой системы Республики Беларусь : одобр. Решением ученого совета Нац. центра законодательства и правовых исследований Респ. Беларусь 23.04.2013 № 5 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://pravo.by/pravovaya-informatsiya/normotvorcheskaya-eyatelnost/poleznaya-informatsiya/rekomendatsii-po-teoretiko-metodologicheskim-osnovam-sovershenstvovaniya-pravovoy-sistemy-respubliki/>. – Дата доступа : 10.10.2022.

5 Речиц, Е. В. О системных подходах к развитию национальной правовой политики на современном этапе / Е. В. Речиц // *Право.by*. – 2021. – № 5 (73). – С. 37–41.

6 Модельный закон «О железнодорожном транспорте» : постановление Межпарламентской Ассамблеи государств-участников Содружества Независимых Государств № 38-15, от 23 ноября 2012 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://etalonline.by/document/?regnum=n21200181>. – Дата доступа : 10.10.2022.

7 Толочко, О. Н. Международное транспортное право / О. Н. Толочко. – Гродно : ГрГУ, 2006. – 134 с.

Получено 15.10.2022

A. A. Erofeev, V. G. Kuznetsov. Features of legal modeling of the provisions of the law «On railway transport».

The development of a new model of the law «On railway transport» is a responsible process of rulemaking and is based on the use of the method of legal modeling of regulations and norms. The main aspects of legal modeling in the process of updating the law are considered. The use of the method of legal modeling in railway law allows for a systematic analysis of the structure of legal norms. The interrelation of the norms of law, the completeness and effectiveness of their use in regulating relations arising between participants in the transportation process, regulating the transport activities of railway transport organizations, their consistency with the external legal environment is established. The types of modeling for structuring the norms of law in the model Law are considered. The procedure for conducting legal modeling when updating the norms of law is proposed. The scheme of process-organizational modeling of the fundamentals of railway transport functioning is presented and its use in determining the provisions on the main areas of legal regulation of the transportation process is given. The requirements for legal modeling of norms using the model of the Law are defined, which allow to reveal the essence of the provisions and determine their functionality.

8 Системные требования к законодательному регулированию железнодорожного транспорта / А. А. Ерофеев [и др.] // *Вестник БелГУТа: Наука и транспорт*. – 2022. – № 1 (44). – С. 59–62.

9 Об основах транспортной деятельности : Закон Респ. Беларусь от 05.05.1998 г. № 140–3 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://pravo.by/document/?guid=3961&p0=H19800140>. – Дата доступа : 10.10.2022.

10 Кулаженко, Ю. Н. Совершенствование механизмов государственного контроля безопасности транспортной деятельности на железнодорожном транспорте / Ю. И. Кулаженко, А. А. Ерофеев, В. Г. Кузнецов // *Вестник БелГУТа: Наука и транспорт*. – 2017. – № 1 (34). – С. 36–41.

11 Гражданский кодекс Республики Беларусь : Закон Респ. Беларусь от 07.12.1998 г., № 218–3 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=hk9800218>. – Дата доступа : 10.10.2022.

12 Ерофеев, А. А. Интеллектуальное управление перевозочным процессом: от оперативного к плановому / А. А. Ерофеев // *Железнодорожный транспорт*. – 2017. – № 4. – С. 74–77.

13 Тихомиров, Ю. А. Риски в правовом пространстве / Ю. А. Тихомиров // *Юридическая техника*. – 2019. – № 13. – С. 28–35.

14 Толочко, О. Н. Тенденции правового регулирования объектов и технологий, связанных с искусственным интеллектом / О. Н. Толочко // *Юстиция Беларуси*. – 2019. – № 3. – С. 35–39.

15 Филиппова, М. Ю. Трудовые отношения на железнодорожном транспорте : учеб. пособие / М. Ю. Филиппова. – М. : Юридический институт МИИТа, 2010. – 164 с.

16 Бондаренко, Н. Л. Юридическая квалиметрия как новая отрасль правового научного знания / Н. Л. Бондаренко, Ю. Г. Конаневич // *Право.by*. – 2022. – № 5 (79). – С. 117–124.

17 Белов, В. М. Особенности оценки качества нормативных правовых актов. Использование автоматизированной системы оценки качества нормативных правовых актов / В. М. Белов, Е. В. Зырянова, Д. Л. Косов // *Государство и право*. – 2017. – № 10. – С. 105–110.

УДК 656.224.053.2

Г. В. АХРАМЕНКО, кандидат технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель; П. Г. АХРАМЕНКО, кандидат экономических наук, Международный университет ФПБ «МИТСО», Гомельский филиал

ФОРМИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ СТРАТЕГИИ СНЯТИЯ ОГРАНИЧЕНИЙ СКОРОСТИ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ СКОРОСТЕЙ ДВИЖЕНИЯ ПАССАЖИРСКИХ ПОЕЗДОВ НА МЕЖРЕГИОНАЛЬНЫХ ЛИНИЯХ

Обосновывается возможность повышения скоростей движения пассажирских поездов на межрегиональных линиях небольшого протяжения. Рассматриваются методы формирования оптимальной стратегии снятия ограничений скорости, такие как метод «наискорейшего спуска», «прямого перебора», «перебора с ограничением» применительно к решению поставленной задачи. Вводятся понятия «независимые» и «взаимозависимые» ограничения скорости. Для выбора конкурентоспособных решений предлагается применить метод Парето. Применение этих оптимизационных методов иллюстрируется примером выбора эффективных решений на участке железной дороги со смешанными ограничениями скорости.

Введение. Повышение скоростей пассажирских поездов – одно из приоритетных направлений научно-технического прогресса на железнодорожном транспорте. В современных условиях актуальным является движение пассажирских поездов с максимальными скоростями от 140 до 350 км/ч, при следующей организации движения:

а) совмещенное движение грузовых и пассажирских поездов:

– до 140–160 км/ч – скоростное движение поездов на обычных железных дорогах после капитального ремонта пути;

– до 200 км/ч – скоростное движение поездов на реконструированных линиях;

б) движение только пассажирских поездов:

– свыше 200 км/ч – высокоскоростное движение на вновь сооруженных высокоскоростных магистралях (ВСМ).

Следует отметить, что значительное повышение скоростей движения пассажирских поездов будет носить при определенных условиях и коммерческий интерес для отрасли, так как железные дороги смогут предоставлять пассажирам конкурентоспособную по отношению к авиа- и автотранспорту услугу.

По существующим прогнозам скоростное движение в ближайшем будущем может охватить значительно более широкий сектор пассажирских перевозок, чем высокоскоростное, так как его организация не связана со строительством новых линий, хотя и требует существенных затрат на реконструкцию.

В Республике Беларусь ведется активная научно-исследовательская работа в данном направлении. Речь идет не только о повышении скорости в транспортных коридорах (II и IX), но и на линиях межрегионального сообщения, связывающих столицу с областными центрами. В настоящее время успешно курсируют поезда эконом-класса типа «Stadler» на направлениях Минск – Гомель, Минск – Молодечно, Минск – Брест и др., которые пользуются большим спросом.

Тем не менее повышение скорости не только обеспечивает экономии, но и вызывает дополнительные транспортные затраты. Их величина зависит от того, за счет каких мероприятий обеспечивается рост скоростей [1].

Анализ причин ограничения скорости пассажирских и грузовых поездов показал, что главными факто-

рами, которые сдерживают повышение скорости, являются:

– состояние верхнего строения пути (сверхнормативный износ стрелочных переводов, наличие дефектных креплений и шпал).

– план линии с недостаточными длинами переходных кривых, наличие кривых малых радиусов (500 и меньше);

– станционные устройства, которые нуждаются в модернизации или реконструкции;

– потери времени на разгон и торможение поезда для остановки на станции;

– состояние связи, СЦБ и других устройств, которые влияют на скорость движения поездов и др.

Практика показывает, что машинисты ведут поезда с максимально допустимой скоростью лишь в исключительных случаях и кратковременно, так как это сопряжено с чрезмерно напряженным режимом работы бригады, агрегатов локомотива и повышением расхода электроэнергии и топлива. Существенные поправки в фактический диапазон скоростей движения вносят погодные условия, профиль и план пути, состояние локомотива.

Повысить скорости движения поездов можно за счет [2]:

– модернизации постоянных устройств, целью которой является снятие ограничений скорости (число их зависит от рода тяги и особенно от скорости движения поездов);

– осуществления организационно-технических мероприятий.

В представленной статье рассмотрен вопрос о разработке оптимальной стратегии снятия ограничений скорости на направлениях небольшой протяженности (до 350 км), что соответствует расстояниям между г. Минск и областными центрами.

Основная часть. Задача ликвидации ограничений скорости сводится к разработке оптимальной программы модернизации постоянных устройств железнодорожной линии. Методы решения поставленной задачи зависят от того, существует ли взаимное влияние участков, ограничивающих скорость, на очертание кривой скорости $v = f(S)$.

По взаимному влиянию ограничения скорости можно разделить на две категории: независимые и зависи-

мые. К независимым ограничениям скорости для конкретного железнодорожного направления можно отнести такие, после снятия которых кривая скорости достигает тех же значений, что и при существующем ограничении скорости к началу торможения к следующему участку, ограничивающему скорость. В этом случае выигрыш во времени при снятии ограничений аддитивен. В аддитивных критериях целевая функция образуется путем сложения выходных параметров, преобразованных к безразмерным слагаемым. Это осуществляется с помощью введения нормирующих множителей – весовых коэффициентов. Нормирование необходимо для объединения нескольких выходных параметров, имеющих в общем случае различную физическую размерность. Тогда целевая функция имеет вид

$$f(x) = \sum_{j=1}^m \omega_j y_j(x), \quad (1)$$

где ω_j – весовой коэффициент, определяемый самим инженером или группой экспертов [3].

В этом случае выигрыш во времени при снятии независимых ограничений скорости можно представить в следующем виде:

$$\Delta t(c_1, c_2, \dots, c_n) = \Delta t_{c1} + \Delta t_{c2} + \dots + \Delta t_{cn}, \quad (2)$$

где $\Delta t(c_1, c_2, \dots, c_n)$ – сокращение времени хода при снятии всех ограничений скорости, мин; $\Delta t_{c1}, \Delta t_{c2}, \dots, \Delta t_{cn}$ – сокращение времени хода при снятии ограничений c_1, c_2, \dots, c_n на один уровень в пределах расчетного периода, мин.

Смежные ограничения скорости для конкретного направления железнодорожной линии являются зависимыми, если после снятия первого по ходу движения поезда скорость движения в точке начала торможения к следующему ограничению отличается от той, которая была при действующем ограничении. В таком случае условие (2) не выполняется. Поэтому возникает необходимость применения метода, который учитывает эту особенность, но в то же время позволяет значительно упростить задачу, имеющую много переменных.

В общем случае как на участках с независимыми ограничениями скорости, так и на участках с зависимыми необходимо разработать оптимальную программу ликвидации ограничений скорости. Различие состоит в том, что в первом случае требуется построение кривой скорости только в пределах снимаемых ограничений, причем один раз, так как суммарное сокращение времени хода состоит из суммы сокращений времени хода в результате устранения каждого ограничения. Такой подход значительно облегчает и упрощает задачу определения сокращений времени хода на направлениях с независимыми ограничениями скорости. На участках с взаимозависимыми ограничениями скорости требуется построение кривой скорости для всего участка, находящегося в зоне влияния данных ограничений, причем такое построение кривой $v = f(S)$ может повторяться 2^n раз (n – число взаимозависимых ограничений скорости). Следовательно, процесс определения выигрыша во времени при снятии взаимозависимых ограничений скорости достаточно трудоемкий и требует подходов, сокращающих число вычислительных процедур и графических построений. Таким образом возникает вопрос в

выборе методов, позволяющих определить оптимальные содержание и последовательность мероприятий для увеличения скорости пассажирских поездов, в наибольшей степени учитывающих реальные условия движения.

Поставленная проблема может быть формализована как задача целочисленного программирования, так как в пределах каждого ограничения скорости возможны два состояния, т. е. ограничение снято или оставлено, что соответствует условию целочисленности.

Наиболее известным и широко применяемым методом для оптимизации на дискретных множествах является метод прямого перебора возможных вариантов решений с целью нахождения среди них оптимального [4]. Применительно к задачам малой размерности такой подход вполне оправдывает себя [5], однако задачи, содержащие большое число переменных, оказываются настолько сложными, что поиск эффективных быстродействующих алгоритмов при прямом переборе приводит к дополнительным трудностям [5].

В общем случае при наличии на железнодорожном направлении, предназначенном для повышения скоростей с целью введения ускоренных поездов межрегионального сообщения, небольшого числа ограничений скорости можно решать поставленную задачу методом прямого перебора. Использование этого метода предполагает просмотр всех возможных вариантов, которые могут существовать при различных комбинациях снятия ограничений скорости, безотносительно к тому, зависимые они или независимые. При наличии на направлении n ограничений скорости требуется проанализировать 2^n вариантов решений, включая и нулевое состояние, кроме того, в случае взаимозависимых ограничений скорости столько же раз должна строиться и кривая $v = f(S)$, что, конечно, в некоторой степени увеличивает трудоемкость процесса вычислений.

Анализ существующих «фильтрационных» методов [6] показал, что для их применения необходимо наличие критерия, обладающего свойством аддитивности. В данном случае при снятии ограничений скорости в качестве критерия принят коэффициент эффективности инвестиций ARR (учетная норма доходности), так как применение этого критерия позволяет учесть изменения в эксплуатационных расходах. Коэффициент эффективности можно определить по формуле [7]

$$ARR = \frac{P_r}{I_0}, \quad (3)$$

где P_r – среднегодовая величина чистой прибыли, в данном случае – экономия в эксплуатационных расходах, млн руб./год; I_0 – инвестиции, необходимые для снятия ограничений скорости, млн руб.

Принятый критерий не обладает свойством аддитивности, что не позволяет широко применять «фильтрационные» методы для поиска оптимальной стратегии модернизации постоянных устройств. В случае выбора в качестве критерия сокращение времени хода (необходимо максимизировать) или суммарные инвестиции (необходимо минимизировать) применение указанных методов вполне обоснованно и позволяет значительно облегчить трудоемкий процесс вычислений.

Таким образом, для решения задачи поиска оптимальной стратегии модернизации постоянных устройств, направленной на снятие ограничений скорости, предлагается использовать методы прямого перебора. Однако в случае наличия на железнодорожном направлении только независимых ограничений скорости для поиска оптимального решения возможно применение одного из методов возможных направлений, основанного на принципах «наискорейшего спуска» [8, 9]. Общую схему алгоритмов, построенных на методах спуска, можно представить следующим образом. Пусть имеется некоторая точка x^k , полученная на k -м шаге процесса поиска максимума, тогда:

- строится направление спуска y^k ;
- определяется шаг спуска S^k ;
- точка x^{k+1} вычисляется по формуле $x^{k+1} = x^k + S^k \cdot y^k$.

Этот метод необходимо адаптировать применительно к специфике задачи поиска оптимальной стратегии модернизации постоянных устройств. В данном случае направление спуска определяется последовательностью, ранжированной по убыванию коэффициента эффективности инвестиций аналогично методу «наискорейшего спуска».

Такой подход к решению задачи может быть применен и к направлениям, характеризующимся наличием смешанных ограничений скорости, если есть возможность локализации взаимозависимых ограничений скорости в блоки, включающие до 6–7 ограничений указанного типа. Тогда железнодорожное направление можно рассматривать как направление с независимыми ограничениями скорости, где наряду с действительно независимыми ограничениями рассматриваются в качестве независимых и блоки.

Таким образом, складываются два подхода к решению задачи поиска оптимальной стратегии модернизации постоянных устройств, выбор любого из них зависит от вида ограничений на рассматриваемом направлении:

- метод прямого перебора при наличии на направлении только взаимозависимых ограничений скорости;
- метод, основанный на принципах «наискорейшего спуска» при наличии независимых ограничений скорости или при возможности локализации блоков, включающих до 6–7 взаимозависимых ограничений скорости, в пределах которых конкурентоспособные варианты определяются методом прямого перебора и являются независимыми ограничениями скорости.

В обоих подходах возможно сокращение трудоемкости вычислительных процедур путем введения следующих допущений, которые не оказывают значительного влияния на окончательный результат, но позволяют существенно упростить вычислительный процесс:

- линейная аппроксимация кривой скорости $v = f(S)$, значительно упрощающая определение времени хода и его сокращение в случае снятия ограничений скорости;
- локализация на участках, характеризующихся наличием смешанных ограничений скорости, взаимозависимых ограничений в блоки;
- приведение взаимозависимых ограничений скорости к условно независимым.

Выделение эффективных решений среди всех возможных может быть произведено путем построения доминирующей по критерию коэффициента эффективности инвестиций последовательности и нахождение

тех допустимых решений, у которых все критерии первого решения больше или равны соответствующим критериям второго решения, причем хотя бы один из них действительно больше. В результате такой процедуры сохраняются только эффективные (конкурентоспособные) решения, характерные тем, что ни для одного из них не существует доминирующего решения. Процедура выделения конкурентоспособных решений может осуществляться и графически с помощью метода Парето [10, 11]. Суть данного метода заключается в следующем. Предположим, что необходимо решить задачу выбора альтернативы из множества возможных по двум критериям w_1 и w_2 , которые требуется максимизировать. Множество x состоит из конечного числа n возможных решений x_1, x_2, \dots, x_n . Каждому решению соответствуют определенные значения показателей w_1 и w_2 (рисунок 1). Множество решений может быть представлено на плоскости с координатами w_1, w_2 .

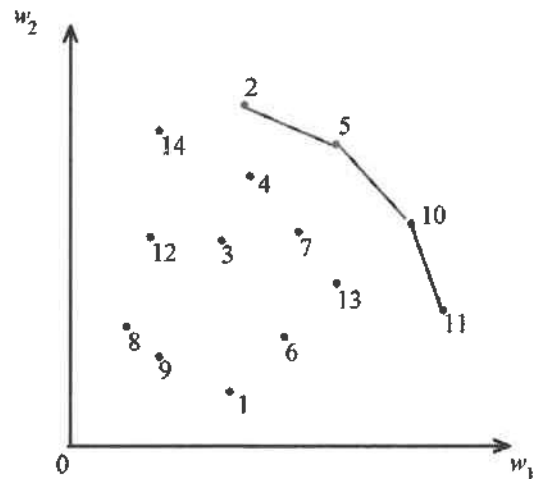


Рисунок 1 – Выделение эффективных решений с помощью метода Парето

Очевидно, что из всего множества x эффективными будут только решения x_2, x_5, x_{10} и x_{11} , лежащие на правой верхней границе области возможных решений. Для всякого другого решения существует хотя бы одно доминирующее решение, для которого либо w_1 , либо w_2 , либо оба больше, чем для данного. И только для решений, лежащих на правой верхней границе, доминирующих решений не существует.

Когда из множества возможных решений выделены эффективные, дальнейший выбор можно вести уже в пределах этого «эффективного» множества, что радикально упрощает решение задачи. На рисунке 1 эффективное множество образуют четыре решения: x_2, x_5, x_{10} и x_{11} , из которых x_{11} – наилучшее по критерию w_1 , а x_2 – по критерию w_2 . Лицо, принимающее решение (ЛПР), теперь имеет возможность выбрать вариант, который для него предпочтителен по обоим критериям.

Реализацию рассмотренных методов по выявлению оптимальной последовательности снятия ограничений скорости рассмотрим применительно к примеру, приведенному на рисунке 2, на котором приводится участок железнодорожного направления протяженностью 31,25 км со смешанными ограничениями скорости (всего на участке их 8).

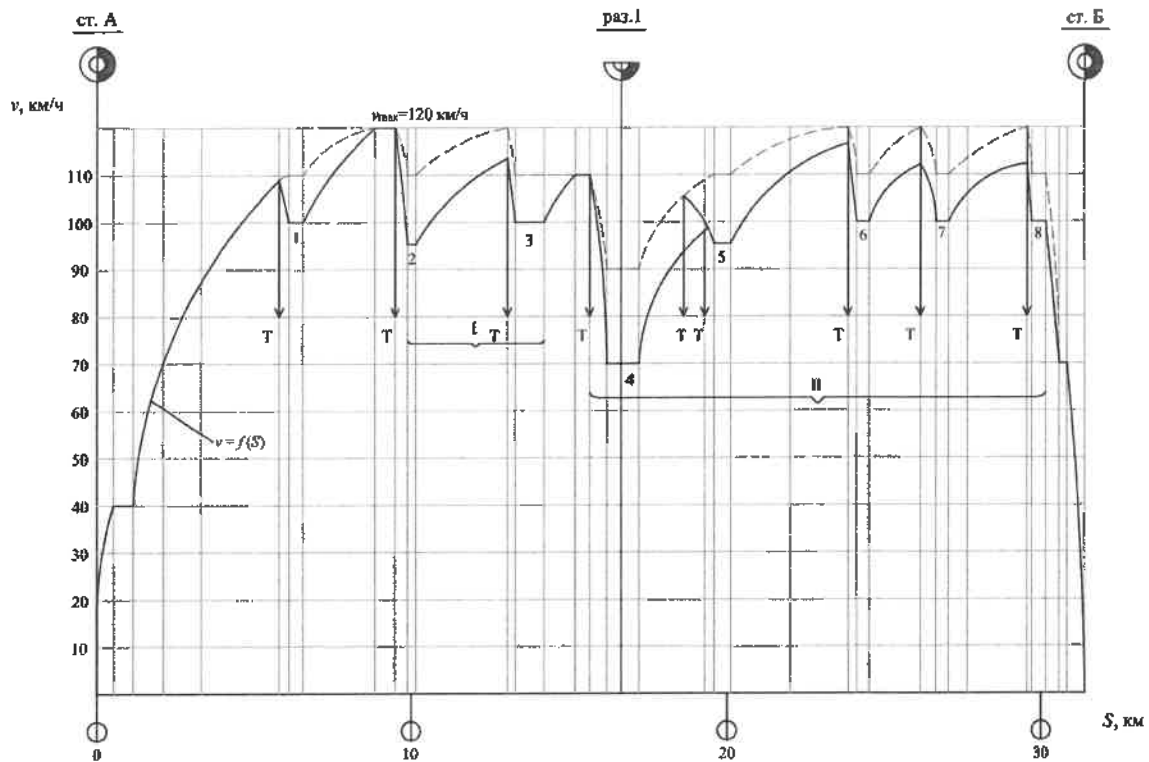


Рисунок 2 – Выделение взаимосвязанных ограничений скорости в блоки:
 1, 2 ... 8 – существующие ограничения скорости; Т – начало торможения; I, II – локализованные блоки взаимосвязанных ограничений скорости; — – кривая $v = f(S)$ с учетом ограничений скорости; - - - – кривая $v = f(S)$ при снятии всех возможных ограничений скорости

Целью решения задачи является поиск оптимальной стратегии модернизации постоянных устройств, в результате которой может быть достигнуто необходимое сокращение времени хода. В данном случае сокращение времени хода, которое необходимо получить в результате модернизации, Δt , принято равным 1 мин.

При первом подходе к решению задачи для выявления допустимых вариантов, отвечающих заданному сокращению времени хода, необходимо наметить в соответствии с методом прямого перебора 2^8 состояний и произвести столько же построений кривой скорости $v = f(S)$. Таким образом, число всех возможных вариантов составляет 256, включая и нулевое состояние. Выделение допустимых вариантов, а также ранжирование их по коэффициенту эффективности инвестиций производится при помощи алгоритмов, приведенных в [12].

В результате получено 29 допустимых вариантов, отвечающих заданному сокращению времени хода. Для выделения конкурентоспособных вариантов использован метод Парето, в результате которого получено 7 конкурентоспособных вариантов (рисунок 3): это $z_1, z_3,$

$z_4, z_9, z_{11}, z_{20}, z_{27}$ (их характеристики представлены в таблице 1), обеспечивающих заданное сокращение времени хода.

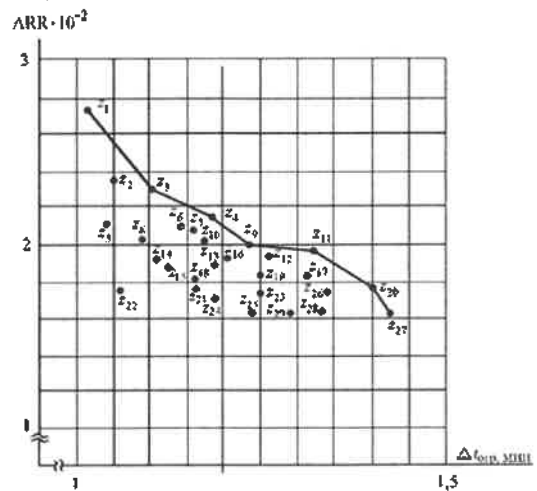


Рисунок 3 – Выделение конкурентоспособных вариантов из числа допустимых

Таблица 1 – Конкурентоспособные варианты снятия ограничений скорости при $\Delta t = 1$ мин

Конкурентоспособные варианты	Участки, ограничивающие скорость движения								Суммарное сокращение времени хода $\Delta t_{обр}, \text{мин}$	Коэффициент эффективности инвестиций ARR
	1	2	3	4	5	6	7	8		
z_1	0	1	1	1	0	0	0	0	1,02	0,0272
z_3	1	1	1	1	0	0	0	0	1,10	0,0229
z_4	0	1	1	1	1	0	1	0	1,18	0,0212
z_9	0	1	1	1	1	1	0	0	1,23	0,0202
z_{11}	0	1	1	1	1	1	1	0	1,32	0,0196
z_{20}	1	1	1	1	1	1	1	0	1,40	0,0180
z_{27}	1	1	1	1	1	1	1	1	1,42	0,0164

Примечание – 1 – ограничение снято; 0 – ограничение оставлено.

Полученные конкурентоспособные варианты представляются в распоряжение ЛПР, принимающего окончательное решение, соотносясь с практической ценностью каждого из них, а также с наличием в его распоряжении выделенных инвестиций.

Вывод. В статье предложена методика формирования оптимальной стратегии снятия ограничений скорости, которая позволяет учесть особенности направлений малой протяженности. В качестве критерия предложен коэффициент эффективности инвестиций, позволяющий учитывать не только необходимые инвестиции, но и изменения в эксплуатационных расходах.

Предлагаемые подходы к решению задачи оптимальной стратегии модернизации постоянных устройств зависят от вида ограничений на рассматриваемом направлении. По взаимному влиянию ограничения скорости классифицированы на независимые и зависимые. При наличии на направлении только независимых ограничений поиск оптимального решения осуществляется ЛПР на основании последовательности, ранжированной по коэффициенту эффективности инвестиций, основанному на принципах «наискорейшего спуска». Если на направлении присутствуют только взаимозависимые ограничения, то выбор оптимального решения осуществляется ЛПР на основании конкурентоспособных вариантов, полученных в результате реализации метода прямого перебора. При наличии на направлении смешанных ограничений скорости выбор оптимального решения производится на основе комбинированного подхода с учетом допущений, упрощающих процесс вычислений.

Список литературы

1 Экономика железнодорожного транспорта : учеб. для вузов ж.-д. трансп. / Н. П. Терёшина [и др.] ; под ред.

Получено 04.04.2023

G. V. Akhramenko, P. G. Akhramenko. Formation of an optimal strategy for removing speed limits in order to increase the speed of passenger trains on interregional lines.

The possibility of increasing the speeds of passenger trains on interregional lines of small length is substantiated. The methods of forming an optimal strategy for removing speed limits are considered, such as the method of "steepest descent", "direct brute force", "brute force with restriction" in relation to solving the problem. The concepts of "independent" and "interdependent" speed limits are introduced. To select competitive solutions, it is proposed to apply the Pareto method. The application of these optimization methods is illustrated by an example of choosing effective solutions on a railway section with mixed speed limits.

Н. П. Терёшиной, Б. М. Лалидуса, М. Ф. Трихункова. – М. : УМЦ ЖДТ. – 2006.

2 **Ахраменко, Г. В.** Особливості підвищення швидкостей руху поїздів на залізничних лініях міжрегіонального сполучення / Г. В. Ахраменко, Т. О. Дубровська // Збірник наукових праць УкрДУЗТ. – № 182. – Харків : УкрДУЗТ, 2018. – С. 53–62.

3 **Бельков, В. Н.** Автоматизированное проектирование технических систем : учеб. пособие / В. Н. Бельков, В. Л. Ланшаков. – М. : Академия Естествознания, 2009. – 143 с.

4 **Лапицкая, Н. В.** Методы оптимизации. В 4 ч. Ч 1. Линейная оптимизация и ее приложения : учеб.-метод. пособие / Н. В. Лапицкая, Н. П. Можей. – Минск : БГУИР, 2018. – 179 с.

5 **Подinovский, В. В.** Оптимизация по последовательно применяемым критериям / В. В. Подinovский, В. М. Гаврилов. – 2-е изд. – М. : Изд-во URSS, 2016. – 194 с.

6 **Костюкова, О. И.** Исследование операций : учеб. пособие для студ. спец. 31 03 04 «Информатика» всех форм обучения / О. И. Костюкова. – Минск : БГУИР, 2003. – 94 с.

7 **Ахраменко, Г. В.** Регрессионный анализ эффективности строительства автомобильной дороги в Припятском Полесье (Республика Беларусь) / Г. В. Ахраменко, П. Г. Ахраменко // Вестник СГУПС. – 2021. – № 3 (58). – С. 96–104.

8 **Вентцель, Е. С.** Исследование операций. Задачи, принципы, методология / Е. С. Вентцель. – 5-е изд., стер. – М. : КНОРУС, 2010. – 191 с.

9 **Курицкий, Б. Я.** Оптимизация вокруг нас: Как математика помогает принимать решения / Б. Я. Курицкий. – 2-е изд., доп. – М. : Изд-во URSS, 2018. – 152 с.

10 **Ахраменко, Г. В.** Оптимизация проектных решений при проектировании железных дорог / Г. В. Ахраменко // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2021. – № 1 (42). – С. 60–64.

11 **Подinovский, В. В.** Парето-оптимальные решения многокритериальных задач / В. В. Подinovский, В. Д. Ногин. – М. : Физматлит, 2007. – 256 с.

12 **Кононюк, А. Е.** Основы теории оптимизации. Безусловная оптимизация / А. Е. Кононюк. – Киев : Освіта України, 2011. – 544 с.

П. В. КОВТУН, кандидат технических наук, Т. А. ДУБРОВСКАЯ, кандидат технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, Н. Н. КРАВЧЕНКО, Е. В. НИКИТИН, Белорусская железная дорога, г. Гомель

ПУТЕЙСКИЕ АСПЕКТЫ КОНТЕЙНЕРНЫХ МУЛЬТИМОДАЛЬНЫХ ПЕРЕВОЗОК

Перевозка леса является важным элементом лесопромышленной деятельности требует эффективной транспортной системы для доставки лесоматериалов от места заготовки к месту использования. Одним из способов такой доставки леса является контейнерная перевозка, которая представляет собой транспортировку леса в стандартных контейнерах. В связи с этим актуальной задачей при использовании контейнеров для транспортировки пиломатериалов является определение массы, длины вагона и типа локомотива при движении по фронтам загрузки.

Современная экономика Республики Беларусь, продолжая развиваться, вместе с тем имеет определенные трудности. В силу различных причин на первое место выходят грузовые железнодорожные перевозки на дальние расстояния, например, в Китай, республику Средней Азии и т. д. Такие перевозки характеризуются неоднородностью товаров, многократным его перегрузом, использованием различных видов транспорта и т. д. Всё это приводит к целесообразности использования тары, в которой можно перемещать товары без перегруза, т. е. контейнерам.

Как известно, Республика Беларусь является страной, богатой природными ресурсами, в т. ч. лесами. Значительное место в экономике страны занимают продукты деревообработки. Перевозка леса является важным элементом лесопромышленной деятельности, которая требует эффективной транспортной системы для доставки лесоматериалов от места заготовки к месту использования. Одним из способов такой доставки леса является контейнерная перевозка, которая представляет собой транспортировку леса в стандартных контейнерах.

Преимущества контейнерной перевозки леса.

1 Эффективность транспортировки. Контейнерная перевозка леса позволяет перевозить большее количество лесоматериалов за меньший период времени, чем другие методы перевозки, такие как полувагоны и вагоны или грузовые автомобили. Контейнеры могут быть загружены на железнодорожные платформы, автомобильные прицепы или суда, что обеспечивает гибкость в выборе транспортного средства для перевозки леса.

2 Защита от повреждений. Контейнерная перевозка леса позволяет защитить лесоматериалы от повреждений во время перевозки. Контейнеры могут быть оборудованы специальными приспособлениями для фиксации грузов, что обеспечивает устойчивость груза во время транспортировки. Кроме того, контейнеры защищают груз от воздействия погодных условий, таких как дождь или снег.

3 Экономическая эффективность. Контейнерная перевозка леса позволяет сократить затраты на транспортировку благодаря увеличению грузоподъемности транспортных средств. Кроме того, стандартизация контейнеров позволяет снизить расходы на упаковку и загрузку лесоматериалов.

4 Экологическая эффективность. Контейнерная перевозка леса может иметь меньшее влияние на окружающую среду, чем использование обычного подвижного состава или автомобилей.

Вместе с тем имеются и некоторые недостатки контейнерной перевозки леса.

1 Высокие затраты на оборудование. Для контейнерной перевозки леса требуется специальное оборудование, такое как краны для загрузки и разгрузки контейнеров, что может привести к дополнительным затратам.

2 Ограниченность по объему. Стандартные контейнеры имеют определенные габариты, что ограничивает объем леса, который может быть перевезен в одном контейнере. Это может привести к использованию дополнительных контейнеров или других методов перевозки.

3 Проблемы с доступом. Контейнеры не всегда могут быть доставлены к месту загрузки или разгрузки из-за ограничений в доступе к месту. Это может привести к необходимости дополнительной транспортировки груза от и до места, где контейнер загружается или разгружается.

Контейнерные грузоперевозки предполагают определенные требования к лутевому развитию грузовых фронтов. Это связано с увеличенной длиной фитинг-платформ (рисунок 1), использованием специальных погрузочно-разгрузочных средств, логистики складирования и др. При увеличении массы груза повышаются требования к тяговому подвижному составу. Кроме того, большое значение имеют эксплуатационные параметры пути (уклоны профиля, криволинейные участки в плане, состояние элементов пути и т. д.).

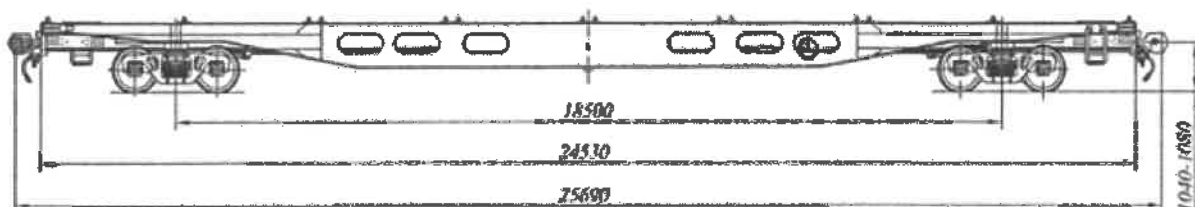


Рисунок 1 – 4-осная фитинг-платформа для крупнотоннажных контейнеров (модель 13-1796)

В настоящее время предприятия различных форм собственности с целью получения экономической выгоды быстро реагируют на изменяющуюся конъюнктуру рынка, в том числе и на логистику доставки грузов.

Кафедрой «Проектирование, строительство и эксплуатация транспортных объектов» Белорусского государственного университета транспорта для ООО «БелСОТРА» (г. Минск) было произведено обследова-

ние путей необщего пользования с целью увеличения грузовых фронтов для использования контейнеров при транспортировке пиломатериалов.

Исходные данные: путь необщего пользования с максимальным продольным уклоном 13 ‰ в грузовую сторону и криволинейными участками в плане радиусом 350 м; скорость движения состава на пути – 15 км/ч, по фронтам – 5 км/ч; применяемые локомотивы ТМЭ-1, ТМЭ-2, ЧМЭ-3 (рисунок 2).

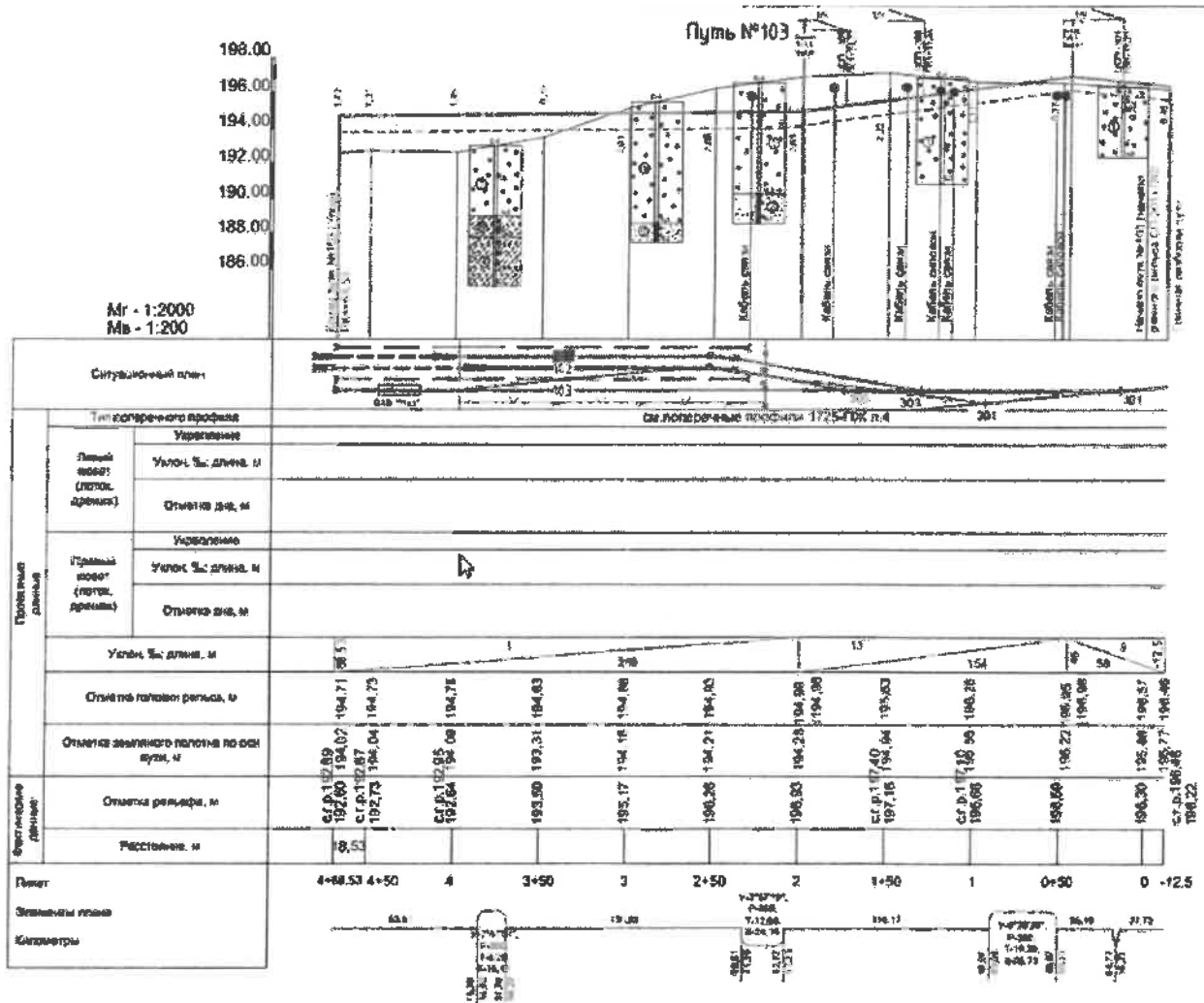


Рисунок 2 – Исходные данные для тяговых расчетов

Задача исследований состояла в определении:

- 1) массы грузового поезда при существующих уклонах, локомотивах и скоростях движения по фронтам;
- 2) вида тягового подвижного состава при заданном максимальном уклоне;
- 3) максимального допускаемого уклона при заданных подвижном составе и массе поезда.

Для определения массы состава при заданном локомотиве был проанализирован продольный профиль существующего пути и выделены участки, где поезд идет с неравномерной скоростью, и подъемы, где скорость поезда становится постоянной.

При проектировании железных дорог масса состава определяется по установившемуся движению, т. е. из условия равномерного движения поезда на подъеме

(согласно исходным данным $i_p = 13 ‰$) с расчетной для данного локомотива скоростью.

Масса вагонного состава из условия равномерного движения с расчетной скоростью на расчетном подъеме

$$Q = [F_{кр} - Pg(w'_0 + i_p)] / (w'_0 + i_p)g,$$

где $F_{кр}$ – сила тяги локомотива при расчетной скорости, Н; P – масса локомотива, т; w'_0 – основное удельное сопротивление локомотива при движении под тягой, Н/кН; i_p – расчетный (руководящий) подъем, ‰; w'_0 – средневзвешенное основное удельное сопротивление состава, Н/кН.

Основное удельное сопротивление локомотива при движении под тягой

$$w'_0 = 1,9 + 0,01v + 0,0003v^2,$$

где v – скорость локомотива.

Средневзвешенное основное удельное сопротивление состава

$$w_0'' = 0,7 + (3 + 0,1v + 0,0025v^2 / q_0),$$

где q_0 – средняя нагрузка от оси вагона на рельсы, кН.

Масса, приходящаяся на ось колесной пары четырехосного вагона, составляет $q_{04} = q_4 / 4$; $q_{04} = 94 / 4 = 23,5$ т/ось (нагрузка от 4-осной фитинг-платформы).

Результаты расчетов представлены на рисунке 3.

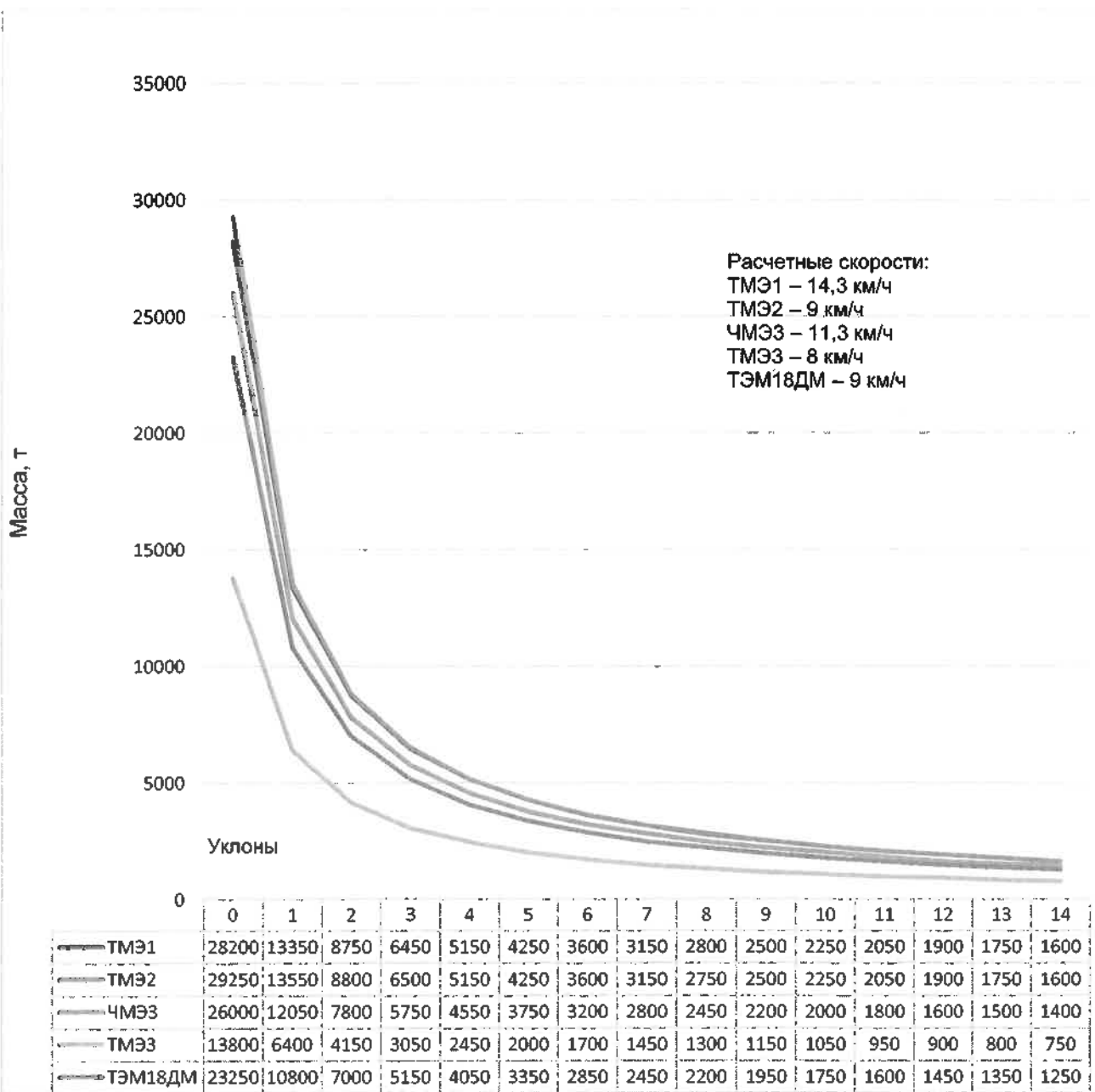


Рисунок 3 – График зависимости массы состава при различных типах локомотивов и различных уклонах с расчетной скоростью

Проверка на трогание поезда с места. Наибольшая масса состава $Q_{тр}$, т, которая может быть тронута с места на остановочных пунктах, определяется по формуле

$$Q_{тр} = F_{кр тр} / (w_{тр} + i_{тр})g - P,$$

где $F_{кр тр}$ – сила тяги локомотива при трогании состава с места, Н; $w_{тр}$ – суммарное удельное сопротивление со-

става при трогании с места (основное и дополнительное), Н/кН; $i_{тр}$ – величина приведенного уклона, на котором расположен остановочный пункт, ‰.

Результаты расчета массы трогания поезда с места при различных уклонах и типах локомотивов представлены на рисунке 4.

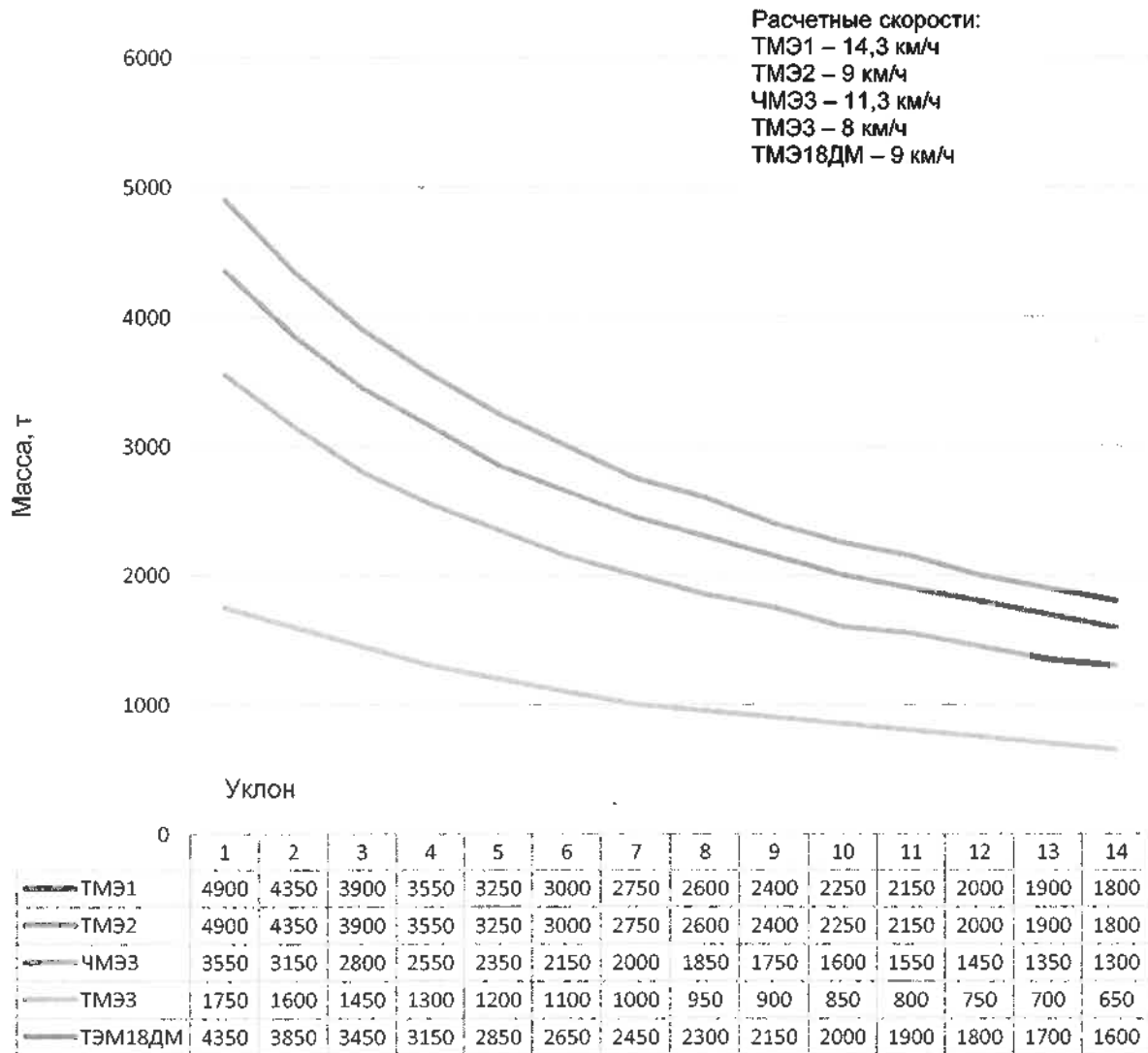


Рисунок 4 – График зависимости массы состава при трогании с места при различных типах локомотивов и различных уклонах с расчетной скоростью

Так как руководящий уклон в Республике Беларусь принят 9 ‰, проводится расчет массы состава, с которой грузовой поезд может двигаться по руководящему подъему при различных скоростях (рисунок 5).

Проверка массы поезда по длине путей. Длина поезда l_n не должна превышать полезной длины путей $l_{пол}$ на участках обращения данного поезда (с учетом допуска 10 м на установку поезда).

Длина поезда определяется из выражения

$$l_n = l_c + m_n l_n + 10,$$

где l_c – длина состава, м,

$$l_c = \sum n_i l_i,$$

l_i – длина вагона по осям автосцепки, из которых сформирован состав; l_n – длина локомотива, м; m_n – число локомотивов.

Число однотипных вагонов в сформированном составе определяется из выражения

$$n_i = Q / q_i a_i,$$

где q_i – средняя для однотипной группы масса вагона (брутто), т; a_i – доля (по массе) состава, приходящаяся на данную группу однотипных вагонов. Полученные результаты представлены на рисунке 6.

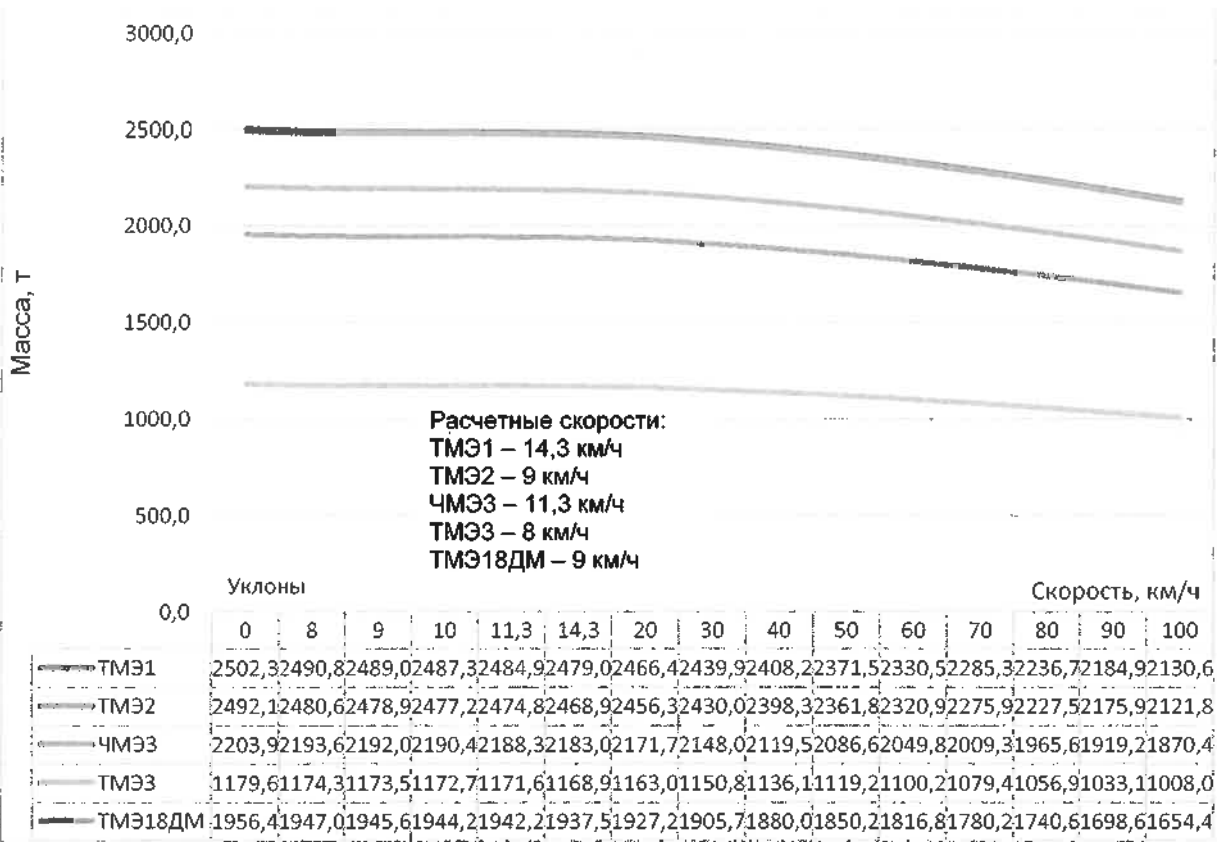


Рисунок 5 – График зависимости массы состава при движении по руководящему подъему 9 % с различными скоростями

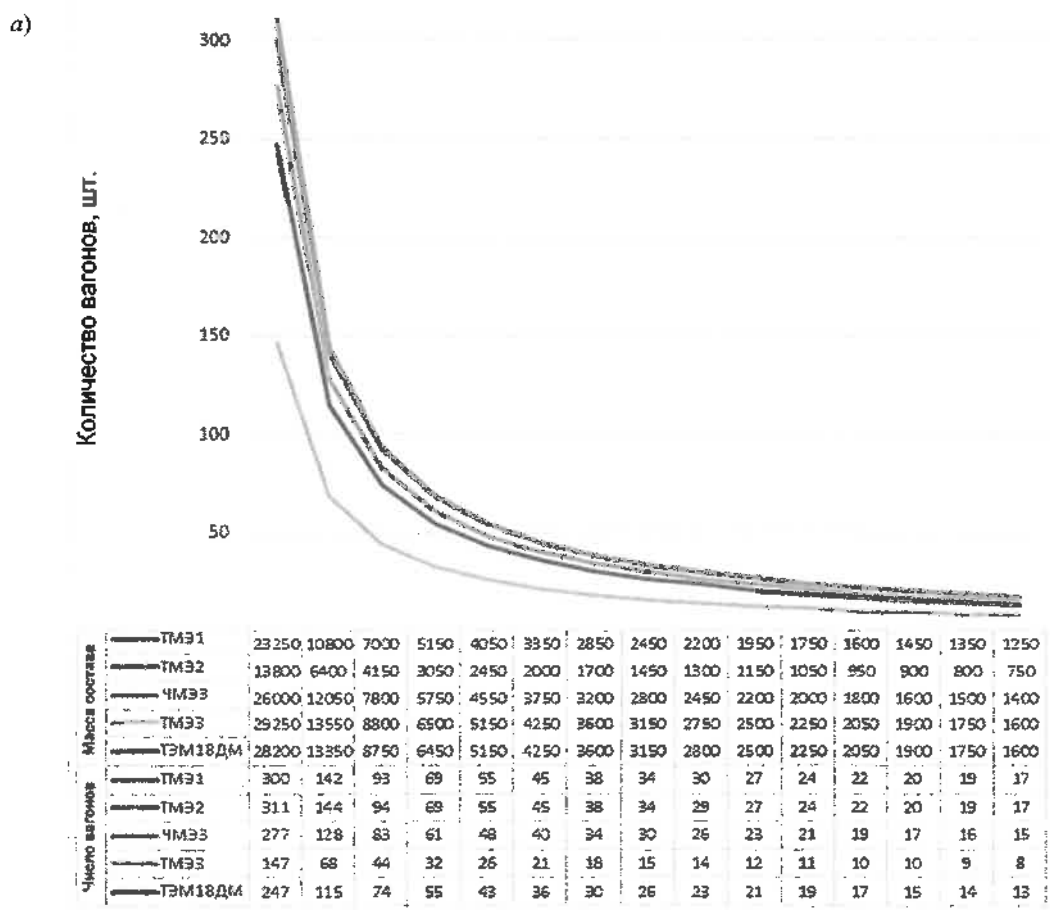
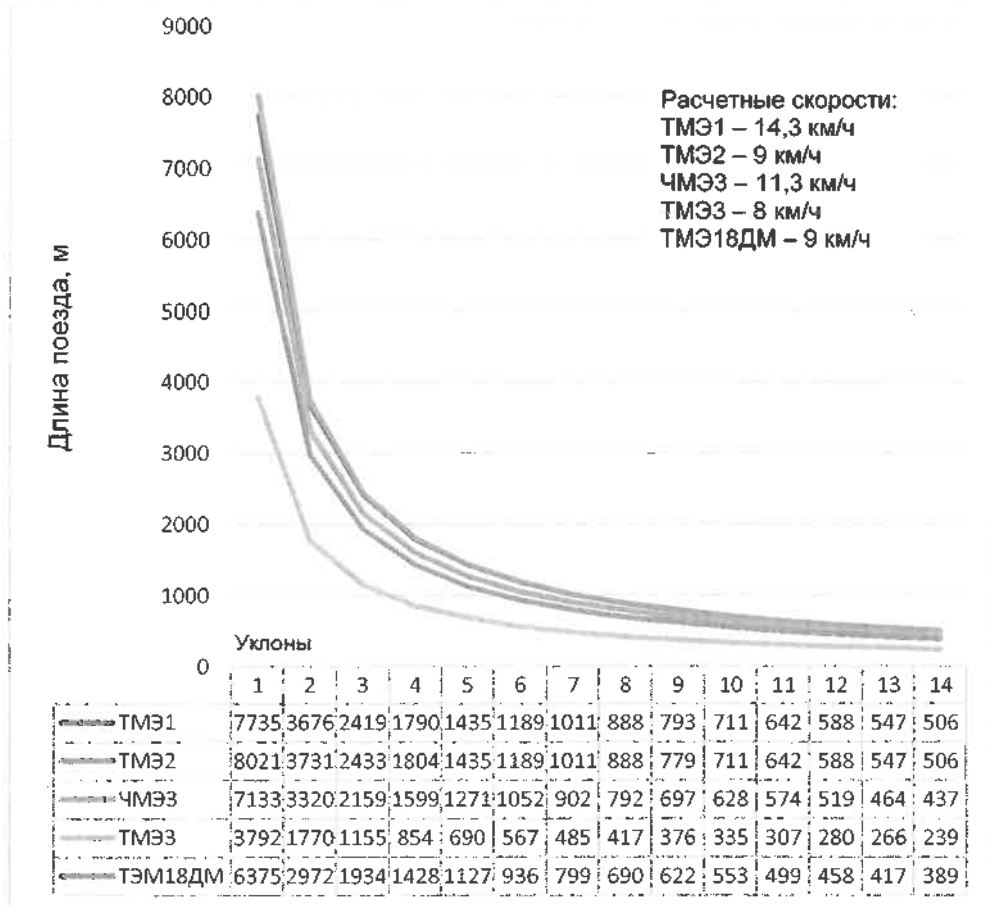


Рисунок 6 (начало) – Графики зависимости:
 а – количества вагонов от массы состава

б)



в)

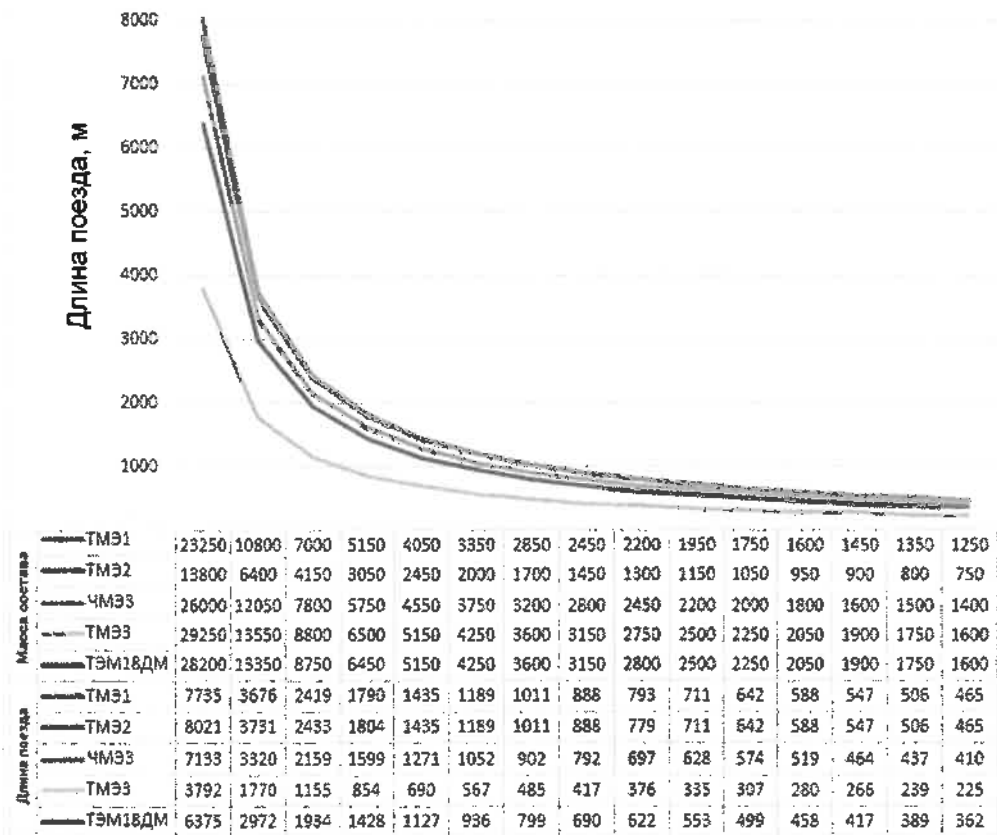


Рисунок 6 (окончание) – Графики зависимости:
 б – длины поезда от уклона; в – длины поезда от массы состава

Заключение

Контейнерная перевозка леса имеет свои преимущества и недостатки. Эффективность транспортировки, защита груза от повреждений и экономическая эффективность являются преимуществами контейнерной перевозки леса. Однако высокие затраты на оборудование, ограниченность по объему, проблемы с доступом являются недостатками этого метода перевозки. При выборе способа перевозки леса необходимо учитывать как преимущества, так и недостатки контейнерной перевозки, чтобы выбрать оптимальный метод для конкретных условий.

Использование контейнерных перевозок в границах Республики Беларусь или стран-соседей не всегда экономически оправдано. Произведя экономическую оценку, можно видеть, что примерная стоимость перевозки лесоматериалов по территории Беларуси в обычных вагонах составляет 12 руб./т, а в контейнерах – 18,5 руб./т.

Получено 04.04.2023

P. V. Kovtun, T. A. Dubrovskaya, N. N. Kravchenko, Y. V. Nikitein. Track aspects of container multimodal transportation.

The transportation of timber is an important element of the timber industry, which requires an effective transportation system for the delivery of timber from the place of harvesting to the place of use. One of the ways of such timber delivery is container transportation, which is the transportation of timber in standard containers. In this regard, the main task when using containers for transporting lumber is to determine the weight, length of the car and the type of locomotive moving along the loading fronts.

На заданном профиле оптимальным является использование локомотива ТМЭ2, т. к. при любом уклоне на участке масса грузового состава при использовании локомотива ТМЭ2 будет максимальной. При заданном максимальном уклоне 13 %, скоростях движения по фронтам 5 и 15 км/ч максимальная масса состава грузового поезда составляет 1700 т при использовании локомотива ТМЭ2. При этом длина поезда составляет 547 м.

Произведенные расчеты позволяют системно подойти к выбору параметров пути, подвижного состава и груза, а также определить экономический эффект от контейнерных перевозок при заданных конкретных расстояниях доставки груза.

Список литературы

1 СТП БЧ 56.388-2022 Положение о системе ведения путевого хозяйства Белорусской железной дороги. – Введ. 20.06.2022 – Минск : Белорусская железная дорога, 2022. – 30 с.

2 Правила технической эксплуатации железной дороги в Республике Беларусь : утв. М-вом трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь 25.11.2015. – Минск, 2016. – 190 с.

УДК 656.05

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

ОПТИМИЗАЦИЯ ИНВЕСТИЦИЙ В ОСНОВНУЮ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ЛОКОМОТИВНОГО ХОЗЯЙСТВА ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

Приведены результаты исследований условий оптимизации инвестиций в основную деятельность на железнодорожном транспорте. Рассматривается методический подход по увязке размера инвестиций в зависимости от изменения эксплуатационного показателя отраслевых хозяйств железной дороги. Рассматриваются результаты сравнительного анализа эффективности инвестиций при выполнении эксплуатационной деятельности железной дороги, увязанных с главными показателями работы железной дороги, установленными государственной программой развития железной дороги.

Инвестиции – это совокупность затрат, направляемых на приобретение, воспроизводство и создание новых основных средств, обеспечивающих выполнение технологического процесса в транспортной деятельности на более современной технической базе. Это ресурсы, которые направляются на приобретение машин, оборудования, транспортных средств, строительство, реконструкцию и модернизацию объектов, которые приводят к увеличению их первоначальной стоимости.

Функциональная деятельность локомотивного хозяйства железной дороги рассматривается как двухпродуктовая [1]: 1) тяговое обеспечение поездной и маневровой работы; 2) ремонтное производство тягового подвижного состава. В зависимости от конечного продукта локомотивного хозяйства рассматривается факторное распределение инвестиций по нескольким направлениям.

По территориальному признаку:

- локальные инвестиции (вложения в деятельность конкретного предприятия локомотивного хозяйства – локомотивные депо по видам тяги, типу депо);
- региональные инвестиции (вложения в развитие зоны или плеча тягового обслуживания);
- национальные инвестиции (вложения в развитие объектов локомотивного хозяйства из финансовых источников страны);
- глобальные инвестиции (вложения в международные масштабные проекты – тяговое обслуживание пассажирского движения на территории нескольких государств общим подвижным составом).

Процентное распределение инвестиций в основные средства предприятий локомотивного хозяйства показано на рисунке 1.



Рисунок 1 – Процентное распределение инвестиций в основные средства предприятий локомотивного хозяйства

Из приведенной на рисунке 1 диаграммы видно, что региональные инвестиции наиболее востребованы в локомотивном хозяйстве. Это связано с тем, что структура размещения локомотивных депо носит локальный характер и функциональная деятельность больше связана с ремонтным производством, которое локализовано по всем параметрам региональной деятельности.

В зависимости от степени ожидаемых рисков инвестиции в предприятия локомотивного хозяйства рассматриваются следующим образом:

- безрисковые (вложение средств, при котором отсутствует риск потери капитала). Рассматривается фактор стабильности потребностей в тяговом обслуживании и ремонта подвижного состава;
- низкорисковые (риск отрицательной эффективности инвестиций является незначительным). К ним относится перспектива использования подвижного состава различного типа по видам тягового обслуживания;
- среднерисковые (риск соответствует среднему значению риска аналогичных инвестиций на рынке). Рассматривается возможность рассмотрения последствий рисков в среднестатистической перспективе;
- высокорисковые (отличаются значительным уровнем риска). Рассматривается высокий уровень риска использования результатов инвестиционной политики.

По отношению к рискам инвестиции в локомотивное хозяйство относятся к низко рисковым. Это связано с тем, что имеется стабильная потребность в тяговом обслуживании грузовых и пассажирских поездов и рассматривается перспективный рост. В соответствии с этим рассматривается перспектива расширения ремонтного производства тягового подвижного состава.

В зависимости от предполагаемого уровня доходности инвестиции рассматриваются по следующим факторам:

- инвестиции с высоким уровнем доходности (инвестиционная доходность на рынке транспортной деятельности позволяет получить высокий уровень прибыли);
- инвестиции со средним уровнем доходности (инвестиционная доходность соответствует средней величине, установленной на рынке транспортной деятельности);
- низкодходные инвестиции (доходность меньше средней, установленной на рынке инвестиций);
- инвестиции, не предполагающие получение дохода (имеет общественный, экологический или социальный эффект). К ним относятся инвестиции в транспортную деятельность социальной направленности.

На железной дороге фактор доходности для отраслевого хозяйства тесно увязан с общей доходностью от перевозок грузов и пассажиров. Распределение долевой доходности локомотивного хозяйства в структуре инвестиций приведено на рисунке 2.



Рисунок 2 – Оценка эффективности инвестирования функциональной деятельности локомотивного хозяйства по фактору доходности

Из рисунка 2 видно, что эффективность инвестиций в развитие локомотивного хозяйства носят неоднозначный характер. Категория отрицательной эффективности инвестиций в локомотивное хозяйство связана с использованием электроподвижного состава для выполнения социально значимых пассажирских перевозок. Данный вид перевозок выполняется с высоким уровнем убыточности, что сказывается на низком уровне эффективности инвестиций локомотивного хозяйства.

При изучении фактора ликвидности рассматриваются формы инвестиций:

- высоколиквидные (вложения капитала в ликвидные объекты. Например, в ремонтное производство локомотивного хозяйства);
- среднеликвидные (вложения капитала в объекты, которые можно конвертировать в денежную форму относительно быстро). В сфере тягового обслуживания рассматривается возможность возврата денежных средств при выполнении экспорта услуг на полигоне соседних государств;
- низколиквидные (инвестиции в незаконченные ранее инвестиционные проекты или в проекты). Например, развитие скоростного движения пассажирских поездов;
- неликвидные (вложения в объекты, которые невозможно конвертировать в денежную форму). Это относится к инвестициям в ремонтное производство при обеспечении надежности и безопасности работы подвижного состава.

Инвестиции в основные средства предприятий локомотивного хозяйства необходимо также рассматривать с позиции их конкурентоспособности транспортной деятельности:

- активные инвестиции, которые увеличивают конкурентоспособность и необходимую доходность предприятий;
- пассивные инвестиции, обеспечивающие поддержание транспортной деятельности предприятий локомотивного хозяйства на установившемся уровне.

Локомотивные предприятия относятся к категории малых предприятий по всем характерным параметрам – численности работников, расходами по функциональной деятельности, наличием основных фондов. Рассматриваемые факторы определяются особенностями форми-

рования инвестиционной политики малых предприятий в современных условиях [2]. Они предусматривают долгосрочное финансирование (выход на фондовый рынок), корпоративное финансирование (банковское кредитование основных мероприятий), прямые иностранные инвестиции (получение кредитов от иностранных банков, бюджетное финансирование).

Структура инвестиций в локомотивное хозяйство представлена на рисунке 3.



Рисунок 3 – Структура инвестиций в локомотивное хозяйство

Последовательность расчетов инвестиций в отраслевое хозяйство предусматривает алгоритм, показанный на рисунке 4.



Рисунок 4 – Алгоритм расчета инвестиций в локомотивное хозяйство

Для локомотивного хозяйства в качестве отраслевого показателя принят тонно-километр брутто. Данный показатель прогнозируется в зависимости от генерального показателя, установленного постановлением правительства для железной дороги. Он включает установленный процент изменения для пассажирских (пассажиро-километры) и грузовых (тонно-километры) перевозок. Расчёты прогнозных значений отраслевого показателя выполняются по отношению к базовому периоду.

Для эффективной работы предприятий локомотивного хозяйства имеется постоянная потребность в совершенствовании процесса разработки, обоснования и реализации инвестиционных предложений. Предполагается, что более детальная разработка и качественная организация процесса инвестирования в техническое развитие предприятия и функциональную его деятельность приведут к повышению эффективности инвестиций [3].

Содержание направлений инвестиций: цели и задачи инвестиционной политики, тип инвестирования в основной капитал, направление инвестиций в основной капитал, структура и динамика инвестиций, в нефинансовые и финансовые активы; источники инвестиций; факторы, ограничивающие инвестиции; наличие и движение основных фондов; средний возраст основных средств; структура неиспользуемых основных средств; распределение уставного капитала.

Инвестиционная политика для предприятий рассматривается как форма реализации инвестиционной стратегии для повышения эффективности его работы [4]. В условиях высокого динамичного развития инвестиционной деятельности предприятий локомотивного хозяйства является необходимым условием стабильного функционирования экономики. Масштабы, структура и эффективность использования инвестиций во многом определяют результаты хозяйствования на различных уровнях экономического состояния железной дороги, а также перспективы развития и конкурентоспособность тягового обслуживания в целом. В связи с этим возникает необходимость разработки и внедрения новых методов определения инвестиций в тяговое обслуживание транспортной деятельности при минимальном уровне затрат. Для достижения успеха в привлечении инвестиций в локомотивное хозяйство особое значение имеет рациональный выбор объектов инвестирования, тщательная подготовка инвестиционных проектов и определенная тактика действий на рынке инвестиций.

Тонно-километры брутто для локомотивного хозяйства рассчитываются суммарно

$$(QS)_t = \sum_{i=1}^n (QS)_i^{nc} + \sum_{i=1}^m (QS)_i^{tp}, \quad (1)$$

где $\sum_{i=1}^n (QS)_i^{nc}$ – тонно-километры брутто пассажирского движения; $\sum_{i=1}^m (QS)_i^{tp}$ – тонно-километры брутто грузового движения.

Тонно-километры брутто пассажирского движения включают следующие элементы

$$\sum_{i=1}^n (QS)_i^{nc} = (QS)_{эп}^{nc} + (QS)_{тепл}^{nc} + (QS)_{э-п}^{nc} + (QS)_{д-п}^{nc}, \quad (2)$$

где $(QS)_{эп}^{nc}$ – тонно-километры брутто пассажирского движения, выполненные электровозами; $(QS)_{тепл}^{nc}$ – тонно-километры брутто пассажирского движения, выполненные тепловозами; $(QS)_{э-п}^{nc}$ – тонно-километры брутто электропоездов; $(QS)_{д-п}^{nc}$ – тонно-километры брутто дизель-поездов.

Тонно-километры брутто грузового движения рассчитываются суммарно для электровозов и тепловозов:

$$\sum_{i=1}^m (QS)_i^{tp} = (QS)_{эп}^{tp} + (QS)_{тепл}^{tp}, \quad (3)$$

где $(QS)_{эп}^{tp}$ – тонно-километры брутто грузового движения, выполненные электровозами; $(QS)_{тепл}^{tp}$ – тонно-километры брутто грузового движения, выполненные тепловозами.

Размеры тонно-километров брутто пассажирского движения напрямую зависят от планового значения пассажиро-километров. При этом рассматривается следующая последовательность расчётов.

1 Расчёт процентного распределения пассажиро-километров по видам тяги:

– из статистического отчета принимаются исходные значения за базовый год с распределением их по видам тяги;

– рассчитывается процентное распределение пассажиро-километров по видам тяги за базовый период;

– с учётом процентного распределения рассчитывается прогнозируемый объём пассажиро-километров по видам тяги.

2 Выполняется расчёт прогнозных поездо-километров пассажирского движения по видам тяги:

– из статистического отчета принимаются исходные значения поездо-километров пассажирского движения за базовый год с распределением их по видам тяги;

– рассчитываются прогнозные значения поездо-километров по видам тяги:

$$(NS)_i^{nc,пр} = \frac{(NS)_i^{nc,баз}}{(AL)_i^{баз}} (AL)_i^{пр}, \quad (4)$$

где $(NS)_i^{nc,баз}$ – поездо-километры пассажирского движения вида тяги, выполненные за базовый период;

$(AL)_i^{баз}$ – пассажиро-километры вида тяги, выполненные за базовый период; $(AL)_i^{пр}$ – прогнозные пассажиро-километры вида тяги;

– рассчитываются прогнозные значения поездо-километров пассажирского движения по всем видам тяги ($\sum_{i=1}^n (AL)_i^{пр}$).

3 Расчёт тонно-километров пассажирского движения вида тяги рассчитывается с учётом изменения объёма перевозок:

$$(QS)_i^{nc} = \frac{(QS)_i^{nc,баз}}{(NS)_{nc,баз}} (NS)_i^{nc,пр}, \quad (5)$$

где $(QS)_i^{nc,баз}$ – тонно-километры пассажирского движения вида тяги, выполненные за базовый период;

$(NS)_{nc,баз}$ – поездо-километры пассажирского движения вида тяги, выполненные за базовый период;

$(NS)_i^{nc,пр}$ – прогнозные поездо-километры вида тяги.

Тонно-километры брутто грузового движения рассчитываются следующим образом.

1 Расчёт тонно-километров по видам тяги:

– из статистического отчета принимаются исходные значения тонно-километров за базовый год с распределением их по видам тяги;

– рассчитывается процентное распределение тонно-километров по видам тяги за базовый период;

– с учётом процентного распределения рассчитывается прогнозируемый объём тонно-километров по видам тяги.

2 Расчёт поездо-километров по видам тяги:

– из статистического отчета принимаются исходные значения поездо-километров за базовый год с распределением их по видам тяги;

– рассчитывается процентное распределение поездо-километров по видам тяги за базовый период;

– с учётом процентного распределения рассчитывается плановое распределение поездо-километров грузового движения по видам тяги:

$$(NS)_i^{гр.пл.} = (PL)_i^{гр.пл.} \frac{(PL)_i^{гр.баз.}}{(NS)_i^{гр.баз.}}, \quad (6)$$

где $(PL)_i^{гр.пл.}$ – плановые тонно-километры; $(PL)_i^{гр.баз.}$ – тонно-километры вида тяги за базовый период; $(NS)_i^{гр.баз.}$ – поездо-километры вида тяги за базовый период.

3 Расчёт тонно-километров брутто грузового движения по видам тяги:

– из статистического отчета принимаются исходные значения тонно-километров брутто за базовый период с распределением их по видам тяги;

– рассчитывается плановый объём тонно-километров брутто по видам тяги:

$$(QS)_i^{гр.пл.} = (NS)_i^{гр.пл.} \frac{(QS)_i^{гр.баз.}}{(NS)_i^{гр.баз.}}, \quad (7)$$

где $(NS)_i^{гр.пл.}$ – плановые поездо-километры вида тяги; $(QS)_i^{гр.баз.}$ – тонно-километры брутто вида тяги за базовый период; $(NS)_i^{гр.баз.}$ – поездо-километры вида тяги за базовый период.

Планирование инвестиций локомотивного хозяйства предполагает следующие действия.

1 Планирование прямых инвестиций:

– финансирование приобретения оборудования, не входящего в сметы на строительство на предприятиях в локомотивном хозяйстве:

$$E_{об}^{пл} = \beta_{пром}^{пл} \delta_{инфл}^{пл} w_{отр}^{пл} E_{об}^{баз.}, \quad (8)$$

где $\beta_{пром}^{пл}$ – индекс цен производителей промышленной продукции производственно-технического назначения, устанавливается постановлением Министерства экономики; $\delta_{инфл}^{пл}$ – индекс плановой инфляции в стране; $w_{отр}^{пл}$ – темп изменения отраслевого показателя локомотивного хозяйства (тонно-километров брутто); $E_{об}^{баз.}$ – затраты на приобретение оборудования, не входящего в сметы на строительство за базовый период;

– модернизация оборудования локомотивного хозяйства и подвижного состава:

$$E_{мод}^{пл} = \beta_{пром}^{пл} w_{отр}^{пл} E_{мод}^{баз.}, \quad (9)$$

где $E_{мод}^{баз.}$ – затраты на модернизацию оборудования локомотивного хозяйства и подвижного состава;

– плановое приобретение подвижного состава

$$E_{пс}^{пл} = \sum (e_{пс}^{пл} n_{пс}^{пл})_i, \quad (10)$$

где $n_{пс}^{пл}$ – количество приобретаемого подвижного состава определенного типа; $e_{пс}^{пл}$ – стоимость единицы приобретаемого подвижного состава.

Итого прямых инвестиций:

$$E_{инв}^{пл} = E_{об}^{пл} + E_{мод}^{пл} + E_{пс}^{пл}. \quad (11)$$

2 Планирование расходов на стройки:

$$E_{стр}^{пл} = \beta_{пром}^{пл} \delta_{инфл}^{пл} w_{отр}^{пл} E_{стр}^{баз.}, \quad (12)$$

где $E_{стр}^{баз.}$ – затраты на финансирование строек на предприятиях локомотивного хозяйства за базовый период.

3 Планирование расходов на проектно-изыскательские работы:

$$E_{пр}^{пл} = \rho_{пр}^{пл} (E_{стр}^{пл} + E_{кр}^{пл}) \delta_{инфл}^{пл} w_{отр}^{пл}, \quad (13)$$

где $\rho_{пр}^{пл}$ – доля расходов, относимых на ПИР при планировании капитального ремонта и строек по локомотивному хозяйству, устанавливается постановлением Министерства архитектуры и строительства.

Инвестиции в локомотивное хозяйство

$$E_{инв}^{пл} = E_{инв}^{пл} + E_{стр}^{пл} + E_{пр}^{пл}. \quad (14)$$

В условиях нестабильности объёмов тягового обслуживания поездной и маневровой работы рассматриваются решения о выгоде инвестиций и снижении планируемых расходов с учётом критериев результативности деятельности локомотивного хозяйства и стратегией развития тягового обслуживания перевозок [5].

Инвестиции в условиях нестабильности перевозок грузов и пассажиров способны повысить уровень эффективности работы предприятий локомотивного хозяйства [7]. Повышение эффективности инвестиций функциональной деятельности предприятия достигается за счет повышения качества выполнения перевозок грузов и пассажиров.

Выделяются несколько этапов инвестиционной деятельности локомотивного хозяйства: принятие решений об инвестировании, его реализация и обслуживание объекта инвестиционной деятельности.

Внешние условия накладывают на инвестиции определенные особенности. При этом выполняется оценка предприятий локомотивного хозяйства. Выполняется оценка внешних условий, влияющих на стабильность тягового обслуживания. Делается сопоставимый вывод о развитии локомотивного хозяйства вместе с отраслью. Такая оценка важна для понимания перспективы развития локомотивного хозяйства в

этом сегменте транспортной деятельности. Для этого выполняется сравнительная оценка индекса качества грузовых и пассажирских перевозок и индекса технического развития отраслевого хозяйства.

С учётом полученного результата определяются цели инвестирования. В условиях нестабильности перевозок главной целью становится снижение издержек. Следует отметить, что исходными являются формальные цели, которые служат критерием при выборе инвестиционного проекта. Это учитывается при расчёте значения субпоказателя оценки технической политики локомотивного хозяйства по перевозкам:

$$\beta_{\text{сн}}^{\text{пк}} = \sqrt[5]{w_i^{\text{пк}} e_i^{\text{пк}} \mu_i^{\text{пк}} \alpha_i^{\text{пк}} \rho_i^{\text{пк}}}, \quad (15)$$

где $w_i^{\text{пк}}$ – темп изменения отраслевого показателя (тонно-километр брутто по все видам тяги) по отношению к базовому периоду; $e_i^{\text{пк}}$ – темп изменения себестоимости тягового обслуживания одного тонно-километра брутто; $\mu_i^{\text{пк}}$ – темп изменения энергоёмкости перевозочного процесса в локомотивном хозяйстве; $\alpha_i^{\text{пк}}$ – темп изменения амортизации оборудования локомотивного хозяйства; $\rho_i^{\text{пк}}$ – темп изменения инвестиций.

В условиях ограниченности ресурсов железной дороги возможно финансирование лишь части запланированных инвестиционных проектов. Обычно уделяется внимание тем из них, которые помогут предприятиям локомотивного хозяйства снизить расходы. Наиболее эффективными рассматриваются проекты с коротким сроком окупаемости, быстрой отдачей и высокой скоростью оборота капитала. К ним относятся приобретение и модернизация подвижного состава.

Амортизационная политика локомотивного хозяйства рассматривается как средство повышения инвестиционной активности предприятий [6]. Инвестиции являются основным источником прироста амортизации по локомотивному хозяйству, который рассчитывается следующим образом:

$$\Delta E_{\text{ам}}^{\text{пк}} = \frac{E_{\text{инв}}^{\text{пк}}}{T_{\text{инв}}^{\text{пк}}} + \frac{E_{\text{стр}}^{\text{пк}} + E_{\text{пкп}}^{\text{пк}}}{T_{\text{стр}}^{\text{пк}}}, \quad (16)$$

где $T_{\text{инв}}^{\text{пк}}$, $T_{\text{стр}}^{\text{пк}}$ – сроки амортизации, предусмотренные для прямых инвестиций (20 лет) и финансирования строек (50 лет).

В условиях жёсткой централизации функциональной деятельности предприятий локомотивного хозяйства в рамках экономической результативности желез-

ной дороги в целом меняются источники и способы финансирования инвестиций.

Рациональный объём инвестирования определяется финансовыми возможностями предприятия и состоянием его имущества.

Заключение. Использование индексного метода при управлении инвестициями отраслевых хозяйств на железнодорожном транспорте позволяет следующее:

- инвестирование по функциональной деятельности локомотивного хозяйства предусматривает финансирование двух продуктового предприятия;
- инвестирование локомотивного хозяйства выполняется в границах структурного подразделения железной дороги в соответствии с изменением отраслевого показателя – тонно-километров брутто по всем видам тяги и движения;
- повышение эффективности инвестиций функциональной деятельности предприятий локомотивного хозяйства связаны с повышением качества выполнения перевозок грузов и пассажиров.

Практическая реализация этих направлений инвестирования в развитие локомотивного хозяйства железнодорожного транспорта показали свою эффективность.

Список литературы

- 1 Пачина, Е. С. Инвестиционная и дивидендная политика двухпродуктового предприятия / Е. С. Пачина // Экономические науки. – 2019. – С. 54–59.
- 2 Закирова, Э. Р. Особенности формирования инвестиционной политики малых промышленных предприятий в современных условиях / Э. Р. Закирова // Сборник научных трудов ВЭО России. – Екатеринбург, 2021. – С. 496–500.
- 3 Астанин, Д. Ю. Методика оценки уровня организации процесса формирования и реализации инвестиционной политики предприятия / Д. Ю. Астанин // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2009. – Т. 5, № 4. – С. 172–176.
- 4 Самогородская, М. И. Инвестиционная политика предприятия как форма реализации инвестиционной стратегии / М. И. Самогородская // Организационно-экономические и управленческие аспекты функционирования и развития социально-экономических систем в условиях инновационной экономики : сб. науч. тр. Всероссийской науч.-практ. конф. – 2018. – С. 62–65.
- 5 Матьцина, Н. П. Основные направления инвестиционной политики предприятия в условиях нестабильности / Н. П. Матьцина, В. А. Ялоза, В. Р. Косяков // Символ науки. – 2022. – С. 60–63.
- 6 Фрадина, Т. И. Амортизационная политика фирмы как средство повышения инвестиционной активности предприятий / Т. И. Фрадина // Международный бухгалтерский учет : сб. науч. ст. – 2011. – № 9 (159). – С. 36–42.
- 7 Крылова, О. В. Управление инвестиционной политикой предприятия в условиях кризиса / О. В. Крылова, О. М. Репина // Международные научные чтения : сб. науч. ст. – 2018. – С. 43–46.

Получено 15.03.2023

A. A. Mikhalchenka. Optimization of investments in core activities railway locomotive facility.

The results of studies of the conditions for optimizing investments in the main activity in railway transport are presented. A methodical approach is considered to link the size of investments depending on the change in the operational indicator of the railway sectoral facilities. The results of a comparative analysis of the effectiveness of investments in the implementation of the operational activities of the railway, linked to the main indicators of the work of the railway, established by the state program for the development of the railway, are considered.

УДК 620.179.162

А. Г. ОТОКА, Н. А. КАРТУЗОВ, Белорусская железная дорога; О. В. ХОЛОДИЛОВ, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

ПРОВЕРКА ГЕРМЕТИЧНОСТИ ПНЕВМАТИЧЕСКОГО И ГАЗОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПУЗЫРЬКОВЫМ МЕТОДОМ НА ПРИМЕРЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАТКИ ГОМЕЛЬСКОГО ВАГОННОГО ДЕПО

Рассмотрена возможность использования для контроля герметичности рукавов газового и пневматического оборудования, применяемого на ремонтном производстве Гомельского вагонного депо, пузырькового метода течеискания. Описана технология контроля как с погружением в воду, так и путём нанесения мыльного раствора из пульверизатора.

Контроль герметичности (течеискание) занимает важное место в системе неразрушающего контроля [1].

Параметр герметичности является одним из основных, когда речь идет о надежной и безопасной эксплуатации таких объектов, как хранилища и трубопроводы нефтепродуктов и газа, ядерные установки, резервуары с химическими реактивами, системы самолетов, ракет, кораблей.

Течеискание относится к виду НК, основанному на обнаружении пробного вещества, проникающего через течь. Методы течеискания предназначены для оценки степени негерметичности объекта контроля, а также для локализации течей как в основном материале, так и в соединениях различного типа: сварных, паяных, разъемных и т. п.

В зависимости от направления движения потока различают понятия «натекание» и «утечка», которые соответственно означают проникновение вещества внутрь либо изнутри герметизированного изделия через течи под действием перепада полного или парциального давления либо под действием капиллярных сил при использовании жидкостных методов контроля герметичности.

Наглядное представление о примерном соотношении скорости натекания, размера (диаметра) течи и фактического проявления течи дает таблица 1.

Таблица 1 – Соотношения скорости натекания, диаметра и фактического проявления течи

Скорость натекания, м ³ Па/с	Размер (диаметр) течи, мм	Фактическое проявление течи при Δр = 1 бар
10 ⁺¹	1,0	Истечение воды струей
10 ⁻¹	0,1	Вытекание воды по капле
10 ⁻³	0,03	Водонепроницаемая / газопроницаемая течь
10 ⁻⁵	0,003	1 воздушный пузырек (≈ 1мм ³) за 10 с
10 ⁻⁷	0,0001	Утечка газа объемом 1 см ³ за 12 дней
10 ⁻⁹	–	Утечка газа объемом 3 см ³ за 1 год
10 ⁻¹¹	–	Утечка газа объемом 1 см ³ за 300 лет

В данной статье рассмотрим газовый метод течеискания на примере изготовленной технологической оснастки (рисунок 1) в Гомельском вагонном депо (рационализаторское предложение от 05.09.2022 № 2448/2).

Газовые методы течеискания являются более чувствительными, чем жидкостные, поскольку пробное вещество – газы значительно легче проходят через мелкие сквозные дефекты. Газовые методы контроля

применяют исключительно для испытания замкнутых объемов. Самый простой из газовых методов – пузырьковый, заключающийся в погружении изделия, в котором с помощью, например, воздуха создано избыточное давление, в водяную ванну и регистрации мест течи по появляющимся пузырькам.

Сущность пузырькового метода контроля герметичности заключается в регистрации локальных утечек в объекте по появлению пузырьков контрольного газа в индикаторной жидкости или на индикаторном покрытии. Метод применяется для контроля герметичности емкостей, гидравлических и газовых систем, находящихся под избыточным давлением [2].

Если размеры изделия велики и в ванну его не поместить, то наружную поверхность изделия покрывают пенообразующим веществом (мыльным раствором) и места течи фиксируют по мыльным пузырькам.



Рисунок 1 – Технологическая оснастка для контроля герметичности:

1 – ванна (бак емкостью 340 литров) с технической водой; 2 – решетка фиксации объектов испытания под водой; 3 – манометр давления основной, фиксирующий подачу пробного газа (кислорода); 4 – манометр давления дублирующий; 5 – кран разобшительный 372 4300В УХЛ1 для подачи рабочего газа в объект испытания (открытое положение – вдоль трубы), перекрытия рабочего газа из баллона и сброса рабочего давления из объекта испытания в атмосферу (закрытое положение – поперек трубы); 6 – источник пробного газа (баллон с кислородом)

На практике технологическая оснастка отлично зарекомендовала себя для испытания рукавов газового и пневматического оборудования, в том числе газовых резаков. Возможно использование оснастки для испытания других объектов как с погружением в воду, так и путем нанесения мыльного раствора из пульверизатора.

Формула для оценки порога чувствительности при индикации потока газа имеет вид [3]

$$- \text{ для «аквариумного» способа } \frac{\pi d_{\min}^3}{\tau} \left(\frac{4\sigma}{d_{\min}} + \rho gh + p_a \right);$$

$$- \text{ для способа обмыливания } \frac{\pi d_{\min}^3}{\tau} \left(\frac{4\sigma}{d_{\min}} + p_a \right),$$

где d_{\min} – наименьший регистрируемый диаметр пузырька; τ – время от момента образования пузырька до его отрыва; σ – коэффициент поверхностного натяжения; ρ – плотность индикаторной жидкости; g – ускорение свободного падения; h – высота слоя индикаторной жидкости; p_a – атмосферное давление.

Контроль пневматическим способом путем погружения объекта испытания в воду называют еще «аквариумным способом». Испытание осуществляется в такой последовательности:

- контролируемое изделие помещается в емкость;
- в изделии создается испытательное давление пробного газа (давление принимается равным рабочему);
- в емкость заливается жидкость до уровня не менее 100–150 мм над контролируемой поверхностью изделия.

Признаком течи в изделии является образование всплывающих к поверхности жидкости пузырьков воздуха, периодически образующихся на определенном участке поверхности изделия, или строчки пузырьков (рисунок 2).

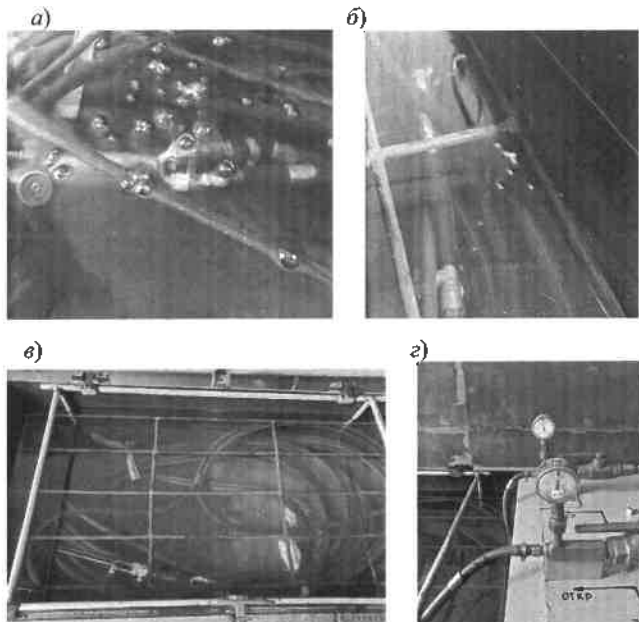


Рисунок 2 – Испытание на герметичность кислородного и пропанового рукавов совместно с газовым резаком при рабочем давлении 1,25 МПа:

a – регистрация утечки сжатого воздуха с резьбового входного соединения, предназначенного для горючего газа; *b* – регистрация утечки сжатого воздуха с вентиля подачи кислорода; *c* – общий вид испытания под давлением после устранения утечек путем поджатия регулировочных элементов и резьбовых соединений (отсутствие пузырьков пробного газа); *d* – фиксация рабочего давления одновременно в двух рукавах

Испытание резаков на газонепроницаемость (герметичность всех соединений и плотность закрытия вентиля) проводят не реже 1 раза в месяц. Значение исп-

тательного давления для резаков служит максимальное рабочее давление, указанное в паспорте резака.

Большие дефекты чаще всего «выдают себя» сразу. По строчке пузырьков на рисунке 2 отчетливо видно, что утечки сжатого воздуха резьбового соединения резака (см. рисунок 2, *a*) превышают утечки с вентиля подачи кислорода (см. рисунок 2, *b*).

Не реже 1 раза в три месяца редуктора, рукава газовых резаков, находящиеся в эксплуатации, подвергаются испытаниям с использованием рабочих газов на давление: один конец рукава присоединяют к источнику давления, второй конец рукава заглушают. Постепенно повышают давление до испытательного 1,25 МПа и выдерживают рукав при этом давлении не менее 10 мин [4].

Испытание можно проводить отдельно рукавам для пневматических систем (рукава подачи сжатого воздуха к испытательным стандам, гайковертам, шлифовальным машинам и т. д.). Для реализации испытания потребуются резьбовые переходники различных диаметров, торцевые заглушки в виде болтов для создания замкнутого контура. В качестве вспомогательных инструментов используют гаечные ключи, отвертки и др.

Контроль пневматическим способом путем нанесения мыльного раствора на объект контроля осуществляется в такой последовательности:

- в контролируемом изделии создается требуемое избыточное давление пробного газа;
- мягкой волосяной кистью или краскораспылителем на контролируемую поверхность изделия наносится пенообразующий состав и осуществляется визуальное наблюдение.

Время наблюдения за состоянием поверхности при нанесении мыльной эмульсии составляет не более 2–3 мин после ее нанесения на поверхность.

Таким способом проверяют зачастую редуктора для газопламенной обработки, отдельные участки рукавов и их соединения, которые невозможно поместить под воду при испытании и т. д.

Как показывает практика, течи в резьбовых соединениях легко устраняются путем регулировки зажатия накладных элементов. При нахождении мест течи в резиновых рукавах, определяется дефектный участок с последующим его вырезанием (рисунок 3).

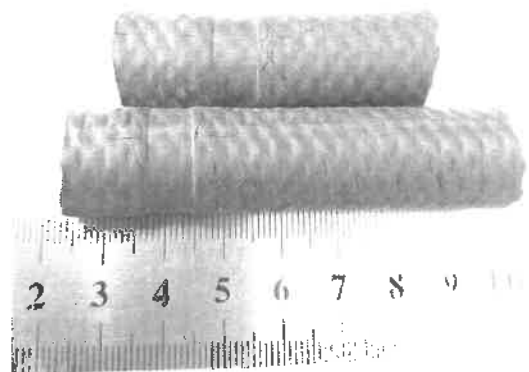


Рисунок 3 – Фрагменты вырезанных участков газовых резиновых рукавов типа III-9-2 в местах течи после испытания на герметичность с помощью технологической оснастки

После этого ставится вопрос о возможности использования резинового рукава в дальнейшем т. к. дефект-

ный участок может быть в начале или в середине рукава, что влияет на его длину в эксплуатации.

Испытания проводятся ответственным лицом, результаты испытаний записываются в журнале в соответствии с утвержденной формой на предприятии.

Замена сопел, ниппелей и инжекторов горелок и резаков, находящихся в эксплуатации, допускается производить электрогазосварщиком.

Эксплуатация оборудования, не прошедшего периодические осмотры и испытания, не допускается.

В связи с участвовавшими случаями забраковки резиновых рукавов газовых и пневматических систем, газовых резаков сторонними организациями (после проведения периодических испытаний в соответствии с ТНПА), изготовление технологической оснастки в Гомельском вагонном депо позволило сократить дополнительные необоснованные затраты на ремонт, приобретение новых материалов, повторную транспортировку и испытания и др.

Получено 22.05.2023

A. G. Otoka, N. A. Kartuzov, O. V. Kholodilov. Tightness check of pneumatic and gas equipment by the bubble method on the example of technological equipment of the Gomel car depo.

The possibility of using the bubble leak detection method to control the tightness of the sleeves of gas and pneumatic equipment used in the repair production of the Gomel car depot is considered. The control technology is described both with immersion in water and by applying a soap solution from a spray bottle.

Использование стенда позволяет в любое время провести испытание объектам сразу «на месте» в случае подозрения на утечку, что говорит о безопасности использования их на производстве.

Список литературы

1 Контроль герметичности. Т. 2. Кн. 1. Неразрушающий контроль : справ. / А. И. Евлампиев [и др.] ; под ред. В. В. Ключева. – М. : Машиностроение, 2003. – 339 с.

2 Натаназль Р. Мобильные методы контроля герметичности / Р. Натаназль, А. Ф. Иванков, Т. В. Сингаевская // В мире неразрушающего контроля. – 2009. – № 2(44). – С. 11–13.

3 ГОСТ 24054–80. Изделия машиностроения и приборостроения. Методы испытаний на герметичность. Общие требования. – Введ. 01.01.1987. – 8 с.

4 Правила Министерства топлива и энергетики Республики Беларусь от 12.02.96 «Безопасности при работе с механизмами, инструментом и приспособлениями (ПБМИП)», 1996. – 9 с.

УДК 656.212.5

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

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ВНУТРЕННЕЙ МИГРАЦИИ НАСЕЛЕНИЯ АГЛОМЕРАЦИИ НА ФОРМИРОВАНИЕ РЕГИОНАЛЬНОГО ПАССАЖИРОПОТОКА НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

Процесс миграции населения неразрывно связан с таким понятием, как «миграционное движение», синонимами которого являются территориальное, пространственное движение, а также территориальная, пространственная мобильность и подвижность, что подразумевает транспортное сообщение, получившее свое развитие в конце XIX в., особенно на железнодорожном транспорте. При этом интенсивность миграционных связей, определяющих общий уровень подвижности населения, делает возможным формирование регионального пассажиропотока на железнодорожном транспорте.

Введение. Одним из основополагающих элементов понятия термина «миграция» является транспорт, который оказывает значительное влияние прежде всего на динамику изменения численности населения в городе – центре агломерации. Поэтому изучение миграционных процессов с учетом возможностей транспорта и наоборот позволит:

1) выделить направленность и устойчивость основных связей города-центра с прилегающими территориями и обобщить их функциональное назначение и развитие на основе совершенствования транспортной системы;

2) обеспечить сегментацию рынка транспортных услуг по обслуживанию пассажиров и предоставить для них сопутствующие и дополнительные услуги, которые придают большую привлекательность и способствуют лучшему обеспечению комфортности поездки, что особенно важно в настоящее время при усилении конкуренции между различными видами транспорта.

В связи с этим проблема миграции населения является актуальной для города-центра и его спутников и требует ее изучения в контексте транспортного развития, особенно железнодорожного, отличающегося своевременностью прибытия в пункт назначения согласно расписанию и независимо от погодных условий.

Постановка задачи. В связи с вышеизложенным выполним анализ влияния внутренней миграции населения агломерации на формирование регионального пассажиропотока на железнодорожном транспорте.

Основная часть. Внутренняя миграция, включающая в себя маятниковую миграцию, является основой для формирования и развития агломерации. Характерными признаками внутренней миграции, на которых акцентируют внимание исследователи, являются:

1) пространственные перемещения;

2) постоянная или временная смена места жительства;

3) территориальное перераспределение населения [18].

Согласно данным признакам, выделяют четыре основных вида пространственного движения населения, к которым относятся эпизодическая, маятниковая, сезонная и постоянная миграции, являющиеся

внутренней миграцией и формирующие региональный пассажиропоток на железнодорожном транспорте (рисунок 1).



Рисунок 1 – Схема формирования регионального пассажиропотока на железнодорожном транспорте за счет внутренней миграции

Следует отметить, что такие виды внутренней миграции, как маятниковые (челночные) трудовые поездки могут совершаться на значительные расстояния между местом жительства и работой людей, а сезонные перемещения, связаны с сезонной работой, поездками на отдых или лечение, а также туризмом и т. п. При этом рассматриваемые виды миграции специфичны по своему характеру, а участвующее в них население преследует различные цели (таблица 1). Помимо вышеназванного необходимо учитывать, что количество отправленных и прибывших пассажиров в рамках миграционных процессов в составе регионального пассажиропотока почти всегда одинаково, что подтверждается примерами трудовых поездок маятниковой или сезонной миграций, величина которых зависит от характера размещения производства, его структуры, определяющих в итоге транспортную подвижность населения. Так, концентрация предприятий в городе-центре усиливает маятниковую миграцию населения из города-спутника, являющуюся одним из основных каналов перераспределения трудовых ресурсов в пределах систем взаимосвязанного расселения.

Таблица 1 – Краткая характеристика видов внутренней миграции, формирующих региональный пассажиропоток

Виды внутренней миграции	Краткая характеристика	Схема передвижения
Маятниковая (челночная)	Ежедневные или еженедельные поездки населения от мест жительства до мест работы (и обратно), расположенных в разных населенных пунктах, а также поездки из одних населенных пунктов в другие	<p>Межпоселенческие трудовые связи</p>
Сезонная	Перемещения населения к местам временной работы и жительства на срок, обычно в несколько месяцев, с сохранением возможности возвращения в места постоянного жительства	<p>Сельско-городское движение</p>
Эпизодическая	Деловые, рекреационные и иные поездки (перемещение, сопровождаемое сменой постоянного места жительства), совершаемые не только не регулярно по времени, но и необязательно по одним и тем же направлениям	<p>Нерегулярное межпоселенческое движение</p>

Однако при концентрации производства в городе-спутнике, его трудовые ресурсы обеспечиваются в большей степени местным населением и из сельской местности, а не города-центра, что подтверждается статистическими данными о контингенте работающих на предприятиях. При этом следует отметить, что трудоспособное население в городах-спутниках Республики Беларусь (Добруш, Скидель, Жабинка, Фаниполь, Логойск и др.) составляет от 55 до 60 % от общей численности проживающих, из которых от 20 до 40 % работают на промышленных градообразующих предприятиях и от 5 до 10 % являются индивидуальными предпринимателями. Население моложе трудоспособного возраста городов-спутников составляет от 17 до 24 %, старше – от 18 до 23 %. Как видно из приведенного анализа, города-спутники Республики Беларусь имеют одинаковую структуру населения по возрастному составу, не зависящую от общей численности проживающих и являющихся основой внутренней миграции (сезонной и маятниковой).

Таким образом, количество населения, концентрированный или рассредоточенный характер его распределения по территории агломерации, а также демографический состав могут выступать факторами, способствующими развитию или торможению того или иного производства, а также железнодорожного транспорта и его инфраструктуры. Поэтому можно предположить, что маятниковой миграции из города-спутника в город-центр и обратно подвержено население моложе трудоспособного возраста, отличающееся мобильностью передвижения, а сезонной – старше трудоспособного возраста.

Отдельно в данном контексте следует рассматривать эпизодическую миграцию (например, поездки населения в рамках паломничества, туризма и т. п.), являющейся основой для категории «Прочие поездки» на железнодорожном транспорте и, благодаря которой величина регионального пассажиропотока может увеличиваться или уменьшаться.

При этом региональный пассажиропоток не всегда будет одинаков как в одну, так и в другую сторону, как это чаще всего наблюдается при маятниковых или сезонных миграциях. Паломничество как один из видов внутренней эпизодической миграции исходя из целей поездок вообще не рассматривается на железнодорожном транспорте, и сегодня эту нишу занимает автомобильный транспорт, где в настоящее время сформированы и действуют такие паломнические маршруты, как «Святые родного края», а также к Чудотворным и святым местам Гомельщины и Туровщины. Например, в Петро-Павловский кафедральный собор Гомеля в 2019 году прибыли паломники со всей Беларуси, чтобы поклониться частице мощей святой Матроны Московской. По данным миссионерского отдела Гомельской епархии, в течение 13 марта святые поклонились свыше 100 тыс верующих. С 17 по 24 января 2019 года храм праведного Иова Многострадального г. Минска, где находились Дары волхвов, посетили более 520 тыс. паломников (согласно официальному сайту БПЦ).

Примечательно, что в последнее время паломнические туры всё чаще организовываются для небольших групп, на микроавтобусе, автобусы на 40 человек собираются в летний период. Беларусь – многоконфессиональное государство, где насчитывается 25 религиозных конфессий, из которых наиболее распространённой является христианство (православие, католицизм, униатство и протестантизм), населением также исповедуют иудаизм и ислам. Согласно статистическим опросам к верующим себя относят около 30 % белорусов в возрасте до 30 лет, 28,5 % – в возрасте 30–49 лет, около 40 % – в возрасте 50–60 лет, 65,3 % – в возрасте свыше 65 лет; среди верующих количество женщин почти в 2 раза превышает количество мужчин. Помимо этого, отмечается рост религиозности молодёжи, в том числе студенческой (около 40 %). Культурно идентифицируют себя с православием (независимо от личной веры) более 80 % жителей Беларуси (рисунок 2).

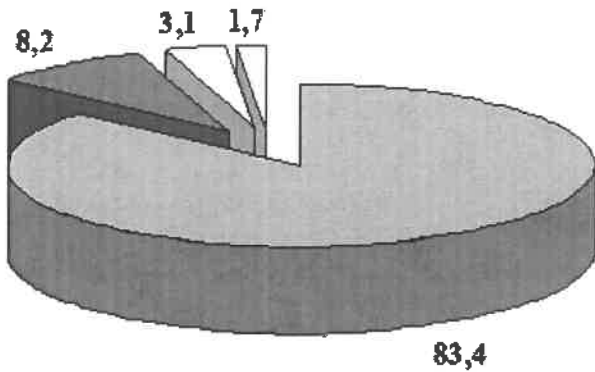


Рисунок 2 – Религиозный состав населения Белоруссии



При этом с каждым годом количество верующих различных конфессий и число храмов постоянно возрастает.

Вследствие вышесказанного наблюдается рост туристов-паломников в нашей стране. Например, г. Туров, являющимся третьим по возрасту городом Беларуси, ежегодно посещают около 15 тыс. туристов-паломников, количество которых в выходные дни иногда достигает 500 человек. В период праздничных мероприятий Будславский фэст (Мядельский район также принимает более 20 тыс. паломников). Помимо новых и современных монастырей в Республике Беларусь сохранились и уникальные древние церкви и монастыри, которые также являются зоной тяготения пассажиропотока.

Для развития различных видов и форм туристической деятельности используются разнообразные туристские ресурсы: ландшафты высокой эстетической ценности, лечебные минеральные воды, торфогрязи, сапропели, природные экосистемы, минимально измененные деятельностью человека, хутора и деревни с традиционной народной архитектурой и бытом и т. п.

Из закона Республики Беларусь следует, что «туризм – это временный выезд (путешествие) граждан Республики Беларусь, иностранных граждан и лиц без гражданства (далее – граждане) в оздоровительных, познавательных, профессионально-деловых, спортивных, религиозных и иных целях, не противоречащих законодательству, в страну (место) временного пребывания без занятия оплачиваемой деятельностью в ней (нем)» [1]. Следовательно, необходимо обеспечить выезд туристов на железнодорожном транспорте, обладающем преимуществами, по сравнению с автомобильным, учитывая, что среднегодовой рост автобусного туризма составляет в среднем около 1,5 % в год. Например, целям спортивного туризма соответствуют природные ландшафты, отвечающие требованиям организации пеших, конных, велосипедных, байдарочных, парусных походов и спортивных соревнований. В Беларуси более 10 тыс. озер, около 3 тыс. рек длиной 5 км и более (Днепр, Западная Двина, Неман и др.) и около 20 тыс. малых рек. Наиболее разнообразные и ценные в эстетическом отношении природные ландшафты сосредоточены на севере и в центре Беларуси. С целью рационального использования

сферой туризма национального культурного наследия и наиболее ценных природных комплексов, разработана Государственная инвестиционная программа возрождения историко-культурного и природного наследия республики «Золотое кольцо Беларуси», проектом которой предусматривается создание многооточечной специальной экономической зоны туристско-рекреационного типа, а также «Золотое кольцо Гомельщины», на маршрутах которого было принято более 4 тыс. человек в 2019 году. Наибольшее число туристов посетило достопримечательности Гомеля и Турова. Повышенный интерес у гостей области, согласно данным управления физической культуры, спорта и туризма Гомельского облисполкома, вызвали памятники истории Ветковского района, Мозыря и Жлобина.

В Беларуси широкую известность приобрел охотничий туризм. На территории охотхозяйств имеется возможность организации коммерческих охотничьих туров с гарантией охоты на разнообразные виды дичи. Наиболее крупной охотничьей организацией Беларуси является общественное объединение «Белорусское общество охотников и рыболовов», включающее в себя 114 охотничьих хозяйств. Особо следует выделить уникальную природную территорию – национальный парк «Беловежская пуща», которую ежегодно посещают более 150 тыс. туристов из разных стран мира.

На рисунке 3 приведена динамика «туристических потоков» в Республике Беларусь.

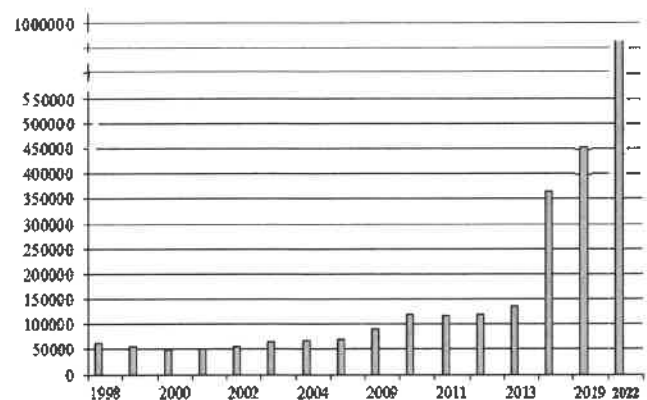


Рисунок 3 – Динамика «туристических потоков» в Республике Беларусь

Рынок туризма является динамично развивающейся отраслью белорусской экономики, постоянно наращивающий потенциал, который за последнее десятилетие увеличился почти в 2,5 раза. Наибольшей популярностью у туристов пользуются: г. Минск – 40 % посетителей, Гродненская область – 32; Брестская – 22, Витебская область – 5. Основное количество туристов прибывает из Российской Федерации, Великобритании, Германии, Израиля, Кипра и других стран. Как видно из приведенного анализа, индустрия туризма многогранна, и требует качественного транспортного обслуживания, которое может обеспечить железнодорожный транспорт, что особенно важно для возрастной категории туристов (65 лет и старше), а также молодых семей, путешествующих с детьми. Следует отметить, что вышеприведенные туристические объекты формируют «туристские центры» страны и неразрывно связаны с системой расселения (городами-спутниками, агрогород-

ками, где сосредоточены центры обслуживания туристов). При этом в целом на транспортные услуги как один из основных видов услуг в туризме приходится основная доля в структуре цены тура, которая, в зависимости от дальности путешествия и его продолжительности, находится в пределах от 30 до 60 %.

Таким образом, эпизодическая миграция как составная часть категории «Прочие поездки» может превышать «Трудовые поездки», являющиеся основной категорией для железнодорожного транспорта, в связи с чем, необходимо рассмотрение чартерных поездов, по применению которых имеется опыт стран Западной Европы.

Чартерные поезда, состоящие из 6–8 вагонов, актуальны для паломников, следующих к святыням в определенное время года, а также для выезда рабочих на сезонные сельскохозяйственные работы и т. п. Для их обслуживания достаточно имеющейся инфраструктуры железных дорог. При недостаточном пассажиропотоке для рассматриваемого направления, могут быть использованы прицепные вагоны.

Необходимо учитывать, что потребности населения в путешествиях зависят от сезонности, периода отпусков, выходных дней и общенациональных праздников, начала учебного года, школьных и студенческих каникул и т. п.

Рациональное использование подвижного состава и эффективное использование технических и основных средств и пропускной способности железной дороги в целом требуют надежного оперативного регулирования и корректировки протяженности маршрутов, что

является сложным процессом, требующим составления прогнозного формирования пассажиропотоков в определенных направлениях.

Список литературы

- 1 Решетников, Д. Г. География туризма Беларуси : пособие для студентов ф-та междунар. отношений / Д. Г. Решетников. – Минск : БГУ, 2012. – 303 с.
- 2 Бабкин, А. В. Специальные виды туризма / А. В. Бабкин. – Ростов н/Д : Феникс, 2008. – 252 с.
- 3 Вайткун, А. Паломничество и религиозный туризм / А. Вайткун // Иоаннов Родник : сайт паломнической службы [Электронный ресурс]. – 2010. – Режим доступа : <http://www.palomnik.by/palomnik/sermons/art-19>. – Дата доступа : 29.04.2023.
- 4 Бруняшева, Л. А. «Религиозный туризм» и «религиозное паломничество»: сравнительно-сопоставительный аспект / Л. А. Бруняшева // Университетские чтения – 2015 : материалы науч.-метод. чтений ПГЛУ. – 2015. – С. 25–29.
- 5 Лагусева, Н. Н. Паломничество и религиозный туризм: грани различия (размышления в рамках круглого стола) // Вестник РМАТ. – 2017. – № 1. – С. 95–101.
- 6 Якунин, В. Н. Развитие религиозного туризма как составляющей части историко-культурного наследия на современном этапе // Вестник СГТУ. – 2011. – № 4. – С. 280–286.
- 7 Олюнина, И. В. Виды туристической деятельности в Республике Беларусь : пособие / И. В. Олюнина. – Минск : БГУ, 2021. – 105 с.
- 8 Печерица, Е. В. Паломнический туризм: сущностные аспекты / Е. В. Печерица, Е. Е. Шарафанова // Современные проблемы науки и образования [Электронный ресурс]. – 2014. – № 6. – Режим доступа : <https://science-education.ru/article/view?id=16486>. – Дата доступа : 29.04.2023.

Получено 02.05.2023

T. A. Vlasuk. Analysis of the impact of internal migration of the population of the agglomeration for the formation of regional passenger flow by railway transport.

The process of population migration is inextricably linked with such concepts as “migration movement”, which is synonymous with territorial, spatial movement, as well as territorial, spatial mobility and mobility, which implies transport communication that developed at the end of the 19th century, especially on rail transport. At the same time, the intensity of migration ties, which determine the general level of population mobility, makes it possible to form a regional passenger flow in railway transport.

ИСТОРИЯ НАУКИ И ТЕХНИКИ

УДК 656.2

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

К ЮБИЛЕЮ ЛИБАВО-РОМЕНСКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ.

История образования, техническое описание дороги

Рассмотрена история создания Либаво-Кошедарской и Ландваро-Роменской железных дорог. Приведены технические и экономические предпосылки формирования и образование Либаво-Роменской железной дороги. Представлено описание дороги, ее важнейшие технические характеристики, основные искусственные сооружения, здания и линейные постройки, развитие станционных путей и оборудования.

Введение. С 1867 г. в связи с успехами в строительстве и эксплуатации рельсовых путей в России началась настоящая «железнодорожная горячка» [1]. В 1861 г. правительство выдало только одно разрешение на изыскание линий, в 1869 г. их было уже 139. С 1861 по 1873 гг. в стране возникло 53 железнодорожных общества с акционерным капиталом 698,5 млн руб., тогда как компании промышленных предприятий имели акционерный капитал в размере лишь 128,9 млн руб. [2].

История образования Либаво-Роменской железной дороги. В течение тридцати лет Либавка пыталась заполучить железную дорогу, отсутствие которой с каждым годом всё больше увеличивало изоляцию Либавского порта от торговли Российской империи с зарубежными странами. Несколько раз казалось, что усилия увенчаются успехом, но всякий раз интересы других городов вставали у липайчан на пути. Уже в 40-х годах XIX в. был создан проект железнодорожной линии от Либавки до Георгенбурга – городка вблизи границы России и Пруссии. Проект даже был утверждён правительством, и под него была получена государственная гарантия. Это была первая концессия на строительство железной дороги в России, под которую была предоставлена государственная гарантия. Тем не менее реализовать проект не удалось. Позже, в 1850-е годы, появляются замыслы строить линию Либавка – Ковно, а самым далеко идущим прожектом была идея соединить железной дорогой Либавку и Двинск. Когда в 1858 г. всё говорило о том, что последняя идея будет осуществлена, интересы Риги и её порта снова оказались более важными, как уже неоднократно случалось в прошлом. Тогда было решено вдоль правого берега Даугавы построить линию, которая связала бы Двинск с Ригой, а вопрос о Либавской железнодорожной линии был отодвинут на планируемую перспективу. Это решение 1858 г. вызвало сильные эмоции как в рижской, так и в липайской прессе перечислялись аргументы в пользу своих портов, а также доказательства нерентабельности возможной конкурирующей линии. Обиду Либавки можно было понять, поскольку уже были начаты проектные работы, принятое же правительство решение означало дальнейшую маргинализацию Либавского порта, он проигрывал в конкурентной борьбе не только Риге, но и прусским портам – Мемелю и Кёнигсбергу. Число судов, зашедших в порт Кёнигсберга, с 1840 по 1868 гг. увеличилось на 200 %, в Клайпедский порт – на 50 %, а в Липайский – уменьшилось на 25 %. Большая роль в приросте значимости порта Кёнигсберга принадлежала железнодорожной линии, построенной от Ковно до Эдткау (или

Эдткунен). Парадоксально, но доходы от торговли России с зарубежьем получали чужие транзитные порты, но не собственная российская Либавка. Особенно это ощущалось в зимнее время, когда порты Риги, Ревеля и Петербурга замерзали, а незамерзающий Либавский порт был не способен осуществлять экспортные и импортные операции по причине отсутствия железной дороги.

Проблема сооружения магистральной железной дороги к порту Либавка обсуждалась в Комитете министров еще в январе 1863 г. Потребность в строительстве этой линии протяженностью в 945 верст мотивировалась необходимостью быстрой транспортировки сельскохозяйственной продукции юго-западных губерний в Либавский порт. Удобство Либавки заключалось в том, что это был один из немногих незамерзающих портов на Балтике в зимний период. Быстрое развитие экспорта через Либавку с середины XIX в. вызвало необходимость составления в Министерстве путей сообщения проектов по расширению и улучшению Либавского порта в соответствии с нуждами торговли. Для выполнения мер по его модернизации 28 августа 1858 г. был учрежден особый комитет [3].

Когда в декабре 1868 г. Комиссия по развитию железных дорог и Совет министров России утвердили проект строительства железной дороги Либавка – Шавли (Шайуляй) – Ковно (с предоставлением государственной гарантии), то это известие принесло в Липаю надежду. 27 декабря 1868 г. решение правительства утвердил император Александр II. В то же время инженер-генерал Гейдатель с успехом завершил перестройку Либавского порта. 1869 год Либавка встречала с большим энтузиазмом и надеждами на улучшение своей судьбы и достижение быстрых темпов развития. Так и случилось. И в таком масштабе, какого самые большие оптимисты не могли себе представить. Ещё перед тем как правительство предоставило концессию на строительство железной дороги, было принято решение, что железнодорожная линия будет продлена дальше за Ковно, до пункта в районе местечка Кошедары, где ее можно будет соединить с железнодорожной линией Ковно – Вильно, являвшейся ответвлением от магистральной Петербургско-Варшавской железной дороги.

В борьбу за получение концессии на строительство Либавской железной дороги (до Кошедар) включились 12 обществ. Самую низкую цену на конкурсе российскому правительству предложил консорциум из пяти партнёров: барон Арнольд Фитингоф, Димитрий Шипов и банкиры Иван Блох из Варшавы, Йозеф Жак из Берлина и Мориц Симон из Кёнигсберга.



Иван Блох (Ян Богумил (Готлиб) Бл(и)ох)

Предложенная ими цена составляла 12 млн 789 тыс. рублей, что означало около 44 тыс. руб. за одну версту (1066,8 метра). Было создано акционерное общество – Общество Либавской железной дороги, председателем которого стал Иван Блох. В процессе его создания Фитингоф и Шипов отказались от участия в концессии, и Блох стал главным реализатором проекта.

Строительство железной дороги продолжалось два года. В начале сентября 1871 года из Либавы выехал первый поезд до станции Жасляй (7 километров к востоку от Кошедар). Было открыто движение по этой линии пассажирских и товарных поездов.

В апреле 1870 г. состоялась торжественная закладка первого камня Либавского железнодорожного вокзала. Во время церемонии Иван Блох преподнёс в дар городской Комиссии по делам Купального заведения 5000 руб. на создание парка в районе планировавшегося курортного дачного района. Остальные средства для реализации этого проекта – 15 000 руб. в качестве беспроцентного кредита на 15 лет предоставило Российское правительство.



Рисунок 1 – Вокзал Либаво-Роменской железной дороги в Либаве (построен в 1871 г. практически посреди поля)

В 1870 г. Комитет министров определил «высочайше утвержденную» сеть важнейших железных дорог. В общий перечень была включена линия от Конотопа до Ландварово (через Гомель, Бобруйск, Минск). Автор проекта, министр путей сообщения В. А. Бобринский считал, «что такая линия открывает прямой путь хлебным грузам из наиболее плодородных частей Малороссии к Либавскому порту» [4]. Позже было предложено продлить Ландварово-Конотопскую железную дорогу вглубь Полтавской губернии – до Ромен. В Комитете министров не возражали против такой корректировки направления магистрали.

8 июня 1870 г. к министру путей сообщения графу В. А. Бобринскому обратился с прошением о содействии в получении разрешения на проведение изысканий железнодорожной линии от ст. Ландварово через Минск, Гомель, Ромны и Кременчуг известный в России железнодорожный подрядчик П. И. Губонин.

Предприниматель обещал выполнить все необходимые работы за свой счет в течение ближайшего лета. Александр II одобрил инициативу П. И. Губонина [5]. Однако это вовсе не гарантировало получение концессии на планируемую железную дорогу. Охватившая российское общество «железнодорожная лихорадка» вовлекла в пучину риска и авантюрных предприятий всё большее число людей. Ставка делалась на возможность быстрого обогащения в случае получения прав на сооружение железнодорожной магистрали. Большой доход обладателю концессии могла принести экономия строительных средств, а также всевозможные махинации с поставками материалов. Несмотря на все усилия со стороны Губонина, концессия на строительство Ландварово-Роменской железной дороги была выдана инженеру К. Ф. фон Мекку, который предложил наименьшую повёрстную цену. Следует отметить, что стоимость Ландварово-Роменской магистрали была необычайно низкой, даже по сравнению с Либавской и Смоленско-Брестской железными дорогами, постройку которых считали наиболее дешевой из всех линий, утвержденных в конце 60 – начале 70-х гг. XIX в. [3].

Необходимо отметить, что из всех представителей дома фон Мекк наиболее значительной личностью являлся строитель железных дорог Карл Федорович (1821–1875 гг.), сочетавший талант инженера и деятельную натуру предпринимателя, венцом всей предпринимательской карьеры которого можно считать постройку Ландварово-Роменской железной дороги.



К. Ф. фон Мекк

Добиться концессии на строительство этой крупной железнодорожной магистрали ему удалось в результате упорной и драматичной борьбы. Практически каждый из претендентов имел небескорыстную протекцию со стороны высокопоставленных лиц. «Фаворитом» являлся представитель Северного Гамбургского банка К. Ф. фон Мекк, в качестве «прикрытия» которому служило имя князя А. Барятинского. По воспоминаниям Е. М. Феоктистова, известный вельможа оказался на дне финансовой пропасти и однажды признался, что «осталось лишь одно – броситься в какое-нибудь предприятие и лучше всего по железнодорожному делу. Теперь имеются в виду концессии на две дороги – Севастопольскую и Конотопскую. Конкурентом на одну из них является Мекк, я соединюсь с ним. Удалось мне кое-как сколотить около 20000 руб., и этот капитал я вручил ему. Капитал, конечно, неважный, но он сам говорит, что несравненно дороже для него мое нравственное содействие» [6].

Концессия и устав частной Ландварово-Роменской железной дороги были «высочайше утверждены» 9 мая 1871 г. Во время постройки акционерное общество пользовалось правом беспошлинного ввоза из-за рубежа рельсов, металла, станков и подвижного состава. Срок окончания строительства был определен 3 годами, а время владе-

ния – 81 годом со дня окончания постройки [7]. Правление Ландварово-Роменской компании было обязано за время концессии ежегодно выкупать у акционеров акции, чтобы к окончанию владения у железной дороги не осталось собственников из частных лиц. В благоприятные годы руководство выделяло из доходов дороги часть средств для формирования амортизационного фонда [8]. При этом практика железнодорожного хозяйства не знала амортизационных отчислений на ремонт изнашивающихся сооружений и подвижного состава. Текущий износ погашался ремонтами за счет эксплуатационных расходов. Замена же полностью отслужившего оборудования новым производилась путем роста основного капитала без списания стоимости заменяемого имущества.

На состоявшемся 10 декабря 1871 г. общем собрании акционеров общества Ландварово-Роменской железной дороги был избран состав правления компании. В него вошли 4 директора: К. Ф. фон Мекк (председатель правления), А. А. Волгин, С. М. Мириманов, В. В. Воронец. 19 мая 1873 г. выбывшего В. В. Воронца в должности директора заменил Ф. Е. Фельдман. Местом пребывания правления акционерного общества был назначен город Москва [9].

Финансирование строительства Ландварово-Роменской железной дороги осуществлялось за счет средств от третьего выпуска консолидированных облигаций. Впоследствии по ходатайству правления общества направление Ландварово-Роменской железной дороги было несколько изменено. Фактически это означало, что начальным пунктом этой магистрали становилось не Ландварово, а станция Вилейка Петербурго-Варшавской железной дороги, которая находилась в 8 верстах к северу от Вильно. Новое направление вполне соответствовало интересам Ландварово-Роменской железной дороги. Соединение двух магистралей давало ей реальную возможность значительного увеличения масштабов своей коммерческой деятельности за счет привлечения части грузов с Петербурго-Варшавской железной дороги. Однако подобный вариант недостаточно полно учитывал торгово-экономические интересы восьмидесятитысячного г. Вильно. Еще 1 августа 1869 г. группа влиятельных Виленских предпринимателей направила министрам путей сообщения и внутренних дел просьбу определить исходным пунктом строительства новой магистрали г. Вильно. 21 мая 1871 г. они обратились с аналогичным прошением к Александру II. Однако в ноябре 1871 г. специалисты МПС ответили просителям категорическим отказом, мотивируя его отсутствием удобных подходов к городу, который был расположен в окруженной холмами котловине [10].

Летом 1871 г. началось строительство железной дороги со стороны г. Вильно. Движение на участках открывалось последовательно. Первый из них – от Вилейки до Минска (173 версты) – был открыт для движения 14 января 1873 г. Второй – до Бобруйска (139,5 версты) – 16 сентября того же года. Следует заметить, что еще 26 июля 1873 г. правление общества Ландварово-Роменской железной дороги обратилось в технико-инспекторский комитет управления железных дорог с просьбой о назначении комиссии для инспекции участка между городами Минском и Бобруйском. Однако чиновники инспекторского комитета решили не спе-

шить с открытием движения на втором участке Ландварово-Роменской железной дороги, так как не были уверены в том, что работы по его сооружению полностью завершены [11].

С открытием участка Минск – Ново-Вилейск на белорусской земле появился первый железнодорожный узел Минск, работавший сначала на три направления. В день открытия движения до Бобруйска появилось четвертое направление.

Третий участок – до Гомеля, длиной в 141,3 версты – открылся 17 ноября 1873 г. Четвертый – до Бахмача (184 версты) – 12 января 1874 г. Пятый – до Ромен (72,7 версты) – 15 июля 1874 г., то есть на 14 дней раньше срока. Общая протяженность линии составила 711,1 версты (рисунок 2).



Рисунок 2 – Годы сдачи в эксплуатацию железнодорожных линий и участков в Беларуси

Ударным темпам сооружения Ландварово-Роменской магистрали способствовал равнинный рельеф местности на подавляющем протяжении железнодорожной линии. Так, летом 1871 г. эксперт общества Ландварово-Роменской железной дороги провел детальное обследование грунта и цен на строительные материалы в различных пунктах будущей магистрали. Из представленного им в правление компании отчета видно, что трасса будущей линии должна была проходить в основном по пахотным и луговым угодьям, а также в лесистой местности. Легкая почва не требовала значительных физических усилий и соответственно высоких затрат на земельные работы [12]. Хуже обстояли дела со строительными материалами. При отсутствии недостатка в пиломатериалах и древесине практически повсеместно ощущался дефицит кирпича и камня. Железо, металлические конструкции приходилось доставлять из Москвы и Тулы. Поэтому в целях экономии средств, а также в силу недостатка кирпича и камня преобладали искусственные сооружения, выполненные из древесины.

В соответствии с техническими условиями Ландварово-Роменская железная дорога строилась в один путь. В Минске по путепроводу она проходила над рельсами Московско-Брестской железной дороги (рисунок 3).

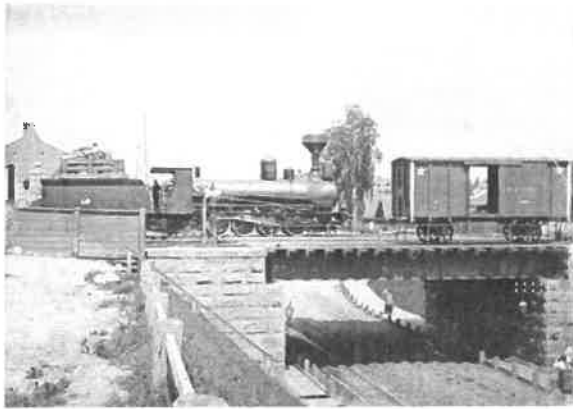


Рисунок 3 – Западный мост – железнодорожный однопролетный мост Либаво-Роменской железной дороги

21 июня 1872 г. в Москве представители правлений обществ Ландварово-Роменской и Московско-Брестской железных дорог заключили соглашение о прямом сообщении между двумя дорогами [18]. В связи с этим в технических документах Ландварово-Роменской железной дороги указывалось на необходимость построить в г. Минске соединительную ветвь с Московско-Брестской магистралью [13].

После завершения строительства Ландварово-Роменской железной дороги стало очевидно, что эта дорога сможет работать прибыльнее и рациональнее, если будет иметь выход непосредственно к Балтийскому морю (к порту Либави). Речь шла об объединении построенной ранее Либавской и Ландварово-Роменской линий в одну магистраль, что не вызывало возражений со стороны правления Либавской железной дороги. Слияние Либавской и Ландварово-Роменской железных дорог представляло первый шаг на пути создания единой железнодорожной сети.

Механизм объединения в финансовом отношении слабых компаний упрощался тем, что активы убыточных обществ обладали низкой ликвидностью. Акции имели низкую котировку, а облигации с 1870 г. находились в собственности государства (в составе консолидированных облигационных займов российских железных дорог). Исходя из подобных реалий «высочайше» утвержденными 20 февраля и 30 апреля 1876 г. положениями Комитета министров общество Либавской дороги прекратило свое существование. Дорога перешла в распоряжение правительства, которое передало ее обществу Ландварово-Роменской железной дороги [14].

Формальная передача Либавской дороги в заведывание правления Ландварово-Роменской железной дороги состоялась 1 июля 1876 г. Фактически делопроизводство и счетоводство были переданы 1 сентября 1876 г. И, наконец, с 20 мая 1877 г., когда был высочайше утвержден новый устав общества Либаво-Роменской железной дороги, слияние дорог получило юридический статус. В соответствии с последним приказом по Либаво-Роменской железной дороге предписывалось: «Согласно отзыву Правления Общества Либавской железной дороги от 24 сего августа за № 1108 деятельность настоящего Правления общества и Управление по заведыванию дорожною оканчивается с 31-м числом сего месяца, с 1-м же числом наступающего сентября вступает в заведывание и управление дорожною Обществом Ландварово-Роменской дороги. Приказы и распоряжения,

относящиеся к заведыванию дорожною, с 1 сентября будут издаваемы Управляющим Ландварово-Роменской железной дорожною инженером И. О. Сомовым или назначенными им лицами. О чем доводится до сведения всех служащих по вверенной мне дорожною».

И.д. управляющего дорожною начальник ремонта пути и зданий К. Вейлер г. Либави, августа 27 дня 1876 года».

Общество Ландварово-Роменской железной дороги обязалось производить эксплуатацию всей линии, устроить соединительную ветвь между Либавской станцией и местным портом, произвести работы, необходимые для улучшения Либавской дороги с веткой и расширить и улучшить Либавский порт [15].

Для выкупа и погашения акций Либавской дороги правительство отпустило ссуду в 3217000 кредитных руб. Устав Либаво-Роменской железной дороги был утвержден 20 мая 1877 г. [14]. Общая протяженность магистрали составила 1192 в. Управление Либаво-Роменской дороги находилось в Минске (рисунок 4).



Рисунок 4 – Здание управления Либаво-Роменской железной дороги в Минске

Но Роменский участок не примыкал непосредственно к Либавскому, почему грузы, следовавшие с одного из этих участков на другой, приходилось передовать С.-Петербургско-Варшавской дорожною на ст. Вилейка или Кошедары, после чего те же грузы принимались снова на одной из этих станций для дальнейшего следования. Ввиду того, что такая передача грузов замедляла их доставку и повышала провозную плату, которая взималась по трем особым тарифам: на двух участках Либаво-Роменской дороги и С.-Петербургско-Варшавской – Правление Общества в 1877 г. заключило с Советом Главного Общества договор, по которому за плату 144,000 руб. в год Либаво-Роменской железной дорожною предоставлено было пользоваться участком Вилейка – Кошедары с правом пропуска поездов на протяжении 72 верст, после чего были устранены неудобства по передаче грузов, улучшилась утилизация подвижного состава и понижалась провозная плата вследствие таксировки грузов по однообразному тарифу Либаво-Роменской дороги со скидками в подлежащих случаях за общее расстояние.

Техническое описание дорожною. Либаво-Роменская железная дорожною состояла из трех участков: Либавского, Калкунского и Роменского. Длина главного пути – 1191,19 версты. Общее направление линии о Либавы к Ромнам – на юго-восток.

Либавский участок, длиной 294 версты, начинался в Виленской губернии от ст. Кошедары С.-Петербургско-

Варшавской железной дороги и, пересекая Ковенскую и Курляндскую губернии, подходил к берегу Балтийского моря у г. Либавы, который служил его конечным пунктом. На ст. Можейки к линии примыкала Риго-Митавская железная дорога, и на ст. Радзивиличи от нее отделялся Колкунский участок [5].

Калкунский участок, протяженностью 186 верст, начинаясь у ст. Колкуны С.-Петербурго-Варшавской железной дороги в четырех верстах от г. Двинска, проходил по Курляндской и Ковенской губерниям. Конечным пунктом служила станция II класса Либавского уч. Радзивиличи. Общее направление линии от Калкун к Радзивиличам – на запад.

Роменский участок, протяженностью 711 верст, начинался на ст. Вилейской С.-Петербурго-Варшавской железной дороги, проходил по губерниям: Виленской, Минской, Могилевской, Черниговской и Полтавской и оканчивался на ст. Ромны, где соединялся с Харьковско-Николаевской железной дорогой.

На ст. Минск имелась соединительная ветвь к московско-Брестской железной дороге; на ст. Гомель – ветвь к Полесским железным дорогам и на ст. Бахмач – ветвь к Киево-Воронежской железной дороге. В четырех верстах от ст. Вилейской Либаво-Роменская железная дорога соединялась с С.-Петербурго-Варшавской железной дорогой особой ветвью, назначенной исключительно для пропуска императорских поездов из С.-Петербурга на Юг и обратно. От ст. Низковка идет Корюковская ветвь к сахарному заводу [15].

На Либавском участке земляное полотно на всем протяжении было устроено под два пути шириною 4,60 сажени. На Калкунском и Роменском участках полотно под один путь шириной 2,60 сажени. Откосы насыпей и выемок полуторные, одернованные и обсеянные.

На Либавском и Калкунском участках допущены наибольшие уклоны в 10 ‰, на Роменском – 8 ‰.

Предельный радиус кривых – 300 саженей. В общем итоге протяженность уклонов и кривых главного пути, выраженное в процентном отношении к длине пути 1191,19 верст, составило: горизонталей – 54,5; уклонов до 6 ‰ – 21; от 6 до 8 ‰ – 23; от 6 до 10 ‰ – 1,5; прямых – 83,2; кривых радиуса более 300 саженей – 16 ‰.

Нормальная ширина балласта поверху – 1,50 сажени, толщина – 0,18 сажени.

При постройке дороги путь был уложен железными рельсами со стыками на шпалах, двумя плоскими накладками и подкладками на стыковых шпалах.

Количество различного рода ИССО, находящихся на главной линии, представлено в таблице 1.

Таблица 1 – ИССО на главной линии Либаво-Роменской ж. д.

ИССО	Участок			Итого
	Либавский	Калкунский	Роменский	
Железные мосты	38	11	109	158
Деревянные мосты на каменных опорах	79	12	147	238
Деревянные мосты на деревянных опорах	–	145	72	217
Каменные трубы	5	2	11	18
Чугунные трубы	44	16	88	148

Таким образом, всего имелось 779 штук, а именно: 613 мостов общим протяжением отверстий 1962,38 са-

жени и 166 труб – 78,06 сажени. Следовательно, на версту главного пути приходилось 0,65 штук, или 1,71 сажени отверстий искусственных сооружений.

К числу выдающихся ИССО главной линии относились:

– мост через портовый канал в Либаве отверстием 48,70 сажени в 4 пролета с поворотной частью на среднем быке; быки основаны на кессонах. Фермы раскосной системы с ездой посередине;

– неразрезной двухпролетный мост отв. 68,00 сажени через р. Вилию на 27 версте Либавского участка. Быки и устои – на сваях. Фермы многораскосные с ездой поверху;

– трехпролетный разрезной мост отв. 105,30 сажени через р. Березину на 318 версте Роменского участка. Фермы раскосной системы с ездой понизу. Быки и устои на кессонном основании;

– такой же мост через р. Днепр у ст. Жлобин на 376 версте;

– такой же мост через р. Сож у ст. Гомель на 457 версте. Быки и передние части устоев на кессонном основании, задние части устоев на сваях в шпунтовом ограждении. Причем устои состояли из двух отдельных стенок, соединенных лишь по краям между собой арками. В средней части были уложены деревянные фермы, опирающиеся на переднюю и заднюю части устоев. Устои ограждены струенаправляющими дамбами;

– четырехпролетный мост отв. 141,80 сажени через р. Десну на 596 версте близ ст. Макошино. Конструкция пролетных частей одинакова с мостами через р. Березину, Днепр и Сож. Устои на сваях и быки на кессонах.

По отношению к снежным заносам линия находилась в довольно благоприятных условиях. При длине главного пути в 1191,19 версты заносимых мест – 465,735 версты, или 39 ‰.

С целью борьбы со снежными заносами было установлено небольшое количество постоянных защит из старых шпал; преимущественно же ограждения состоят из переносных драчевых щитов.

В 1889 г. на Роменском и в 1891 г. на Либавском участках было приступлено к сплошной замене стальных рельсов типа 21²/₃ фунта в погонном футе стальными же рельсами весом 22¹/₂ фунта в погонном футе при скреплении двумя фасонными накладками. При переходе дороги в казенное управление из числа 1191 версты главного пути было уложено 138 верст рельсами типа 22¹/₂ фунта, 1053 версты рельсами типа 21²/₃ фунта.

К 1 января 1896 г. уложено 324 версты рельсами типа 22¹/₂ фунта, 867 верст рельсами типа 21²/₃ фунта.

Шпалы укладывались на всех участках исключительно основные, непропитанные, брусковые и пластинные. Клеймение их производилось металлическими клеймами Коргина.

Пассажирские здания на дороге были различных типов: на Либавском участке – двухэтажные каменные, на Калкунском – исключительно деревянные, на Роменском, на станциях Гомель, Ромны и Талалаевка – каменные, на станциях II класса – лишь средняя часть каменная, на остальных же станциях – деревянные.

В 1873 г. было возведено здание Виленского вокзала. Это было деревянное здание. К июлю 1898 г. здание вокзала уже имело выразительный силуэт с двумя симметрично расположенными от входа башенками (рисунок 5). В его архитектуре смешивались приемы эклектики и псев-

дорусского стиля. Кирпичная поверхность стен активно контрастировала с оштукатуренными светлыми деталями в виде карнизов, поясов, фриз, фронтонов.



В. П. Вокзалъ — La gare du chemin de fer L.-R.

Минскъ — Minsk



Рисунок 5 – Виленский (Либаво-Роменский) вокзал в Минске

Пассажирское здание станции Минск (II кл.) имело общую длину 22 сажени (46,86 м), средняя кирпичная часть – ширину 5,5 сажени, а деревянные боковые – 5,3 сажени.

Первым начальником станции Минск Ландварово-Роменской железной дороги был студент Московского университета Василий Васильевич Склифосовский, брат известного хирурга Н. В. Склифосовского.

В архитектуру гомельского вокзала, наоборот, были умело введены необарочные элементы: сандрики, криволинейные аттики и фронтоны (рисунок 6).



Рисунок 6 – Либавский вокзал в Гомеле, начало XX века

Весьма своеобразной была архитектура небольших станций с их деревянными постройками (рисунки 7, 8). Здесь встречаются стилевые приемы «тирольско-

альпийской архитектуры», характерные для того времени. В такой изящной стилистике построена станция в Осиповичах.



Рисунок 7 – Здание вокзала ст. Осиповичи, 1874 г.



Рисунок 8 – Станция Новобелица Либаво-Роменской железной дороги, 1887 год.

Пассажирские и межпутевые платформы – земляные с подпорными стенками из пластин, забранных между рельсовых стоек; крытые платформы устроены лишь на ст. Либава, Минск и Макошино. Жилые дома на станциях, за очень немногими исключениями, деревянные.

Путевые здания были устроены преимущественно на кирпичных столбах с забранным пластинами цоколем; станционные здания – на кирпичных фундаментах с такими же цоколями.

Ввиду неудачной планировки, недостаточной высоты этажа (преимущественно 1,30 сажени) и полного отсутствия вентиляции, были созданы весьма негигиеничные условия быта для живущих в них агентов дороги, особенно для низших служащих [15].

Для хранения товаров на станциях были устроены крытые и открытые товарные платформы и пакгаузы. Открытые платформы частично деревянные на деревянных столбах, частично земляные мощные с деревянными или каменными подпорными стенками. Крытые товарные платформы и пакгаузы исключительно на деревянных столбах.

При капитальном ремонте все платформы постепенно переделывались на земляные с каменными подпорными стенками, а деревянные столбы крытых платформ и пакгаузов заменялись рельсовыми.

Дополнительно в 1893 г. ввиду ожидания усиленных хлебных перевозок было устроено около 5000 кв. сажней шатровых подстилов, приспособленных специально для хранения хлебных грузов [15].

В таблице 2 приведены данные о линейных постройках на Либаво-Роменской дороге.

Таблица 2 – Линейные постройки для помещения дорожных мастеров, артельных старост, ремонтных артелей, путевой и переездной стражи

Участок	Линейная постройка							
	Казармы		Полуказармы		Двойные сторожевые дома		Одиночные сторожевые дома	
	деревянные	каменные	деревянные	каменные	деревянные	каменные	деревянные	каменные
Либавский	14	–	10	–	13	–	218	–
Калкунский	9	–	–	–	3	–	130	–
Роменский	36	2	15	–	1	–	472	38
Итого	59	2	25	–	17	–	820	38

Постоянные сигналы, состоявшие из красных и зеленых дисков, постепенно заменялись семафорами с электрическими повторителями системы Стефана и Лемана, установленными в кабинетах дежурных по станции. Семафоры устраивались на столбах из старых чугунных водопроводных труб или старых рельсов и изготавливаются частью в мастерских дороги, частью на небольших заводах. Кроме того, для удобства сношения дежурных по станции со стрелочниками на главных станциях из кабинетов дежурных были проведены телефоны в будки у входных стрелок.

Из имеющихся на дороге 109 остановочных пунктов водоснабжение было устроено на 65 станциях, причем на 39 – отдельные водоподъемные здания, на остальных машины были помещены в каменных водоподъемных зданиях с деревянной надстройкой для помещения бака.

В таблице 3 представлено развитие станционных путей и оборудования.

Заключение. Исключительно важное значение для развития промышленности, городов, рыночных отношений на белорусских землях имела Либаво-Роменская железная дорога. Она непосредственно соединила хлебородные районы Украины с единственным незамерзающим в Российской империи портом Балтийского моря – Либавским. Влияние дороги усиливалось благодаря пересечению со многими другими дорогами империи: в Бахмаче – с Курско-Киевской линией; в Минске – с Московско-Брестской; в Вилейке – с Санкт-Петербурго-Варшавской.

Список литературы

- 1 История железнодорожного транспорта России. Т. 1. 1836–1917 / под общ. ред. Е. Я. Красковского, М. М. Уздина. – СПб., 1994. – 336 с.
- 2 Лященко, П. И. История народного хозяйства СССР. Т. 2 / П. И. Лященко. – 4-е изд. – М.: Госполитиздат, 1956. – С. 107.
- 3 Жихарев, С. Б. Либаво-Роменская железная дорога в последней четверти XIX в.: строительство и эксплуатация / С. Б. Жихарев // Известия Гомельского государственного университета имени Ф. Скорины. – 2008. – № 4 (49) – С. 81–91.
- 4 Кислинецкий, Н. А. Наша железнодорожная политика по документам архива Комитета министров: в 4 т. / Н. А. Кислинецкий. – СПб.: Типография Ком-та министров, 1902.
- 5 Российский государственный исторический архив. – Фонд 268. – Оп. 1. – Д. 7152.
- 6 Феоктистов, Е. М. За кулисами политики и литературы 1848–1896 гг.: Воспоминания / Е. М. Феоктистов. – М.: Новости, 1991. – 458 с.

Получено 23.01.2023

A. A. Erofeev, A. A. Vasilyev. For the anniversary of the Libavo-Romny railway. History of education, technical description of the road.

The history of the creation of the Libavo-Koshedar and Landvaro-Romny railways is considered. The technical and economical prerequisites for the formation and formation of the Libavo-Romny railway are given. The description of the road, its most important technical characteristics, the main artificial structures, buildings and linear buildings, the development of station tracks and equipment are presented.

Таблица 3 – Развитие станционных путей и оборудования станций

Показатель	После слияния Либавской и Ландваро-Роменской ж. д.	При переходе Либаво-Роменской ж. д. в Казенное Управление	На 1 января 1896 г.
Длина главного пути, верст	1191,19	1191,19	1191,19
Длина запасных путей: пог. саж. верст	71376,69 142,75	132775,08 265,55	174000,39 348,08
Количество стрелок, шт.	655	1128	1344
Количество поворотных кругов, шт.	16	19	20
Пассажирские платформы: количество, шт. площадь, кв. саж.	118 11976,59	144 13587,43	153 14355,16
Площадь товарных платформ, кв. саж.: крытых открытых	5955,20 5168,12	9200,51 4420,97	9364,26 5002,71
Площадь шатров для складов хлеба, кв. саж.	–	–	5263,35
Площадь пакгаузов, кв. саж.	1032,65	1777,00	3154,65
Паровозные сараи: количество, шт. число стойл, шт.	19 131	19 143	22 159
Вагонные сараи, шт.: каменные деревянные	2 1	2 –	3 –
Количество жилых домов на станциях, шт.	226	362	470
Вместимость водоемов, куб. фут.	104272,00	123741,74	131195,74

7 Верховский, В. М. Краткий исторический очерк начала и распространения железных дорог в России по 1897 г. включительно / В. М. Верховский. – СПб.: Тип. тов-ва И. Н. Кушнерев и Ко, 1899. – 591 с.

8 Брандт, Б. Ф. Иностранные капиталы, Их влияние на экономическое развитие страны: в 2 т. / Б. Ф. Брандт. – СПб.: Типография В. Киришбаума, 1898.

9 РГИА. – Фонд 331. – Оп. 1. – Д. 68.

10 РГИА. – Фонд 262. – Оп. 1. – Д. 246.

11 Музей истории Белорусской железной дороги. – Фонд «основной». – № 2137.

12 Российский государственный военно-исторический архив. – Ф. 422. – Оп. 1. – Д. 1403.

13 РГИА. – Фонд 331. – Оп. 1. – Д. 56.

14 Министерство финансов (1802–1902). В 2 ч. – СПб.: Экспедиция заготовления гос. бумаг, 1902.

15 Либаво-Роменская железная дорога. Краткое описание дороги. – Минск: Паровая Типо-литография Х. Я. Дворжеца. – 1896. – 41 с.

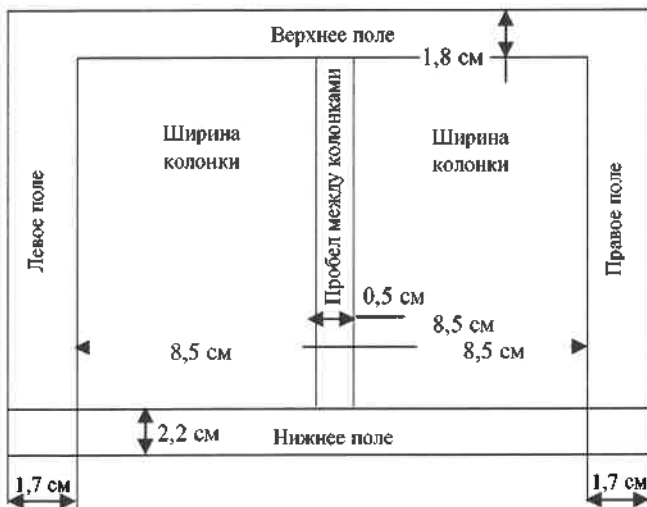
ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ

Статьи, направляемые в редакцию журнала «Вестник БелГУТа: Наука и транспорт», должны соответствовать следующим требованиям.

1 Материал статьи должен отражать профиль журнала и излагаться предельно ясно на белорусском или русском языке. На оборотной стороне последнего листа ставится подпись автора (авторов) и указывается название рубрики, к которой относится статья.

2 Статья должна быть представлена в одном экземпляре на бумажном носителе [для иногородних – по почте (адрес электронной почты: tatiana-101@list.ru)] и тщательно отредактирована. Одновременно текст статьи представляется в формате текстового редактора MS Word в виде обычного текстового файла – по фамилии автора (авторов), гарнитура шрифта – Times New Roman.

3 Текст статьи должен быть оформлен в соответствии с ГОСТ 7.5–98 «Журналы, сборники, информационные издания. Издательское оформление публикуемых материалов», ГОСТ 2.105–95 «Межгосударственный стандарт. Общие требования к текстовым документам» и напечатан на белой бумаге формата А4 на лазерном принтере. Объем статьи – 0,35 авторского листа (14000 печатных знаков, включая пробелы между словами, знаки препинания и др.), т. е. не более трех полных страниц текста формата А4, напечатанного в две колонки размером шрифта (кегель) 10 pt по следующему образцу:



4 Текст статьи должен содержать:

– в левом верхнем углу первой страницы – индекс УДК размер шрифта – 10 pt).

– через интервал на формат 17,5 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, объём – 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 редколлекцией не принимаются.

7 Таблицы (не более трех) располагаются непосредственно после текста, где они впервые упоминаются. Каждая таблица должна иметь номер и название, которое размещается над ней (например: Таблица 1 – Результаты измерений). Размер шрифта названия и основного текста таблицы – 9 pt, головки (шапки) – 8 pt.

8 Размерности всех величин, используемых в тексте, должны соответствовать Международной системе единиц (СИ).

9 Формулы набирают тем же размером шрифта и той же гарнитурой, что и основной текст (буквы русского и греческого алфавитов, числа, знаки математических функций – прямым шрифтом, латинские буквы – курсивом).

10 К рукописи прилагаются:

– сведения об авторе [Ф. И. О. полностью, ученая степень и звание, место работы и должность, домашний адрес, контактный телефон (служебный, мобильный, e-mail)];

– рекомендация кафедры, научной лаборатории или учреждения, в котором выполнена работа, о целесообразности публикации статьи;

– экспертное заключение о возможности публикации статьи.

11 Рукописи, которые не соответствуют указанным требованиям, к рассмотрению не принимаются.

12 Редколлегия по предварительной научно-технической экспертизе может направлять статью на рецензию специалисту и с учетом этой рецензии даёт аргументированное заключение о возможности публикации статьи.

Редактор *А. А. Павлюченкова*
Технический редактор *В. Н. Кучерова*
Компьютерная верстка – *Е. И. Кудрявская*

Подписано в печать 01.08.2023 г. Формат 60×84¹/₈. Бумага офсетная. Гарнитура Times New Roman.
Печать цифровая. Усл. печ. л. 11,16. Уч.-изд. л. 11,14. Тираж 100 экз. Изд. № 43. Зак. № 1708.

Учреждение образования «Белорусский государственный университет транспорта»
ЛП № 02330/238 от 14.04.2014 г.
Ул. Кирова, 34, 246653, г. Гомель